

**Trendy i rozwiązania technologiczne
– odpowiedź na potrzeby
współczesnego społeczeństwa. Tom 2**

Trendy i rozwiązania technologiczne – odpowiedź na potrzeby współczesnego społeczeństwa. Tom 2

Redakcja:
Monika Maciąg
Kamil Maciąg

Lublin 2017

Recenzenci:

- prof. dr hab. inż. Piotr Kacejko
- dr hab. n. med. Artur Pałasz
- dr hab. inż. Henryk Sanecki
- dr inż. Tomasz Andrysiak
- dr Paweł Badura
- dr inż. Joanna Bartnicka
- dr Henryk Bąkowski
- dr inż. Tomasz Bradecki
- dr Tomasz Cieplak
- dr Agnieszka Czapiewska
- dr Marcin Fice
- dr Krzysztof Kałamucki
- dr inż. Sebastian Lipa
- dr inż. Jakub Matuszak
- dr Kamil Mazurek

Wszystkie opublikowane rozdziały otrzymały pozytywne recenzje.

Skład i łamanie:

Sandra Czarniecka

Projekt okładki:

Marcin Szklarczyk

© Copyright by Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp. z o.o.

ISBN 978-83-65598-89-9

Wydawca:

Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp. z o.o.

ul. Głowackiego 35/341, 20-060 Lublin

www.wydawnictwo-tygiel.pl

Spis treści

Anna Stec

W stronę SMART CITY – modernizacja oświetlenia miejskiego w Gminie Kraków w latach 1998-2016.....7

Krzysztof Regulski

Metody uczenia maszynowego wspierane semantycznie24

Małgorzata Leszczyńska

Rola map urzędowych w XXI wieku w świetle unormowań prawnych33

Arkadiusz Kampczyk

Systemy wspomaganie procesów decyzyjnych w infrastrukturze kolejowej.....44

Magdalena Garlikowska

Nowoczesny i bezpieczny transport kolejowy wyzwaniem XXI wieku61

Krzysztof Foit

Człowiek i maszyna – szanse, zagrożenia i wyzwania w kontekście współczesnych technologii77

Tomasz Widorski

Czy samochód „autonomiczny” to samochód „bezpieczny”?101

Anna Tyrańska-Fobke, Marlena Robakowska, Joanna Nowak, Daniel Ślęzak

Analiza rynku dronów oraz przepisy prawne związane z ich użyciem w Polsce158

Ewa Kurzeja

Smartfonizacja społeczeństwa167

Maciej Sadowski

Techniki radiowe na przestrzeni XX i XXI wieku – historia i tendencje rozwojowe179

Ewa Skrzetuska, Karolina Kopka, Izabella Krucińska

Technika druku filmowego – rozwiązanie technologiczne do tworzenia czujnika do pomiarów pneumografii.....200

Bartosz Kania

Termoemisyjne generatory energii elektrycznej – problemy, rozwiązania, zastosowania 220

Andrew Schumann

Sieci filamentów aktywnych jako model obliczeniowy232

<i>Dorota Goszczyńska-Króliszewska, Wiesława Piekarska, Zbigniew Saternus, Marcin Kubiak, Tomasz Domański</i> Teoretyczne podstawy oceny spawalności stali.....	241
<i>Dorota Goszczyńska-Króliszewska, Zbigniew Saternus, Wiesława Piekarska, Marcin Kubiak, Tomasz Domański</i> Zastosowanie pakietu inżynierskiego Abaqus do rozwiązywania problemów procesu spawania	257
<i>Żaklin Maria Grądz</i> Wybrane aspekty analizy procesu spalania zachodzącego w warunkach przemysłowych	274
<i>Żaklin Maria Grądz</i> Zastosowanie metod diagnostyki technicznej do analizy procesu spalania	283
Indeks Autorów	293

W stronę SMART CITY – modernizacja oświetlenia miejskiego w Gminie Kraków w latach 1998-2016

1. Wstęp

Członkostwo Polski w Unii Europejskiej otworzyło nowe możliwości rozwojowe dla regionów. Partycypacja w polityce wspólnotowej krajów członkowskich dało szansę na zmniejszenie dysproporcji rozwojowych, a tym samym na poprawienie wskaźników charakteryzujących środowisko naturalne. Wstąpienie do Wspólnoty europejskiej to nie tylko szeroko pojęte korzyści ekonomiczne związane z płynącymi funduszami na rzecz rozwoju polskich miast ale to również wyzwania w postaci obowiązku dostosowywania prawodawstwa krajowego do unijnych dyrektyw. Jednym z wielu zobowiązań jest pakiet klimatyczny, który zobowiązuje kraje wspólnotowe do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o 20% do 2020 roku. Do osiągnięcia takiego stopnia redukcji emisji powinny przyczynić się wszystkie sektory gospodarki. Kolejnym zobowiązaniem jest zwiększenie o 20% efektywności energetycznej w stosunku do prognoz na rok 2020 [26]. Wobec zapisów zawartych w dyrektywie Polska zobowiązana została do wdrożenia wszelkich środków mających ograniczyć emisję gazów cieplarnianych i tym samym zwiększyć udział energii pochodzącej z odnawialnych źródeł. Niewątpliwie obowiązek ten spoczywa nie tylko na władzy centralnej ale również na władzy lokalnej. Burmistrzowie, prezydenci i wójtowie również podejmując decyzje inwestycyjne zobligowani są do aktywnego wspomaganie procesu ograniczenia emisji. Dlatego też współczesne miasta powinny być wrażliwe na kwestie środowiskowe i wykorzystywać osiągnięcia technologiczne do otrzymania założonych celów. Postęp naukowo-technologiczny poszerzył możliwości człowieka powodując, że są one dla niego wielkim ułatwieniem w codziennym życiu i pracy. Są one dobrodziejstwem cywilizacyjnym, w których przyszło nam żyć. Uzyskaliśmy je dzięki edukacji i pracy wielu pokoleń.

Tematyka skupiona została wokół idei smart city oraz inwestycji zrealizowanych w Krakowie, który jest wiodącym ośrodkiem naukowym nie tylko w Polsce ale i w Europie. Miasta nieustannie stoją przed wyzwaniami. Nie tylko muszą spełniać szereg standardów już powszechnie obowiązujących, ale również powinny wychodzić poza szereg i już dziś dostosowywać się do przepisów, które obowiązywać będą w dłuższej perspektywie czasowej. Ponadto muszą pamiętać, że często duże miasta są wzorem dla innych jednostek miejskich, szczególnie tych mniejszych. Co ważne miasta mogą ze sobą współpracować i korzystać ze wspólnie wypracowanego *know how*, co niewątpliwie przyczyni się do większej efektywności wykorzystywanych narzędzi i zoptymalizuje koszty budżetowe.

¹ stec.anna.m@gmail.com, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Finansów

Kraków stoi przed wyzwaniami – jest wiodącym ośrodkiem gospodarczym, czego potwierdzenie odzwierciedla publikowany Raport Tholons, według którego Kraków po raz trzeci z rzędu otrzymał tytuł najlepszej destynacji dla sektora nowoczesnych usług biznesowych w Europie [35], a także wyróżniony został w zestawieniu European Cities & Regions of the Future 2017/2018, obok Hamburga i Oslo, jako duże europejskie miasto przyjazne dla biznesu [33]. Te wyróżnienia predysponują do nieustannego rozwoju przestrzennego by zaspokoić potrzeby obecnych i przyszłych mieszkańców. Miasto rozwija się i dlatego też potrzebuje narzędzi „smart”, naszych zdobywczy technologicznych by sprostać szybkiemu i sprawnemu przepływowi informacji, które z kolei przełożą się na efektywne powiązanie ze sobą wszystkich sfer zarządczych miasta.

Jednym z kluczowych wyzwań decydujących o jakości życia w mieście są inwestycje związane z oświetleniem ulicznym, które to przyczyniają się nie tylko do poprawy jakości życia w mieście czy wzrostowi poczucia bezpieczeństwa ale również przynoszą wymierną korzyść w postaci efektu środowiskowego i ekonomicznego. Zastosowanie nowoczesnych technologii w oświetleniu miejskim zmniejsza zauważalnie zużycie energii, a tym samym powoduje mniejszą emisję gazów cieplarnianych do atmosfery.

2. Rosnące znaczenie miast a idea Smart City

Proces urbanizacji jest największym wyzwaniem naszego wieku, który budzi zarówno nadzieję, jak i obawy. Miasta zapewniają swym mieszkańcom materialne i niematerialne wartości, są centrum kultury, a niekiedy miejscem lepszego życia. Współcześnie coraz większa liczba ludności zamieszkuje tereny miejskie i oczekuje się, że do 2050 roku liczba ta będzie stanowić 70% ogółu populacji świata [14]. W związku z powyższym problematyka miasta, jako miejsca wyboru i zapewniająca byt dotyczy zarówno kwestii egzystencjonalnych, ontycznych jak i aksjologicznych jej mieszkańców. Miasta są nieustannym placem budowy związanym z ich rozwojem, a także miejscem kontaktów i więzi społecznych. Każda przestrzeń potrzebuje gospodarza, jak również zarządcy czy decydenta, który wpływa na jakość życia mieszkańców, którzy wydają decyzje obarczone ryzykiem wystąpienia konfliktów między mieszkańcami lub pomiędzy władzą, a mieszkańcami. Miasto to również swego rodzaju ikonosfera spotykanych doświadczeń wizualnych, jest miejscem formowania się wartości, stanowi przestrzeń interakcji społecznych poprzez budowanie modeli egzystencjonalnych [20 s. 51-55]. Współcześnie obserwuje się, że kapitał, energia, zakłady produkcyjne, zbiory danych czy utalentowane osoby są bardziej mobilne niż kiedykolwiek wcześniej. Dlatego też miasta konkurują ze sobą. Zanieczyszczenie powietrza, korki oraz nieestetyczne krajobrazy nie są uznawane za możliwe do zaakceptowania. Miasta muszą oferować wysoką jakość życia, aby przyciągnąć nowych mieszkańców i środowisko biznesowe [12 s. 12-13]. Jednostki samorządu terytorialnego do których zalicza się również miasta dążą do realizacji swoich zadań w jak najlepszy sposób, zatem starają się dostarczyć mieszkańcom dóbr i usług o jak najwyższej jakości. Samorząd terytorialny dąży do tego by zaspokajane

potrzeby społeczne nie generowały deficytu budżetowego. Zatem decydenci by zachować równowagę finansową starają się obniżyć koszty związane z realizacją powyższych zadań. Jednym ze sposobów zachowania równowagi jest współpraca między samorządami, która jest możliwa dzięki temu, że każde miasto ma takie same bądź podobne zadania. Kooperacja zwiększa efektywność realizowanych zadań oraz zapewnia najwyższe standardy. W konsekwencji możliwe jest szybsze wykonywanie zadań oraz zapewnienie wysokiej jakości dostarczanych dla mieszkańców dóbr. Współpraca między jednostkami samorządowymi oparta może być nie tylko na wspólnych inwestycjach w infrastrukturę techniczną ale również na chęci korzystania z wiedzy i doświadczeń tzw. *know-how* [18]. Współpraca podmiotów kształtujących lokalną gospodarkę przynosi liczne korzyści o charakterze: ekonomiczno-gospodarczym, technologiczno-infrastrukturalnym oraz społeczno-kulturowym. Wśród przykładów wspólnego działania odnaleźć można takie inicjatywy jak: efektywna gospodarka lokalnymi zasobami, łatwiejsze pozyskanie funduszy zewnętrznych, rozwój gospodarczy i przedsiębiorczość, poprawa infrastruktury poprzez modernizację i rozwój czy poprawa wizerunku samorządu [9].

Zacznijmy naszą dyskusję od zdefiniowania czym jest smart city czy jest to tylko nasza przyszłość czy rzeczywistość? W literaturze przedmiotu pojawiają się trudności z definiowaniem pojęcia smart city z uwagi, iż jest to wciąż nowo występujący termin. Jednakże pojęcie to używane jest by podkreślić ideę zrównoważonego rozwoju lub zobrazować wpływ postępu technologicznego na poprawę jakości życia obywateli [23]. W dalszej kolejności musimy uzmysłowić sobie czym jest miasto? Miasta mogą być rozumiane jako socjologiczno-technologiczny system, który jest przestrzenią interakcji międzyludzkich. Szerzej miasta mogą być rozumiane poprzez różne wymiary: może to być system ekonomiczny, miejsce dobrobytu i lokalizacji miejsc pracy, Co więcej skupienie ludzi w mieście skorelowane jest z koncentracją wiedzy i innowacyjności, jak również miejsca różnorodnych specjalizacji [22]. Miasta mogą być również definiowane poprzez ujęcie socjologiczne jako dynamiczny system społeczny. Systemy społeczne opierają się na komunikacji oraz autokreacji [13 s. 625-647]. Miasta mogą być również rozpatrywane jako system polityczny z różnymi podmiotami interakcji. Ujęcie polityczne ma kilka podstawowych cech tj. stanowi prawo, wydaje decyzje oraz stoi na straży przestrzegania prawa [6 s. 383-400]. Wyróżnić należy również technologiczny system, który składa się z fizycznych elementów takich jak infrastruktura (drogi, mosty itp.) jak również ośrodki naukowe i prowadzone programy badawcze [5 s. 93-118]. Wszystkie wymienione wyżej systemy współdziałają ze sobą (na przykład gospodarka wpływa na infrastrukturę). Natomiast nowoczesne technologie związane z szeroko rozumianym smart city mają pomóc w sprawnej integracji wszystkich systemów i sprawić, że miasta będą zarządzane w efektywniejszy sposób.



Rysunek 1 Istota zrównoważonego rozwoju źródło: opracowanie własne na podstawie <https://www.emi.pl/zr/>

Rozwój każdego miasta oparty powinien być na idei zrównoważonego rozwoju. Przestrzeń miejska kształtowana będzie w sposób harmonijny jeśli uwzględnione zostaną wszelkie uwarunkowania i wymagania funkcjonalne takie jak; społeczno-gospodarcze, środowiskowe, kulturowe, a także kompozycyjno-estetyczne [27]. Warto zwrócić uwagę, że zagraniczni publicyści podkreślają, iż należy kierować się zasadą zrównoważonego rozwoju dlatego też, rządy krajów członkowskich UE oraz USA kładą nacisk na najniższy szczebel polityki lokalnej, tam gdzie uchwalane jest lokalne prawo by stosowali się do strategii narzuconych przez organy najwyższego szczebla zarządzania kraju. A przede wszystkim by lokalne władze stosowały się do zasady zrównoważonego rozwoju [7].

3. Inwestycje miejskie a idea zrównoważonego rozwoju na przykładzie modernizacji oświetlenia ulicznego

Każdy z krajów członkowskich Unii Europejskiej odpowiada za kształt polityki energetycznej UE, co zapisane zostało w Traktacie o funkcjonowaniu Unii Europejskiej. Traktat wyznaczył polityce energetycznej osiągnięcie następujących celów:

- zapewnienie funkcjonowania rynku energii,
- zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii,
- wsparcie efektywności energetycznej i oszczędności energii oraz rozwój nowych i odnawialnych form energii,
- wspieranie wzajemnych połączeń między sieciami energii [34].

Polityka energetyczna Polski do 2030 roku opiera się na stworzeniu warunków do stałego i zrównoważonego rozwoju gospodarki narodowej, zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego państwa oraz zaspokojenie potrzeb energetycznych przedsiębiorstw i gospodarstw domowych. Strategia ta realizowana jest przez monitoring wskaźników takich jak: wielkość zużycia energii czy udział energii z odnawialnych źródeł energii oraz roczna wielkość emisji CO₂. Założono, m.in. iż

w każdym kolejnym roku będzie spadać wielkość zużycia energii, osiągając dzięki temu wyznaczony cel [16].

Polityki energetyczne zarówno na poziomie europejskim jak i krajowym narzucają wręcz obowiązek stosowania się do zaleceń mających na celu takie kształtowanie polityki społecznej, gospodarczej i środowiskowej, która zapewniac będzie równowagę pomiędzy zyskami i kosztami rozwoju w perspektywie obecnych i przyszłych pokoleń. Zatem rozwój gospodarczy nie może ingerować w środowisko i uszczuplające zasoby naturalne. Jak już wcześniej podkreślano duże znaczenie w realizacji przyjętego kierunku rozwoju mają samorządy lokalne, które w swoich zadaniach inwestycyjnych uwzględniać muszą ogólnie przyjętą politykę krajową. Generalizując za sukces kraju odpowiedzialne są wszystkie samorządy lokalne. Doskonałą kwintesencją niech zostanie hasło: „Myśl globalnie i działaj lokalnie”. W imię którego, samorządy lokalne powinny być dotowane przez instytucje centralne oraz fundusze europejskie by aktywnie sprostac zadaniom pro środowiskowym. Opinia Komitetu Regionów w sprawie wkładu samorządów lokalnych i regionalnych w walkę ze zmianami klimatycznymi wskazuje na kompleksowe podejście do walki ze zmianami klimatycznymi. Sukces osiągnąć można jedynie poprzez współpracę wszystkich szczebli władz i samorządów oraz w porozumieniu z sektorem prywatnym, szkolnictwem, społecznością lokalną i organizacjami zajmującymi się efektywnością energetyczną [30].

Zgodnie z dostępnymi informacjami obecnie na świecie zainstalowanych jest ponad 280 milionów lamp ulicznych, a przewiduje się, że do 2025 roku liczba ta przekroczy 340 milionów. Zakładając, że każdy z tych punktów świetlnych zużywa określoną ilość energii przewiduje się, że roczne koszty zużycia energii to wartość od 23,9 mld dolarów do 42 mld dolarów. W takich okolicznościach każda optymalizacja zużycia energii przynosi znaczące oszczędności finansowe. Jednym ze zdobyczy technologicznych są inwestycje w oświetlenie uliczne typu LED (*light-emitting diode*), który pobiera mniej energii, a dzięki temu jest efektywniejszy. Telemetryczny system wraz z zainstalowanymi oprawami oświetlenia LED pozwalają na dostosowanie się do zmieniającego środowiska. Dzięki korelacji z pętlami indukcyjnymi i znajomością informacji o natężeniu ruchu w różnych porach dnia i nocy można dopasować natężenie światła oraz czas świecenia. Takie podejście wpływa na bezpieczeństwo m.in. poprzez zmniejszenie ilości wypadków na ulicach [11]. Należy podkreślić, że udoskonalenia w oświetlenie oparte na technologii LED prowadzą do ograniczenia zużycia energii elektrycznej o niemal 40% [14]

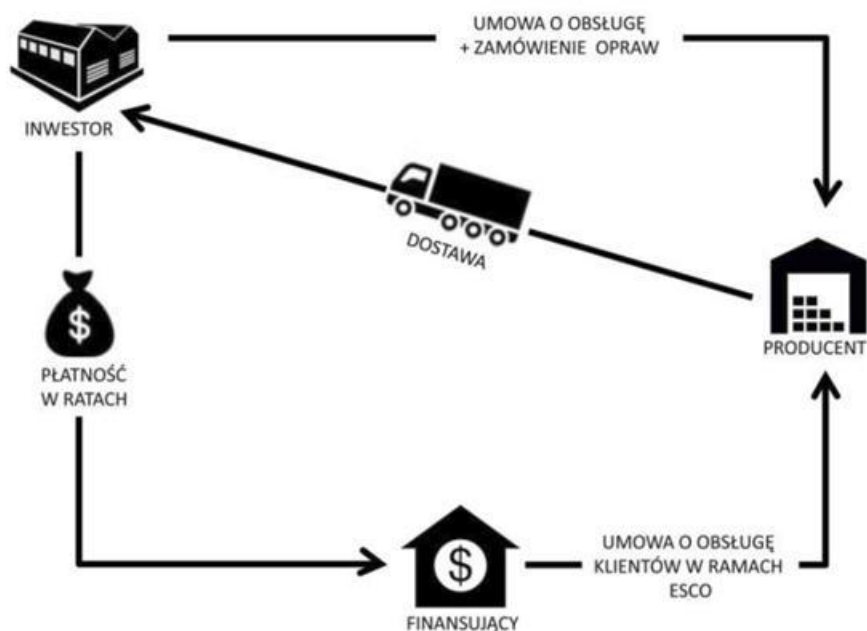
Pionierami w rozwoju inteligentnego oświetlenia miejskiego jest Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie (AGH), która w ramach prowadzonych badań stworzyła na terenie kampusu AGH system sterowania oświetlenia LED. Był to poligon doświadczalny na podstawie którego udoskonalono telemetryczny system sterowania oświetleniem miejskim. Wnioski wyciągnięte z obserwacji pozwoliły na udoskonalenie warsztatu pracy i implementację podczas prac nad Inteligentnym Oświetleniem w Krakowie [24].

4. Modernizacja oświetlenia ulicznego w Krakowie – opis inwestycji

Modernizacja oświetlenia ulicznego w Krakowie poprzedzona została przez instytucjonalne zmiany organizacyjne. Już w latach 1995-1997 opracowano koncepcje i założenia do przetargu na modernizację oświetlenia. Zaś w latach 1996-1997 rozpoczęto przygotowania do procedury przejęcia oświetlenia przez Gminę od Zakładu Energetycznego. W konsekwencji od 31.12.1997 r. oświetlenie miejskie w Krakowie nadzoruje Krakowski Zarząd Komunalny. Zaś od 2007 r. zarządcą jest Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie (ZIKiT), który powstał w wyniku likwidacji Zarządu Dróg i Transportu i reorganizacji Krakowskiego Zarządu Komunalnego [17]. Modernizacja oświetlenia jest procesem ciągłym zapoczątkowanym przed 1998 rokiem, który trwa do dzisiaj. Zasadniczo należy podzielić ten okres na 3 etapy, w każdym z nich realizowano zadania mające przynieść ten sam efekt, jednakże za pomocą różnych podejść i osiągalnych na dany czas zdobyczy technologicznych:

1. Inwestycje realizowane w latach 1998-2000,
2. Program „SOWA”, zrealizowany w latach 2014-2015,
3. Projekt „Inteligentne Systemy Energetyczne – ISE”, zrealizowany w latach 2015-2016.

W latach 1998-2000 rozpoczęto inwestycje miejskie związane z modernizacją oświetlenia ulicznego w Krakowie. Celem modernizacji oświetlenia miejskiego było zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych i poprawa niezawodności działania instalacji. Modernizacja ta powstała, ze środków wykonawcy, spłacając zadanie z uzyskanych oszczędności energii (formuła esco). Modernizacją objęto 80% instalacji. W efekcie zmniejszono moc zainstalowaną oświetlenia z 9 MW do 5 MW, co daje zmniejszony pobór energii elektrycznej o ok 56%. W wyniku modernizacji sieć oświetleniowa została przygotowana do zastosowania najnowszych technologii. Począwszy od 1998 roku prowadzone są testy urządzeń obniżających napięcie zasilania w porze nocnej oraz diodowych źródeł światła. Oba te działania prowadzą do zmniejszenia zużycia energii i zwiększenia żywotności urządzeń oświetleniowych. Żywotność diodowych źródeł światła wynosi około 50 000 godzin i jest trzykrotnie większa niż źródeł sodowych [3].



Rysunek 2 Schemat działania formuły ESCO
źródło: www.efl-polaris.com, dostęp: 30.01.2017r.

Formuła ESCO jest stosowana przez firmy świadczące usługi energetyczne, są to takie przedsiębiorstwa, które w wyniku zastosowanej technologii przynoszą efektywną poprawę energetyczną. Jednostki sektora publicznego stosując środek poprawy efektywności energetycznej mogą zawierać umowy, których przedmiotem jest realizacja przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej z podmiotami jakimi są przedsiębiorstwa oszczędzania energii typu ESCO. Zaletą takiego podejścia jest to, że jednostki z sektora publicznego mogą realizować swoje zadania inwestycyjne określone w art. 10 i 11 ustawy o efektywności energetycznej bez potrzeby zgłaszania dodatkowego zapotrzebowania środków finansowych w ramach ustawy budżetowej. Jedną z takich form finansowania pozabudżetowego jest finansowanie inwestycji przez stronę trzecią poprzez zawartą umowę w formule ESCO [28]. Podsumowując ESCO to formuła finansowania inwestycji modernizacji lub nowej instalacji, w której inwestor spona wybrany system oświetlenia LED i jego montaż w ramach podmiotu finansującego jego zakup od producenta. Istota tego podejścia zaprezentowana została na powyższym rysunku.

Przeprowadzane sukcesywnie testy oświetleniowe oraz stały postęp technologiczny przygotowały jednostkę realizującą (ZIKiT) do kolejnych inwestycji w zakresie oświetlenia ulicznego. Była to kolejna rewolucja, gdzie tym razem lampy sodowe zostały wyparte przez LED-owe. Technologicznie sprawniejsze, wydajniejsze i oszczędniejsze w poborze energii. Pierwszym z projektów, który wykorzystywał najnowsze zdobycze technologiczne, a mianowicie LED-owe źródła światła był

Program „SOWA”. To program priorytetowy dotyczący energooszczędnego oświetlenia ulicznego. Na podstawie dokumentów aplikacyjnych Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) przyznał Gminie Miejskiej Kraków dotację celową na wykonanie modernizacji oświetlenia ulicznego w ramach programu „SOWA”. Wartość całego zadania wynosiła 33,274 mln zł, przy czym 14,976 mln zł było bezzwrotnym dofinansowaniem, a pozostała część tj. 14,939 mln zł stanowił wkład własny. Modernizacja odbyła się w latach 2014-2015 i prowadzona była siłami własnymi ZIKiT [32]. Podstawowe cele modernizacji oświetlenia w ramach programu „SOWA” to:

- Poprawa parametrów oświetlenia dla podniesienia bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego i ogólnego bezpieczeństwa w mieście,
- Ograniczenie zużycia energii elektrycznej,
- Zmniejszenie kosztów bieżących utrzymania infrastruktury oświetleniowej,
- Poprawa niezawodności funkcjonowania urządzeń,
- Wydłużenie czasu bezawaryjnej pracy,
- Poprawa jakości urządzeń oświetleniowych,
- Poprawa estetyki miasta [17].

W 2015 r. w ramach rządowego programu „SOWA” wymieniono:

- 4375 źródeł światła na nowe lampy LED,
- 4232 słupów oświetleniowych,
- 116 szaf sterowniczych oraz ułożono 147 km kabli podziemnych.

W wyniku tych działań oszczędność energii wynosi 2756 MWh/rok, a ograniczenie emisji CO₂ 1810 mg/rok [3].

Ostatnim z projektów, który zakończył się przed kilkoma miesiącami był projekt pt. „Pilotażowa modernizacja oświetlenia ulicznego miasta Krakowa wraz z rozbudową warstwy telemetrycznej, stworzeniem systemu sterowania oraz budową instalacji PV (ISE)” współfinansowany z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) w ramach programu priorytetowego „Inteligentne Sieci Energetyczne”. Projekt został zrealizowany we współpracy Gminy Miejskiej Kraków z wiodącą jednostką budżetową – Zarządem Infrastruktury Komunalnej i Transportu oraz w porozumieniu z Akademią Górniczo Hutniczą w Krakowie a także partnerem zewnętrznym, który został wyłoniony w formalnym przetargu. NFOŚiGW współfinansował projekt ze względu na jego innowacyjność i zamierzony efekt ekologiczny [3]. W ramach projektu zamontowano:

- 3766 nowych lamp LED,
- system sterowania oświetleniem,
- zamontowano instalacji PV oraz prowadzone były działania informacyjno-edukacyjne.

Ważnym aspektem w projekcie było dopasowanie oświetlenia w odpowiedzi na zmieniające się warunki atmosferyczne. Informację o warunkach pogodowych dostarczane były za pośrednictwem sensorów rozlokowanych na terenie miasta [21].

Szacuje się, że efektem realizacji tego projektu będzie: oszczędność energii 1378 MWh/rok, ograniczenie emisji CO₂ 1140 mg/rok. Łączna wartość projektu to 13 595 505 zł przy dofinansowaniu na poziomie 6 857 919 zł [3].

5. Proces przetargowy na przykładzie modernizacji oświetlenia miejskiego

Najważniejszym normatywem regulującym istotę zamówień publicznych w sektorze publicznym jest Ustawa Prawo Zamówień Publicznych. Przed przystąpieniem do zamówienia publicznego, który jest niejako jednym z pierwszych etapów inwestycyjnych zamawiający powinien sobie uświadomić czego poszukuje? Jaką technologią chce zrealizować projekt? Czy faktycznie stać jest jednostkę na inwestycję oraz powinien być pewny czy wie, co kupuje. Postawione pytania są jak najbardziej zasadne oraz stanowią konkluzją płynącą z Komunikatu Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady w związku z wdrożeniem dyrektywy w sprawie efektywności energetycznej. Na państwach członkowskich UE spoczywa obowiązek dotyczący zamówień publicznych, który jest uzależniony od takich elementów jak: opłacalność, przydatność techniczna i większe zrównoważenie [10].

Podstawowe normy udzielania zamówień publicznych wynikają z przepisów zawartych w rozdziale 2 działu I ustawy prawo zamówień publicznych. Podstawowymi zasadami przy udzielaniu zamówień publicznych jest stosowanie się do następujących kryteriów: uczciwej konkurencji, równego traktowania wykonawców, jawności, pisemności, prymatu postępowań przetargowych, powszechności oraz bezstronności [15]. Podkreśleniu wymaga fakt, że powyżej wskazane zasady nie wyczerpują wszystkich reguł, które odpowiedzialne są za poprawny kształt zamówień publicznych. Źródłem poprawności udzielania zamówień publicznych są również normy o Traktacie Unii Europejskiej oraz normy wynikające z dyrektyw regulujących tą problematykę, czyli rozporządzenia i decyzje Organów Unii. Należy mieć na uwadze, że kraje członkowskie Unii Europejskiej zobowiązane są do stosowania w prawie wewnętrznym postanowień wynikających z dyrektyw Parlamentu UE i Rady. Podsumowując zamówienia publiczne są postępowaniem sformalizowanym i zinstytucjonalizowanym, które mają dać gwarancję przestrzegania zasad zamówień publicznych [1].

Rozdział drugi Ustawy Prawo zamówień publicznych określa zasady udzielania zamówień. Art. 7 wyznacza zasady przygotowania i przeprowadzania postępowania o udzielenie zamówienia. Art. 8 mówi o jawności postępowania o udzieleniu zamówienia, art. 9 wskazuje formę postępowania o udzielenie zamówienia, zaś art. 10 wskazuje tryby udzielania zamówienia [29]. Przed ogłoszeniem przetargu kluczowym etapem jest szczegółowe przygotowanie dokumentacji przetargowej. Art. 29 Ustawy Prawo Zamówień Publicznych wskazuje na to, iż opis przedmiotu zamówienia powinien być: jednoznaczny, precyzyjny, zobjektywizowany i wyczerpujący [29]. Sukces projektu modernizacji oświetlenia w Krakowie związany był z bardzo dobrze pogotowana dokumentacją przetargową poprzez określenie warunków przetargowych. Proces przetargowy był bardzo innowacyjny dzięki określeniu przedmiotu zamówienia i weryfikacji jego realizacji:

- Zastosowano format danych dostarczonych i wypracowany przez AGH,
- Wymagano dokumentację projektową zarówno w formacie cyfrowym jak i papierowym: Projekt fotometryczny – w formacie cyfrowym, pozwoliło to na szybką i sprawną weryfikację danych od kilku oferentów,
- Zweryfikowanie projektu i obiecanych parametrów; przedstawienie konkretnych wartości, czyli koszt obsługi instalacji oraz koszt zapotrzebowania na energię elektryczną. Przetarg Rozstrzygnięty został w oparciu o koszt instalacji i przewidywane oszczędności wynikające z zastosowanej technologii [17].

Wymagania przetargowe do programu Sowa i do programu ISE odnośnie kryteriów, co do parametrów opraw LED, wprowadzone zostały zarządzeniem Dyrektora ZIKiT. Były to minimalne parametry dla opraw LED. Wszyscy oferenci musieli spełnić pewien zestaw kluczowych parametrów. Szczegółowa specyfikacja wymagań opraw LED została zawarta w załączniku nr 4 dokumentacji przetargowej. Śladami dokumentu oprawy LED musiały odpowiadać m.in. następującym wymaganiom:

- Napięcie znamionowe oprawy 230V +/-5%, 50Hz, oprawa musi posiadać zabezpieczenie przed przepięciami,
- Zakres temperatury pracy opraw: -40°C – +35°C,
- Oprawa musiała być wyposażona w diody LED o wydajności nie mniejszej niż 120 lm/W, trwałość źródeł LED nie mniej niż 100 000h, wartość strumienia świetlnego w tym zakresie nie mógł być mniejszy niż 80% strumienia początkowego,
- Obudowa oprawy wykonana miała być z ciśnieniowego odlewu aluminiowego malowana proszkowo lub anodowana na żądany kolor z palety RAL [25].

10 marca 2014 roku ogłoszono przetarg publiczny na modernizację oświetlenia w ramach programu „SOWA”. Niestety został on unieważniony przez Zamawiającego w dniu 21.05.2014r. zgodnie z art. 93 ust. 1 pkt. 4 prawo zamówień publicznych, ponieważ cena najkorzystniejszej oferty przewyższała kwotę, którą zamawiający zamierzał przeznaczyć na sfinansowanie zamówienia. Zamawiający (ZIKiT) podał, iż w przedmiotowym postępowaniu wpłynęło 6 ofert. Warunki ofertowe określone zostały wg następujących kryteriów: cena brutto – 80%, termin gwarancji – minimum 60 miesięcy oraz elementy oświetlenia ulicznego – 20%. Najkorzystniejszą ofertę przedstawiła firma ELTAST sp. z o.o. z ceną ofertową brutto 38 892 221,59zł oraz okresem gwarancji minimum 60 miesięcy. Zamawiający zamierzał przeznaczyć na sfinansowanie zamówienia kwotę brutto w wysokości 33 274 780,00zł. Wobec powyższego Zamawiający zgodnie z treścią ustawy unieważnił postępowanie [4].

25 lipca 2014 roku ogłoszono kolejny przetarg w ograniczonym zakresie, a 4 września 2014 roku otwarto oferty. Dnia 8 września 2014 roku na wykonawcę w wyniku przeprowadzonego procesu wybrano firmę FB SERWIS S.A, która złożyła najkorzystniejszą ofertę [17].

Ostatni i zarazem najnowocześniejszy etap modernizacji oświetlenia ulicznego to projekt pt. „Inteligentne Systemy Energetyczne ISE”. Do realizacji projektu wybrano scentralizowany obszar Krakowa a informacje będące podstawą do zaprojektowania systemu pochodziły z pętli indukcyjnych oraz czujników mierzących natężenie światła. Ogłoszenie nieograniczonego przetargu publicznego nastąpiło 6 października 2015 roku, 12 listopada otwarto oferty przetargowe. Prace projektowe trwały od 1 grudnia 2015 roku do końca września 2016 roku [17]. Na wykonawcę niniejszego zamówienia wybrano ofertę nr 2: Konsorcjum firm: Lider – FB Serwis S.A. wraz z partnerem – Rerroser Infraestructuras S.A. Otrzymana łącznie punktacja: cena brutto: 8 040 000,00 zł, udzielony okres gwarancji to 84 miesiące. Całkowita efektywność energetyczna wyliczona na podstawie przekazanych danych dotyczących przedmiotu zamówienia to 107 kW. Oferta ta jako jedyna spełniała wszystkie wymagania określone w SIWZ. Ponadto mieściła się w środkach, jakie zamawiający przeznaczył na sfinansowanie przedmiotowego zamówienia. Wygrana firma otrzymała następującą punktację w wyniku rozpatrzenia oferty: cena brutto – 60%, okres gwarancji – 10%, całkowita efektywność energetyczna – 10% [8].

W wyniku przeprowadzonego procesu inwestycyjnego modernizacji oświetlenia miejskiego stworzona została platforma do zarządzania, który realizuje następujące zadania:

- Zdalne zarządzanie pojedynczym punktem świetlnym,
- Ciągła kontrola i monitorowanie parametrów pracy,
- Zróżnicowane poziomy zarządzania,
- Zapewnia odpowiednie oświetlenie w wybranym miejscu i czasie,
- Uzyskiwanie znacznych oszczędności energetycznych.

System pozwala na sterowanie pojedynczego punktu świetlnego. Dzięki tak elastycznemu podejściu możliwe jest dostosowanie parametrów oświetlenia do aktualnie panujących warunków atmosferycznych oraz natężenia ruchu. Możliwe jest wprowadzanie zmian w zakresie: mocy w czasie świecenia, zapewnienie optymalnego poziomu iluminacji w określonej porze nocy. Redukcja mocy oświetlenia następuje w czasie rzeczywistym [17].

6. Efekty modernizacji oświetlenia miejskiego

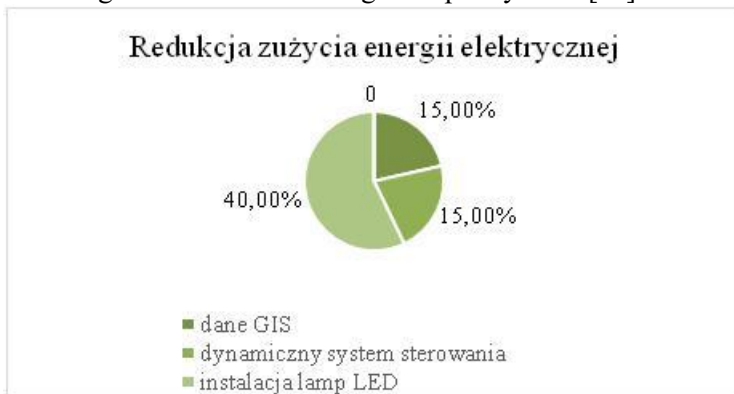
Dzięki innowacyjnemu podejściu inwestycyjnemu udało się w latach 1998-2016 przeprowadzić szereg działań pozytywnie oddziaływujących na przestrzeń miejską. Nowatorskie podejście zespołu nadzorującego umożliwiło pełne dostosowanie się do obowiązujących norm. Oświetlenie LED-owe wraz z budową systemu sterowania to pionierskie rozwiązanie w skali europejskich miast. Osiągnięto następujące efekty:

- Efekt ekologiczny: mniejsze zanieczyszczenie, mniejsza emisja CO₂ oraz
- Efekt finansowy: niższe koszty eksploatacji i konserwacji urządzeń [17].



Rysunek nr 3: Modernizacja oświetlenia w Krakowie – projekty ISE oraz SOWA
źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez ZIKiT

Zredukowano zużycie energii elektrycznej w stosunku do oświetlenia opartego o lampy sodowe o 70%, co bez dynamicznego sterowania nie byłoby możliwe do osiągnięcia. Poniższy wykres prezentuje procentową redukcję zużycia energii elektrycznej z zastosowaniem poszczególnych komponentów: użycia danych i technik GIS do analiz, zastosowanie dynamicznego systemu sterowania oświetleniem oraz przejście z technologii oświetlenia sodowego na oprawy LED [21].



źródło: opracowanie własne na podstawie [21].

Oszczędności w projekcie „Sowa”: 2756 MWh/rok, a ograniczenie emisji CO₂ 1 810 Mg/rok zaś oszczędność energii w projekcie ISE 1378 MWh/rok, ograniczenie emisji CO₂ 1 140 Mg/rok, co daje wartość w powyższych projektach 4 134 MWh/rok.

W Krakowie od 2013 roku funkcjonuje grupa zakupowa energii elektrycznej (KGZEE) skupiająca wszystkie Miejskie Jednostki Organizacyjne oraz zależne od gminy (MPO, MPK, MPWIK, MPC, ARM). Do grupy należą również inne podmioty zainteresowane tą formą zakupu energii. W postępowaniu przetargowym dotyczącym zakupu na 2017 r. uczestniczyło 408 podmiotów posiadających 3123 punkty poboru energii. W każdym roku grupa dokonuje zamówienia w drodze przetargu na zakup energii elektrycznej. Zarządzeniem nr 150/2016 Prezydenta Miasta Krakowa z dnia 22.01.2016 roku powołano Komitet Sterujący do prowadzenia działań KGZEE [31]. Najkorzystniejszą ofertę w przetargu na 2017 rok przedstawił PGE Obrót SA Rzeszów Oddział w Skarżysku Kamiennej z ceną netto za 1 MWh energii elektrycznej w wysokości 212,30 zł. Wartość zamówienia na cały rok to 54,5 mln zł. Przewidywany wolumen na 2017 r. to 210 GWh w tym na potrzeby oświetlenia około 25% [2]. Powróćmy do oszczędności wynikających z przeprowadzonych modernizacji oświetlenia:

$$4\ 134\ \text{MWh/rok} \times 212,30\ \text{zł} = 877\ 648,2\ \text{zł},$$

jest to wspomniany już wymierny efekt ekonomiczny.



Rysunek 1: Lokalizacja modernizacji oświetlenia, projekt Sowa i ISE na fragmencie miasta Krakowa,

źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez ZIKiT

Miasto Kraków zajmuje obszar 326,7911 km² zaś sama powierzchnia zurbanizowana to obszar 146,3 km² co daje niemal 45 % powierzchni w granicach administracyjnych miasta [19]. Każda z ulicznych opraw LED doświetla pole o okręgu równym 15 m [17]. W programie do analiz przestrzennych (QGIS) na podstawie linii przebiegu zmodernizowanego oświetlenia ulicznego (projekt SOWA oraz ISE)

wykonano bufor o granicy 15 metrów (promień oświetlenia emitowany przez każdą latarnię). W wyniku powyższej analizy otrzymano wynik, iż powierzchnia doświetlanych miejsc wynosi 6,15167 km², co stanowi 4,2% powierzchni zurbanizowanej Krakowa.

Powyższe sukcesy nie mogłyby być zrealizowane bez sprawnego zarządzania oświetleniem. Sukces przedsięwzięcia związany jest min. ze zdalną kontrolą działania urządzeń, zdalną możliwością nanoszenia korekt czasu świecenia, monitoringu stanów alarmowych, zmniejszenie zużycia energii poprzez zastosowanie reduktorów oświetlenia, poprawę organizacji pracy firm konserwujących [17].

Podsumowując, dzisiaj infrastruktura oświetleniowa w Krakowie to:

- 67 000 punktów świetlnych w tym 6247 opraw w technologii LED,
- 800 opraw oświetlenia przejść podziemnych,
- 3542 iluminatorów i naświetlaczy,
- 1320 szaf sterowniczo-rozdzielczych w tym 116 szaf przystosowanych do zdalnego sterowania, 44 reduktory mocy [19].

7. Podsumowanie

Podsumowując miasta odgrywają kluczową rolę, a do istotnych zasad ich przyszłego rozwoju zaliczyć należy rozwój oparty na koncepcji smart city, która jest odpowiedzią na wyzwania zmieniających się miast. Zatem w każdym aspekcie zarządzania przestrzenią miejską należy uwzględniać postęp technologiczny i korzystać z narzędzi optymalizujących zużycie zasobów ludzkich, naturalnych czy finansowych. Niewątpliwie zrealizowana inwestycja w postaci modernizacji oświetlenia miejskiego z powodzeniem wpisuje się w ideę smart city, gdzie wykorzystano zaawansowane technologie. Jednym z kluczowych wyzwań decydujących o jakości życia jest sprawne oświetlenie uliczne. Dlatego też aby sprostać współczesnym wymaganiom, Kraków z powodzeniem wdrożył i wykorzystuje inteligentne systemy zarządzania oświetleniem ulicznym.

W 2016 r. zakończono projekt obejmujący wymianę oświetlenia ulicznego na nowe energooszczędne oświetlenie LED-owe (wymieniono ponad 4000 sztuk opraw) wraz z rozbudową warstwy telemetrycznej oraz wymianą infrastruktury towarzyszącej. Wcześniejsze uliczne oświetlenie w Krakowie nie tylko generowało wysokie koszty środowiskowe i utrzymaniowe, ale i było powodem zagrożenia dla bezpieczeństwa uczestników ruchu. Dzięki modernizacji miasto osiągnęło korzyści w obszarze środowiskowym (zmniejszenie zużycia energii na oświetlenie uliczne o 63,13 %, ograniczenie emisji CO₂ o 1809,97 Mg/rok), finansowym (oszczędności wynikające z konserwacji w zużyciu energii, a także technologicznym (dostęp do Inteligentnego Systemu Sterowania Oświetleniem).

Uzupełnieniem dla tych działań stał się projekt pn. „Pilotażowa modernizacja oświetlenia ulicznego Miasta Krakowa wraz z rozbudową warstwy telemetrycznej, stworzeniem systemu sterowania oraz budową instalacji PV”. Projekt, zrealizowany przy udziale Akademii Górniczo-Hutniczej, umożliwił stworzenie innowacyjnego oprogramowania w dziedzinie sterowania oraz jego wdrożenie i monitorowanie

efektów, wraz z pracami rozwojowymi. W dzielnicach objętych programem, na energooszczędne wymieniono 3 100 opraw oświetlenia ulicznego oraz 666 opraw oświetlenia parkowego, wraz z przygotowaniem projektu i wdrożeniem do realizacji konfiguracji oświetlenia LED, stworzeniem systemu inteligentnego sterowania oświetleniem wraz z niezbędnymi elementami warstwy telemetrycznej, który jest kompatybilny z istniejącym systemem do zarządzania oświetleniem ulicznym. Innowacyjność projektu wynika z uzależnienia natężenia oświetlenia od parametrów takich jak rzeczywista intensywność ruchu. Dodatkowym efektem projektu jest również nawiązanie współpracy ze stroną akademicką w dziedzinie inteligentnych rozwiązań; zarówno dla strony samorządowej jak i dla uczelni jest to cenne doświadczenie. Niniejsza praca wykazała również jak duże znaczenie odgrywają zamówienia publiczne w procesie inwestycyjnym. W publikacji wykazano, że zrealizowane inwestycje wpisują się w politykę UE dotyczącą zrównoważonego rozwoju (ograniczenie emisji CO₂).

Literatura

1. Babiarsz S. i in. *Prawo zamówień publicznych*, komentarz, wyd. III, LexisNexis 2013.
2. Biuletyn Informacji Publicznej Miasta Krakowa – [...] Informacja z działalności Krakowskiej Grupy Zakupowej Energii Elektrycznej w roku 2016 w celu wspólnego zamówienia [...] na 2017rok, dostęp: 01.05.2017 r.
3. Biuletyn Informacji Publicznej Miasta Krakowa https://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=26115, dostęp: 01.02.2017 r.
4. Biuletyn Informacji Publicznej Miasta Krakowa, znak dokumentu: ZIKiT/R/0098/14/NZ/32741, dostęp: 01.02.2017 r.
5. Carlsson B., Stankiewicz R. *On the nature, function and composition of technological systems*, Journal of Evolutionary Economics 1 (2) 1991 s. 93-118.
6. Easton D. *An approach to the political systems*, World Politics 9 (3) (1957) s.383-400
7. Gibbs D., Jonas A. *Governance and regulation in local environmental policy: the utility of a regime approach*, Pergamon, 1999.
8. Informacja o wyborze najkorzystniejszej oferty. Znak dokumentu: OZ.271.40.2015, Biuletyn Informacji Publicznej, dostęp 21.01.2017 r.
9. Jakubowska A., Grabowska-Powaga A. *Korzyści i bariery współpracy podmiotów lokalnych na przykładzie banków i samorządów terytorialnych w świetle badań empirycznych*, Studia i prace wydziału nauk ekonomicznych i zarządzania nr 41 t.2.
10. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady – Wdrożenie dyrektywy w sprawie efektywności energetycznej – wytyczne Komisji, Bruksela, 6.11.2013.
11. Kotulski L., Sędziwy A. *Nowe podejście do redukcji konsumpcji energii oświetlenia ulicznego*, IEE Xplore, 2015.
12. Kuffner A. *High quality of life, intelligent technologies and aware residents in smart city*, Viennese expertise based on science and research, 2012 s.12-13.
13. Mattheis C. *The systems theory of Niklas Luhmann and the constitutionalization of the world society*, Goetting Journal of International Law 4 (2012) s. 625-647.
14. Nkonya E. *Sustainable land use for the 21st century*, Union Nations Department of Economic and Social Affairs, 2012.
15. Norek E. *Prawo zamówień publicznych. Komentarz*, wyd. III, LexisNexis 2009.

16. Ocena realizacji Polityki energetycznej Polski do 2030 roku, załącznik 1 do Polityki energetycznej Polski do 2050 roku, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2015.
17. *Oświetlenie Dróg i Miejsc Publicznych Gmina Miejska Kraków* – Dokument udostępniony przez ZIKiT.
18. Rafa K. *Współdziałanie jednostek samorządu terytorialnego wobec wyzwań otoczenia*, Studia Zarządzania I Finansów Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu, Nr 3/2012.
19. Raport o Stanie Miasta 2015: Biuletyn Informacji Publicznej Miasta Krakowa.
20. Rewers E. Post-Polis, wstęp do filozofii ponowoczesnego miasta, Kraków 2005, s. 51-55.
21. Sedziwy A., Kotulski L. *Towards Highly Energy-Efficient Roadway Lighting*, Energies 2016, 9, 263, 2016.
22. The economic role of cities, Tech. rep., UN Habitat 2011.
23. Wiśniewski M. Smart cities – definicje i pomiar (przeгляд koncepcji) Prace naukowe WWSZiP nr 24 (4) 2013.
24. Wojnicki I., Ernst S., Kotulski L. *Prospective Products and Benefits of the Green AGH Campus Project Providing Scaled-down Future Smart Grid Experience*, IEE Xplore, 2015.
25. Załącznik nr 4 „Wymagania opraw LED” do Dokumentacji przetargowej: dokument udostępniony przez ZIKiT.

Akty prawne

26. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
27. Dz.U. 2003 nr 80 poz. 717, Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. O planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym.
28. Dz.U.2011 nr 94 poz. 551 Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej.
29. Dz.U.2015.2164 tj. z dnia 2015.12.22 Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo Zamówień publicznych.
30. Dz.U.U.E.C.2006.115.88 z dnia 16 maja 2006r. w sprawie „*Wkład samorządów lokalnych i regionalnych w walkę ze zmianami klimatycznymi*”.
31. Zarządzenie Nr 150/2016 Prezydenta Miasta Krakowa z dnia 22.01.2016 r. w sprawie powołania Komitetu Sterującego do prowadzenia działań Krakowskiej Grupy Zakupowej Energii Elektrycznej w celu wspólnego zamówienia publicznego na zakup energii elektrycznej w kolejnych okresach zakupowych, Biuletyn Informacji Publicznej Miasta Krakowa, dostęp 22.01.2017 r.

Publikacje elektroniczne

32. Największy w Polsce program oświetlenia ulicznego, http://krakow.pl/aktualnosci/196405,32,komunikat,zakonczyli_sie_najwiekszy_w_polsce_program_modernizacji_oswietlenia_ulicznego.html, dostęp: 30.01.2017 r.
33. Polish City of the Future, <http://www.fdiintelligence.com/Locations/Europe/Poland/Polish-Cities-of-the-Future-2017-18>, dostęp: 30.06.2017 r.
34. Polityka energetyczna Unii Europejskiej, stan na 08.12.2014 rok, źródło: http://oide.sejm.gov.pl/oide/images/files/pigulki/polityka_energetyczna.pdf, dostęp: 10.02.2017 r.
35. Polska w czołówce światowego outsourcingu, <http://www.polskibiznes.info/ranking-tholons-2016-polska-w-czolowce-swiatowego-outsourcingu/>

W stronę SMART CITY – modernizacja oświetlenia miejskiego w Gminie Kraków w latach 1998-2016

Streszczenie

Tematyka skupiona została wokół inwestycji zrealizowanej w Krakowie, który jest wiodącym ośrodkiem naukowym nie tylko w Polsce, ale i w Europie. Miasta nieustannie stoją przed wyzwaniami. Nie tylko muszą spełniać szereg standardów już powszechnie obowiązujących, ale również powinny wychodzić poza szereg i już dziś dostosowywać się do przepisów, które obowiązywać będą w dłuższej perspektywie czasowej. Ponadto muszą pamiętać, że często duże miasta są wzorem dla innych jednostek miejskich, szczególnie tych mniejszych. Co ważne miasta powinny ze sobą współpracować i korzystać ze wspólnie wypracowanego *know how*, co niewątpliwie przyczyni się do większej efektywności wykorzystywanych narzędzi i zoptymalizuje koszty budżetowe. Jednym z kluczowych wyzwań decydujących o jakości życia w mieście są inwestycje związane z oświetleniem ulicznym, które to przyczyniają się nie tylko do poprawy jakości życia w mieście czy wzrostowi poczucia bezpieczeństwa ale również przynoszą wymierną korzyść w postaci efektu środowiskowego i ekonomicznego. Zastosowanie nowoczesnych technologii w oświetleniu miejskim zmniejsza zauważalnie zużycie energii a tym samym powoduje mniejszą emisję gazów cieplarnianych do atmosfery. W artykule przedstawiona została koncepcja smart city, która wpisuje się w idee zrównoważonego rozwoju. Modernizacja oświetlenia na terenie Krakowa jest procesem ciągłym zapoczątkowanym przed 1998 rokiem, który trwa do dzisiaj. Zasadniczo należy podzielić ten okres na 3 etapy, w każdym z nich realizowano zadania mające przynieść ten sam efekt, jednakże za pomocą różnych podejść i osiągalnych na danych czas zdobyczy technologicznych. W artykule pokazana została przebieg inwestycji oraz zastosowana technologia, cele modernizacji oświetlenia miejskiego jak i również wymierne efekty. Podsumowując jednym z kluczowych wyzwań decydujących o jakości życia jest sprawne oświetlenie uliczne, dlatego też aby sprostać współczesnym wymaganiom, Kraków z powodzeniem wdrożył i wykorzystuje inteligentne systemy zarządzania oświetleniem ulicznym.

Słowa klucze: smart city, modernizacja oświetlenia miejskiego, rozwój miast, zarządzanie przestrzenią

SMART CITY – modernization of urban lighting in the municipality of Cracow from 1998 to 2016

Abstract

The subject was focused on the investment made in Cracow, which is a leading the most famous research center in Europe. Cities are constantly facing challenges. Not only do they have to comply with a number of standards already in force, but they also need to go beyond the range and adapt today to the rules that will apply in the long run. In addition, we must remember that big cities are a model for other urban units, especially the smaller ones. It is important for cities to cooperate with other city to developed know-how, which will undoubtedly contribute to greater efficiency of the tools used and to optimize budgetary costs. One of the key determinants of the quality of life in urban areas is investment in street lighting, which contributes not only to improving the quality of life in the city, but also increasing the sense of security, but also brings measurable benefits in the form of environmental and economic effects. The use of state-of-the-art technology in urban lighting reduces visibly energy consumption and thus results in less greenhouse gas emissions. The article presents the concept of smart city, which is part of the idea of sustainable development. Modernization of the lighting in Cracow is a continuous process that began before 1998, which continues today. In principle, this phase should be divided into 3 stages, each of which has the same effect, but with different approaches and achievable technologic. The article shows the course of investment and applied technology, objectives of urban lighting modernization as well as measurable effects. Summing up one of the key challenges of quality of life is efficient street lighting, so to meet today's requirements, Kraków has successfully implemented and utilized intelligent street lighting management systems.

Keywords: smart city, Modernization of urban lighting, urban development, space management

Metody uczenia maszynowego wspierane semantycznie

1. Wprowadzenie

Czwarta rewolucja przemysłowa – Industry 4.0 – wkraczająca obecnie w fazę realizacji, wymusza na gospodarce, producentach, dostawcach i technologiach szereg zmian, szczególnie w zakresie informatyzacji i cyfryzacji, jak i sterowania komputerowego. Pierwsza rewolucja związana była z mechaniką, druga – z produkcją seryjną, trzecia – sterowaniem i automatyzacją, natomiast obecna, czwarta, to koncepcja cyberfizycznych systemów produkcyjnych. Systemy takie oznaczają pełną integrację maszyn i urządzeń produkcyjnych – nieraz autonomicznych, skomputeryzowanych, wyposażonych w własny system operacyjny – z warstwą systemów komputerowych odpowiedzialnych za wizualizację, monitoring, sterowanie i optymalizację procesów produkcyjnych [1-3]. Industry 4.0 to konieczność analizy danych procesowych na niespotykaną dotąd skalę – celem zapewnienia możliwości podejmowania decyzji opartych na pewnej i precyzyjnej informacji. Systemy wspierania podejmowania decyzji – z drugiej strony – są rozwijane przez środowiska związane ze sztuczną inteligencją od wielu lat, dzięki czemu technologie informacyjne (IT) były już przygotowane na czwartą rewolucję przemysłową.

2. Metody eksploracji danych a uczenie maszynowe

Metody uczenia maszynowego (*machine learning*), wywodzące się z badań nad sztuczną inteligencją, pozwalają na generowanie wiedzy w postaci modeli lub reguł ze zbioru danych uczących celem przyszłego wykorzystania tej wiedzy w analizie nowych obiektów. Metody sztucznej inteligencji niejednokrotnie wykorzystywane były już w zagadnieniach inżynierskich i przemysłowych. Metody uczenia maszynowego niewiele różnią się od tych stosowanych w eksploracji danych (*data mining*) – główną różnicą jest przeznaczenie, odbiorca wyników końcowych. Eksploracja danych dąży do odkrycia w zbiorze danych prawidłowości, reguł, czy też relacji pomiędzy czynnikami – celem jej jest odkrywanie wiedzy, a odbiorcą procesu jest człowiek. Uczenie maszynowe ma na celu natomiast odkrywanie wzorców, ale takich, które pozwolą na podejmowanie automatycznych decyzji przez komputer.

W zbiór metod *machine learning* wchodzi te najbardziej popularne narzędzia klasyfikacji, takie jak klasyfikatory minimalnoodległościowe (kNN, k-najbliższych sąsiadów), indukcja drzew decyzyjnych, sztuczne sieci neuronowe (ANN – *Artificial Neural Networks*), jak i te nowoczesne, jak maszyna wektorów nośnych (SVM – *Support Vector Machine*).

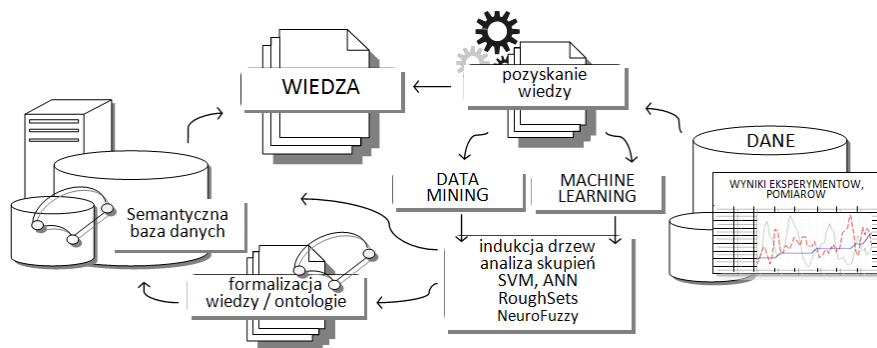
We wszystkich tych algorytmach uczenie przebiega według pewnego schematu: na bazie części danych (ok. 70% przypadków) budowany jest model klasyfikacyjny.

¹ regulski@agh.edu.pl, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Model ten może przyjmować różną postać: zbioru reguł, macierzy odległości, wag na połączeniach, czy macierzy wektorów. Model ten w procesie uczenia jest testowany z użyciem ok. 15% przypadków, a ostateczna postać modelu jest walidowana (poddawana weryfikacji) za pomocą ostatniej wydzielonej grupy danych – ok. 15%. Ocenę modelu można przeprowadzać za pomocą kilku parametrów. Trzy z nich to jakość uczenia, testowania i walidacji – wskazuje na procent przypadków, które są poprawnie zaklasyfikowane w trakcie każdej z faz budowania modelu. Ostateczne działanie modelu można poddawać badaniu na zgodność dopasowania wyników z danymi wejściowymi zmiennej zależnej. W tym badaniu możemy wskazać parametry np.: wartość testu χ^2 czy G^2 będących testami zgodności (dobroci dopasowania rozkładów) – *goodness-of-fit*. Innym kryterium może być niezgodność procentowa określająca procent błędnych klasyfikacji modelu dla tego samego zbioru danych wejściowych i zmiennej zależnej [4].

Proces uczenia maszynowego czy odkrywania wiedzy można przedstawić symbolicznie w trzech krokach: (1) odkrywanie wiedzy w danych; (2) predykcja/klasyfikacja – tworzenie modeli prognostycznych; (3) tworzenie baz wiedzy – kodyfikacja rezultatów celem przyszłego wykorzystania.

Elementem, który jest dodany względem znanych technik eksploracji danych, jest formalizacja wiedzy na potrzeby budowania semantycznych baz wiedzy. Zaproponowane i opisane w dalszej części rozdziału metody uczenia maszynowego stanowią swego rodzaju przegląd algorytmów obliczeniowych sztucznej inteligencji. Zastosowane w połączeniu z metodami formalizacji wiedzy (technikami semantycznymi) mogą w istotny sposób zwiększyć możliwości wykorzystania wiedzy (rysunek 1).



Rysunek 1. Proces odkrywania wiedzy i wnioskowania z użyciem modeli uczenia maszynowego z zastosowaniem technik semantycznych – ontologii celem formalizacji wiedzy i kodyfikacji w semantycznych bazach wiedzy.

Modele semantyczne mają na celu zwiększyć możliwości automatycznego przetwarzania wiedzy. Pozwalają z jednej strony zwiększać precyzję predykcji, ułatwiać budowanie modeli eksploracyjnych, ale również stanowią zaplecze dla systemów wnioskujących, które z użyciem formalnej reprezentacji są w stanie pozyskiwać nowe fakty ze zgromadzonych zasobów.

2.1. Analiza tekstu i dokumentów

Metody uczenia maszynowego, które w ostatnich latach zyskują coraz większą popularność, szczególnie w zakresie przetwarzania tekstu i dokumentów, to zbiory przybliżone oraz analiza asocjacji. Problem przetwarzania danych w postaci tekstu (*text mining*) stanowi istotną gałąź eksploracji danych. Spotykamy się tutaj w wymaganiami dotyczącymi głównie klasyfikacji dokumentów, analizy skupień (odkrywania naturalnych tematycznych grup dokumentów w repozytorium) oraz poszukiwania zależności pomiędzy dokumentami.

Celem **teorii zbiorów przybliżonych** jest stworzenie nowego modelu matematycznego opisującego nieprecyzyjne i niedokładne dane. Zaletą teorii zbiorów przybliżonych, w przypadku analizy danych, jest możliwość szukania zależności między atrybutami charakteryzującymi obiekty oraz generowanie reguł opisujących możliwe związki między nimi. Według tradycyjnego pojęcia zbiór jednoznacznie zdefiniowany jest przez jego elementy składowe. W przypadku zbioru przybliżonego nie mamy jednoznacznej wiedzy o jego elementach, a zbiór opisany jest przez atrybuty umieszczone w tablicy decyzyjnej. Taki sposób definicji zbioru zakłada możliwość powstawania niejednoznaczności, stąd zbiór przybliżony składa się z dolnego i górnego przybliżenia. Wszystkie obiekty tablicy decyzyjnej (elementy zbioru) są ściśle określone przez binarną relację nierozróżnialności (ang. *indiscernibility relation*), która jest kluczowa w teorii zbiorów przybliżonych.

Analizą asocjacji nazywamy jedną z metod dotyczących eksploracji danych, która opiera się na tworzeniu zestawów reguł asocjacyjnych opisujących dany zbiór. Analiza asocjacji jest jedną z głównych metod stosowanych w *text mining*-u ze względu na użyteczność metody przy przetwarzaniu zmiennych nominalnych. Algorytm Apriori oraz wszystkie jego modyfikacje są najbardziej znaną realizacją analizy asocjacji. Algorytm Apriori bazuje na określeniu zbiorów częstych słów kluczowych (kombinacji słów kluczowych), z których w drugim kroku algorytmu generuje się reguły. Zbiór częsty to zbiór termów, którego wsparcie (liczba wystąpień fraz ze zbioru w stosunku do liczby wszystkich transakcji-dokumentów) przekracza wymagany poziom. Każdy ze zbiorów ma obliczane wsparcie, jeżeli osiąga ono minimalną wartość ustawioną przez użytkownika, to dany zbiór tworzy regułę. Każdy ze zbiorów, które spełniają wsparcie, zostaje ponownie użyty do tworzenia coraz to więcej k-elementowych zbiorów, które ponownie sprawdzane są w kontekście wsparcia. Algorytm Apriori stanowi najprostsze urzeczywistnienie idei analizy asocjacyjnej, jednak jego słabą stroną jest czas obliczeń, stąd potrzeba powstawania bardziej wydajnych algorytmów jak AprioriTid czy algorytm FP Growth, które poprzez wprowadzenie dodatkowej struktury bazy umożliwiają pominięcie niektórych transakcji. Wszystkie wymienione algorytmy posiadają jeden cel – określenie jakie wyrazy posiadają własność „współwystępowania” w poszczególnych dokumentach, a na tej podstawie określenie grup dokumentów i ich zawartości merytorycznej [5, 6].

Badania realizowane w tym zakresie mają daleko postawiony cel – jest nim automatyczne poszukiwanie wiedzy w Internecie przez człowieka, ale również przez same komputery. Taki problem pociąga za sobą konieczność rozstrzygnięć w zakresie sposobów reprezentacji i formalizacji wiedzy [7].

3. Formalizacja wiedzy – semantyka

Uniwersalnym narzędziem formalizacji wiedzy najczęściej stosowanym w obecnej chwili są ontologie zapisywane w języku OWL 2.0. Ontologia to uproszczony model rzeczywistości zrozumiały (przetwarzalny) dla maszyn i ludzi. Ontologie stosują zunifikowany, formalny język zbudowany z powiązań pojęć i definicji. Ontologia zapewnia integrację i interoperabilność danych heterogenicznych, złożonych i rozproszonych, zapewnia też reużytkowanie komponentów wiedzy stanowiąc metaopis komponentów modelowanego systemu. Ontologia jest modelem fragmentu wiedzy dziedzinowej składającej się z termów (konceptów) oraz predykatów: właściwości termów, będących predykatami unarnymi oraz relacji pomiędzy termami będących predykatami binarnymi. Ontologia dziedzinowa jest uzgodnioną grupą pojęć z zakresu wybranego obszaru badawczego. Ontologie dziedzinowe odnoszą się do określonych obszarów zastosowania mając swoje przełożenie w realizacji celu aplikacji, dla których są tworzone. W zakresie narzędzi do obsługi i zarządzania ontologiami wciąż wiele pozostaje do zrobienia, szczególnie w aspekcie integracji wielu modeli ontologicznych z tego samego obszaru dziedzinowego [8-10].

Ontologia jest modelem wiedzy, uproszczonym sposobem reprezentacji pojęć z danej dziedziny, stanowi dla baz i repozytoriów wiedzy model semantyczny, tak jak diagramy encji stanowią metamodel relacyjnej bazy danych. Jest schematem czytelnym jednocześnie dla człowieka jak i dla maszyny (komputera), umożliwiającym reużytkowanie wiedzy zgromadzonej w bazach wiedzy, również w sposób zautomatyzowany [11].

4. Ontologie a *data mining*

Uczenie maszynowe czy eksploracja danych przetwarzają dane zazwyczaj przechowywane są w formie pojedynczej tabeli, z prymitywnymi typami danych jako atrybuty. Dane ustrukturyzowane, takie jak np. wykresy, teksty, obrazy, stają się coraz bardziej popularne. Łączenie różnych zadań procesu eksploracji na różnych typach danych przyczynia się do sformalizowania wiedzy w danej domenie i stwarza podstawy do unifikacji i standaryzacji.

Istnieją trzy formy rozszerzenia procesu odkrywania wiedzy poprzez użycie ontologii [12]:

- z wykorzystaniem istniejącej ontologii w celu zdobycia wiedzy,
- budowanie ontologii poprzez odkrywanie wiedzy,
- budowanie i rozszerzanie ontologii poprzez odkrywanie wiedzy z wykorzystaniem istniejących ontologii.

Proces odkrywania wiedzy rozpoczyna się od wcześniej istniejących danych i ontologii, które są właściwe dla danego obszaru. Dane i ontologia ewoluują w czasie, poprzez interakcje między nimi. Ontologie są rozbudowywane o wzorce pochodzące z eksploracji danych, a dane są wzbogacane nowymi wnioskami pochodzącymi z ontologii. Techniki *white-box* eksploracji danych są wykorzystywane do produkowania interpretowalnych wzorców, które mogą być następnie poddane

procesowi filtrowania, a wybierane są na podstawie ich integracji z ontologią. Ontologie są używane do wybierania wejść do eksploracji danych, w oparciu o wspólne znaczenie i znaną niekompletność wiedzy zawartej w ontologii. Nowe modele ontologiczne wykorzystywane są zarówno do abstrahowania i walidacji określonych modeli jak również wnioskowania i konsolidacji dostępnych danych (propagacja, wnioskowanie, wzbogacanie).

4.1. Semantyczne wspomaganie

Omawiane możliwości zastosowanie modeli ontologicznych prowadzą zawsze do realizacji tego samego celu – nadania danym „znaczenia”, czyli semantyki. Komputer w zetknięciu z wiedzą zapisaną w dowolnej postaci widzi tylko pewne, niezrozumiałe dla niego napisy. Jeśli jednak skorzystamy z formalnego języka logiki, możemy wiedzę zapisać w taki sposób, aby również maszyna w razie potrzeby była w stanie odnaleźć dany zasób i precyzyjnie go wykorzystać. Obecna we współczesnej informatyce wizja Internetu przyszłości (*Semantic Web, Web 3.0*) obejmuje w dużym stopniu narzędzia semantyczne. Semantyczna Sieć (*Semantic Web, Web 3.0*) ma za zadanie stworzyć środowisko przyjazne tzw. agentom przeszukującym sieć, które będą pełnić różne role. Agenty byłyby w stanie przeszukiwać stronę po stronie, wybierając tylko wyniki trafne dla użytkownika. Np. agent dla zastosowań metalurgicznych mógłby przeszukać semantyczną sieć, biorąc pod uwagę kryteria zawartości węgla w stopie oraz właściwość np. odporność na korozję, znajdując poszukiwany materiał. Realizacja takich założeń wymagałaby sieci, w której wiedza jest połączona za pomocą formalnych powiązań. Web 4.0 jako idea idzie nawet dalej – stanowi wizję sieci *metaweb*, w której powiązane są sieci wiedzy i grupy relacji i społeczności inteligentnych. Badania prowadzone w tym zakresie zaczynają od podstaw tworząc semantyczne modele, semantyczne bazy danych i zaczątki sieci umożliwiającej inteligentne przeszukiwanie [12, 13, 19]. *Linked Data*, to połączona sieć zbiorów danych. Przez kilka ostatnich lat *Linked Data* stało się jako standardem dla publikacji różnego rodzaju danych w sieci, pozwalając na wykorzystanie potencjału danych, które można konsumować i używać w wielu aplikacjach. Równocześnie rozwijana jest koncepcja *Agile Data Integration* celem optymalizacji tworzenia hurtowni danych w aspekcie zróżnicowanych i wielokryterialnych analiz.

5. Eksploracja danych w procesach metalurgicznych

Zastosowania eksploracji danych i uczenia maszynowego w przemyśle są w obecnych czasach niezliczone. Niezwykłą popularność zdobyły sztuczne sieci neuronowe czy metoda wektorów nośnych. Do budowania modeli predykcyjnych często stosuje się adaptacyjne metody regresji nieliniowej (np. MARSplines).

Przemysł metalurgiczny posiada swoją specyfikę. Produkcja jest skomplikowana i złożona z wielu etapów, bardzo duża liczba parametrów procesu może determinować jakość wyrobu, a zjawiska zachodzące w trakcie przetwarzania materiału mają najczęściej postać nieliniową i trudną do modelowania deterministycznego.

Wszędzie tam, gdzie procesy metalurgiczne nie dają się modelować z zastosowaniem narzędzi CAD/CAM, czyli modeli numerycznych, można próbować tworzyć modele wspomagające podejmowanie decyzji z użyciem technik *data mining*.

Realizując badania naukowe w polskich odlewniach i zakładach przetwórstwa metali najczęściej spotykamy się z problemem przewidywania przyszłych własności wyrobu gotowego celem kontroli i optymalizacji procesu. Jakość wyrobu może być określona poprzez właściwości mechaniczne lub pośrednio poprzez aproksymację składu chemicznego. Tworzenie modeli predykcyjnych w tym zakresie opiera się w pierwszym kroku na poszukiwaniu zależności pomiędzy parametrami procesu, a następnie na wybraniu algorytmu, który analizując te zależności będzie w stanie przewidzieć nieznaną wartość zmiennej zależnej.

Często wykorzystywane algorytmy do przewidywania zarówno wartości zmiennych ciągłych (regresja), jak i dyskretnych (klasyfikacja), to modele indukcji drzew decyzyjnych.

Indukcja reguł, jako pojęcie abstrakcyjne, może obejmować szereg innych algorytmów: zbiory przybliżone, analizę asocjacyjną, logikę rozmytą czy analizę skupień. Wynik wszystkich tych algorytmów ma podobną postać – są nim reguły IF-THEN pozwalające na podejmowanie decyzji. Reguły takie mogą być z powodzeniem zapisane w bazie wiedzy, jednak właściwa eksploatacja takiej bazy w warunkach wielokryterialnych i zróżnicowanych problemów wnioskowania wymaga często dodatkowych narzędzi informatycznych [12, 13].

Realizując modele predykcyjne można doprowadzić do optymalizacji procesów poprzez identyfikację wpływu parametrów. Znając oczekiwane optimum i posiadając model aproksymacyjny, jesteśmy w stanie określić siłę wpływu poszczególnych składowych procesu (analiza wrażliwości), a następnie oszacować ich wpływ na wynik końcowy. Sterując zmianą parametrów odnajdziemy optymalne wartości na wejściu sterowania.

Realizowane badania dotyczyły m.in.: przewidywania własności odlewów [4, 6, 14], składu chemicznego i zawartości fazowej [15], optymalizacji procesu walcowania [16], predykcji wilgotności mas formierskich [17], identyfikacji i diagnostyki wad odlewniczych [5,18] i wiele innych.

6. Podsumowanie

Opisane w rozdziale badania stanowią jeden z elementów rozwoju współczesnej gospodarki z ukierunkowaniem na cyfryzację i cyberfizyczność przemysłu.

Zespoły badawcze pracujące w zakresie rozwoju i aplikacji technologii sztucznej inteligencji od lat współpracowały w projektach dążących do budowy dziedzinowych baz wiedzy. W wielu przypadkach takie dedykowane systemy doradcze czy eksperckie stanowią hermetyczne narzędzie, niezdolne do udostępniania wiedzy innym aplikacjom czy agentom. Obecnie pojawiły się przesłanki pozwalające sądzić, że możliwe będzie reużytkownie tych baz wiedzy.

Zastosowanie uczenia maszynowego pozwala natomiast na automatyczną akwizycję wiedzy do systemów wspomagających podejmowanie decyzji, w zamian

kosztownych i długotrwałych konsultacji z ekspertami, co zapewniło systemom eksperckim drugą młodość. Eksploracja danych ma także tę zaletę, że pozwala niejednokrotnie na pozyskiwanie wzorców niejawnych. Tzw. *implicite knowlege* czy *tacit knowledge* nazywane wiedzą ukrytą jest to zestaw prawidłowości i reguł, które wpływają na dziedzinę objętą wnioskowaniem, ale nie byłaby możliwa do odkrycia w trakcie rozmowy z ekspertem, gdyż stanowi zasoby „nieuświadomione”.

Tworzenie semantycznych baz wiedzy może nie tylko poprawić precyzję budowania modeli predykcyjnych poprzez objaśnianie znaczenia zmiennych, ale również zapewnić deskrypcyjny model komponentów wiedzy, co może pozwolić na ich sprawne odnalezienie poprzez WWW i reużytkowanie.

Podziękowania

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego o nr NCN 2014/15/B/ST8 /00187 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Literatura

1. Jay L., Behrad B., Hung-An K. *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*, Manufacturing Letters, 3 (2015), s. 18-23, DOI:10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
2. Jay L., Hung-An K., Shanhu Y. *Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment*, Procedia CIRP, 16 (2014), s. 3-8, DOI:10.1016/j.procir.2014.02.001.
3. Lasi H., Fettke P., Kemper H-G., Feld T., Hoffmann M. *Industrie 4.0*. Business & Information Systems Engineering, 6 (2014), s. 239-242. DOI: 10.1007/s12599-014-0334-4.
4. Regulski K., Wilk-Kołodziejczyk D., Gumienny G. *Comparative analysis of the properties of the Nodular Cast Iron with Carbides and the Austempered Ductile Iron with use of the machine learning and the Support Vector Machine*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87(2016), s. 1077-1093, DOI: 10.1007/s00170-016-8510-y .
5. Kluska-Nawarecka S., Wilk-Kołodziejczyk D., Regulski K., Dobrowolski G. *Rough sets applied to the RoughCast system for steel castings*, Intelligent Information and Database Systems, Springer Lecture Notes in Computer Science, 6592 (2011), s. 52-61.
6. Górny Z., Kluska-Nawarecka S., Wilk-Kołodziejczyk D., Regulski K. *Methodology for the construction of a rule-based knowledge base enabling the selection of appropriate bronze heat treatment parameters using rough sets*, Archives of Metallurgy and Materials, 60 (2015), s. 309-315, DOI: 10.1515/amm-2015-0050.
7. Regulski K. *Formalization of technological knowledge in the field of metallurgy using document classification tools supported with semantic techniques*, Archives of Metallurgy and Materials, 62 (2017), s. 715-720. DOI: 10.1515/amm-2017-0108.
8. Kluska-Nawarecka S., Regulski K., Krzyżak M., Leśniak G., Gurda M. *System of semantic integration of non-structuralized documents in natural language in the domain of metallurgy*, Archives of Metallurgy and Materials, 58 (2013), s. 927-930.
9. Baader F. , *The description logic handbook: theory, implementation, and applications*, Cambridge University Pres, 2003.
10. Staab S. , Studer R. *Handbook on Ontologies*, Springer-Verlag, 2004.
11. Macioł P., Regulski K. *Development of semantic description for multiscale models of thermo-mechanical treatment of metal alloys*, The Journal of The Minerals JOM, 1-7 (2016), DOI 10.1007/s11837-016-1960-8.

12. Gotttroy P. *An Ontology Driven Knowledge Discovery Framework for Dynamic Domains: Methodology, Tools and a Biomedical Case*, rozprawa doktorska, School of Computing and Mathematical Sciences, Auckland University of Technology, 2010.
13. Wilk-Kołodziejczyk D., Kluska-Nawarecka S., Regulski K., W. Adrian, Jaśkowiec K. *Austempered Ductile Iron manufacturing data acquisition process with the use of semantic techniques*, Archives of Metallurgy and Materials, 61(2016), s. 2117-2122.
14. Wilk-Kołodziejczyk D., Mrzygłód B., Regulski K., Olejarczyk-Woźńska I., Jaśkowiec K. *Influence of process parameters on the properties of ADI examined with the use of data mining methods*, Metalurgija, 55 (2016), s. 849-851.
15. Warmuzek M., Regulski K. *A procedure of in situ identification of the intermetallic AlTMSi phase precipitates in the microstructure of the aluminum alloys*, Practical Metallography, 48 (2011), s. 660-683.
16. Regulski K., Szeliga D., Kusiak J. *Data Exploration Approach Versus Sensitivity Analysis for Optimization of Metal Forming Processes*, Key Engineering Materials, 611-612 (2014), s. 1390-1395
17. Regulski K., Jakubski J., Opaliński A., Brzeziński M., Głowacki M. *The prediction of moulding sand moisture content based on the knowledge acquired by data mining techniques*, Archives of Metallurgy and Materials, 61 (2016), s. 1363-1368. DOI: 10.1515/amm-2016-0277
18. Regulski K., Kluska-Nawarecka S. *System CastExpert do diagnostyki wad odlewów*, Transactions of Foundry Research Institute, 56(2016), s. 123-132, DOI: 10.7356/ioid.2016.10.
19. Angele J. & Gesmann M. (2006). *Data integration using semantic technology: a use case, Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web*, 58-66, DOI: 10.1109/RULEML.2006.9

Metody uczenia maszynowego wspierane semantycznie

Streszczenie

Praca przedstawia najnowsze badania w zakresie metod sztucznej inteligencji stosowanych w analizie eksploracyjnej danych wykorzystujących formalizację wiedzy dziedzinowej i związane z nią metody semantyczne w rozwiązywaniu zagadnień wymagających tworzenia modeli predykcji i klasyfikacji. Rozwój przemysłu, dążenie do realizacji idei Industry 4.0, powszechna informatyzacja i cyfryzacja procesów, wdrażanie systemów cyberfizycznych – wszystko to wymaga bazy w postaci zaawansowanych metod analizy danych wielowymiarowych, optymalizacji wielokryterialnej i uczenia maszynowego. Poszukiwanie wiedzy w Internecie, przez człowieka, ale również przez same komputery pociąga za sobą konieczność rozstrzygnięć w zakresie sposobów reprezentacji i formalizacji wiedzy. Zagadnienia te opisane są w pracy w perspektywie obecnych badań naukowych realizowanych w odpowiedzi na problemy technologiczne napotykanego w przemyśle przetwarzania metali. Klasyfikacja z wykorzystaniem algorytmów analizy asocjacji, zbiorów przybliżonych czy indukcji drzew decyzyjnych znajduje zastosowanie w rozwiązywaniu problemów z zakresu procesów produkcyjnych, ale również z powodzeniem wykorzystywana jest w przetwarzaniu dokumentów nie tylko technologicznych, jak i w eksploracji tekstu. Ontologie – coraz bardziej popularna technologia semantyczna – wykorzystywane są przy tworzeniu baz wiedzy i repozytoriów dokumentów, jak również w projektowaniu systemów wnioskujących i wspomagających podejmowanie decyzji. Eksploracja danych, *data mining*, wspomagana modelami ontologicznymi pozwala na osiągnięcie lepszej precyzji modeli, ale także na tworzenie coraz bardziej autonomicznych i elastycznych systemów gromadzenia danych, tzw. *agile data integration*. W pracy zostały przedstawione koncepcje zastosowania technik semantycznych w eksploracji danych, jak również przykłady zastosowania uczenia maszynowego w przemyśle.

Słowa kluczowe: uczenie maszynowe, eksploracja danych, semantyka, ontologie, przemysł metalurgiczny

Machine learning methods supported by semantic technologies

Abstract

This paper presents the latest research in artificial intelligence methods used in data mining exploration using domain knowledge formalization and related semantic methods in solving problems requiring prediction and classification models. Industry development, the pursuit of the Industry 4.0 concept, the widespread computerization and digitization of processes, the implementation of cybernetic systems – all of which require a base in the form of advanced multidimensional data analysis, multicurrency optimization and machine learning. Searching for knowledge on the Internet, by humans, but also by the computers themselves, entails the need to decide on ways of representing and formalizing knowledge. These issues are described in the work in the perspective of current research carried out in response to technological problems encountered in the metal processing industry. Classification using association rules learning, rough sets, or induction of decision trees is used in solving problems in production processes, but is also successfully used in processing not only technological documents and text mining. Ontologies – increasingly popular semantic technology – are used in the creation of knowledge bases and document repositories as well as in the design of application systems and decision support systems. Data mining, supported by ontologies for more precise modeling, but also for the development of increasingly autonomous and flexible data collection systems – agile data integration. The paper presents concepts of the use of semantic techniques in data mining as well as examples of application of machine learning in industry.

Keywords: machine learning, data mining, semantics, ontologies, metallurgical industry

Rola map urzędowych w XXI wieku w świetle unormowań prawnych

1. Wstęp

Czy rola mapy urzędowej, jaką pełni ona w XXI wieku jest znacząco inna od tej jaką pełniła w ciągu tysiącleci? Żeby móc odpowiedzieć na to pytanie należy najpierw zdefiniować pojęcie „mapy”. Posiada ona wiele definicji, których treść uległa zmianie wraz z rozwojem cywilizacji i technologii. Termin mapa pochodzi od łacińskiego słowa mappa, które oznaczało: zmniejszone, uogólnione przedstawienie na płaszczyźnie (najczęściej na płótnie) całości lub fragmentu powierzchni Ziemi [1]. W obecnych czasach definicja taka byłaby jednakże niepełną i niedokładną. Niedokładną, gdyż pozwoliłaby ona nazwać mapą dowolne fotografie lub obrazy fragmentów kuli ziemskiej nieposiadające matematycznej konstrukcji pozwalającej ustalić ścisłą zależność funkcyjną między współrzędnymi geograficznymi (lub geodezyjnymi) punktów powierzchni Ziemi a współrzędnymi prostokątnymi tychże punktów na płaszczyźnie. Mapa natomiast musi spełniać wymóg przestrzennego uporządkowania poprzez określenie w sposób matematyczny zależności przestrzennych pomiędzy przedstawianymi na niej obiektami. Jednocześnie pierwotna definicja mapy (mappy) byłaby niepełna, gdyż uniemożliwiłaby przedstawienie na mapie obiektów innych niż te dające się zauważyć i zmierzyć w sposób bezpośredni. Treść współczesnych map natomiast oprócz elementów sytuacyjnych obejmuje również zjawiska, które często bywają niemożliwe do zaobserwowania, a o istnieniu których można dowiedzieć się dopiero w wyniku analizy danych przestrzennych.

Jak można już wywnioskować z tego krótkiego wstępu definicja mapy zmienia się wraz z rozwojem naukowym i technologicznym. Postęp w nauce w niektórych przypadkach zawęża zakres stosowania terminu mapa, powodując, że niemające podstaw kartometrycznych i merytorycznych wytwory działalności ludzkiej mimo iż w przeszłości nazywane mapami, nie spełniają kryteriów, których spełnienia wymaga dzisiejsza definicja mapy. W pozostałych przypadkach nauka wsparta technologią poszerza zakres stosowania tego terminu, ale nie na wytwory ludzkie, które już istniały, a zgodnie z definicją nie mogły zostać nazwane terminem mapa. Rozwój technologiczny poszerza zakres stosowania tego terminu na wytwory ludzkiej działalności, których istnienia wcześniej się nikt nie spodziewał i które różnią się od mapy pierwotnej prawie wszystkimi cechami oprócz jej przeznaczenia. W najszerszym zakresie bowiem mapę można zdefiniować poprzez jej przeznaczenie jako „systemową modelowo-obrazową całość informacyjną, odwzorowującą czasoprzestrzenne sytuację

¹gocha@uwm.edu.pl, Instytut Geodezji, Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

praktyczne, jako obszary działań celowych w przyjętym układzie odniesienia” [2]. Na podstawie tak sformułowanej definicji można stwierdzić, że przeznaczenie mapy jest niezmiennie – służy bowiem ona niezmiennie celowemu działaniu człowieka. Zawartość oraz forma mapy zależy natomiast od celu jaki w danym momencie stawia sobie Człowiek – jako przedstawiciel gatunku (ludzkości, grupy, społeczności).

2. Pierwotna rola mapy

Ontogeneza mapy oraz jej roli związana jest z umotywowanym działaniem człowieka, którego jednym z głównych celów było przetrwanie i prowadzenie coraz wygodniejszego życia. W spełnieniu tego celu pomagały mu predyspozycje genetyczne do postrzegania i przedstawiania otoczenia w postaci obrazów, czego dowodem są rysunki naskalne, stworzone przez człowieka prehistorycznego. Rysunki te przedstawiają na ogół usytuowanie siedlisk. Najstarszy z dotychczas odkrytych znajduje się w jaskini Caune d’Arago koło Tautavel w Pirenejach francuskich. Pochodzi on już z około 450000 r. p.n.e. (za Makowskim) [2]. Literaturowy opis tego siedliska przedstawionego na ścianie jaskini wskazuje, że wybrane przez pracźłowika (*homo erectus*) miejsce do życia można ocenić jako usytuowane przemyślanie. Zapewniające poczucie bezpieczeństwa, dające możliwość rozwijania duchowych i materialnych postaci życia, tworzenia kultur, a tym samym budowania podwalin dla rozwoju cywilizacji [2]. Nie mogło więc to być miejsce przypadkowe. Musiało zostać wybrane dzięki szczególnym predyspozycjom pracźłowika. Zgodnie z tezą Makowskiego [2] predyspozycjami tymi są: postrzeganie otoczenia w postaci obrazów powiązane z możliwością wykorzystania przy tym procesów percepcji, aktywności pamięci, skoncentrowanej uwagi i motywacji poznania. Autor tezy uznał, iż pomagały one pracźłowikowi w rozwiązywaniu problemów przestrzennych. Całościowej strukturze powstającej z informacji obrazowych nadał miano „psychicznych map przestrzennych”.

Potrzeba wymiany informacji przestrzennej spowodowała natomiast to, że oprócz postaci mentalnej mapy pojawiła się też jej postać analogowa. Za jej pierwszy przejaw uważa się szkice wykonywane przez wspólnoty pierwotne na piasku, które miały pomóc we wskazaniu lokalizacji łowisk [3]. *Homo erectus* nie był bowiem zdolny do wytwarzania dźwięków porównywalnych do współczesnej ludzkiej mowy [4], stąd wcześniej od mowy pojawił się graficzny sposób wymiany informacji. Mimo rozwoju komunikacji werbalnej rola mapy pozostała równie istotna, potwierdzając maksymę iż „jeden obraz wart jest tysiąca słów” [5]. Początkowo jednakże podejście do tworzenia map było związane z ptolomejską tradycją „geografii położenia”, w której mapy przedstawiały przede wszystkim rozmieszczenie obiektów topograficznych na powierzchni Ziemi, z rzadka pojawiającymi się na nich informacjami tematycznymi [6]. Jako przykład jednej z pierwszych map zawierających informację tematyczną Żyszkowska [6] podaje rzymską mapę z III-IV w.p.n.e. ztw. *Tabula Peutingeriana*, na której przedstawiono obiekty ogólnogeograficzne w tym przede wszystkim drogi i miejscowości oraz element tematyczny: obozy wojskowe oraz informację o odległościach, dzięki czemu może być ona potraktowana jako jedna z pierwszych

map komunikacyjnych. Od XVI w zaczęły powstawać mapy związane z odkryciami geograficznymi zawierające informacje o nowoodkrytych miejscach i znajdujących się tam zasobach naturalnych. Z podróżami morskimi związane też było powstanie w XVII i XVIII atlasów morskich. Główny rozwój map tematycznych nastąpił jednak dopiero w XVIII i na początku XIX w. w związku z rozwojem nauk przyrodniczych i społecznych i potrzebą przedstawienia wyników badań na mapach. Przy czym w IX wieku szczególne znaczenie dla rozwoju kartografii tematycznej miał wzrost zainteresowania naukami społecznymi w których za istotne uznano również badanie cech liczbowych, rosnącej populacji ludzkiej. W okresie tym zostały zapoczątkowane regularne spisy ludności, w związku z czym wyłonił się nowy typ map nazwanych statystycznymi. Pierwszym zbiorem tego rodzaju map był *Administrativ-statistischer Atlas vom Preussichen Staate* z lat 1827-1828 [6]. Od tego momentu ilość map tematycznych wzrosła tak znacznie, że zgodnie z tezą Żyszkowskiej [6] można mówić o pojawieniu się kartografii tematycznej (druga połowa XIX w).

3. Mapa jako zabezpieczenie prawa własności

Na podstawie prowadzonych badań można uznać, że pierwsze rysunki wykonane na ścianach jaskiń stanowiące odwzorowanie wycinka świata rzeczywistego, otaczającego pierwotnego człowieka przedstawiają tereny jego wpływów (siedlisko) i granice terenów łowieckich. Tematyka ta jak się okazuje nie była przypadkowa. Do dnia dzisiejszego bowiem, jednym z istotniejszych celów tworzenia map jest umożliwienie egzekwowania prawa własności. Cel ten istotny był i jest we wszystkich kulturach i ustrojach państw.

Jak zauważył bowiem Fedorowski, a za nim Mika „od czasów, gdy człowiek zaczął prowadzić osiadły tryb życia i zajął się uprawą roli na swoich gruntach, ochrona granic własności oraz danina (podatek gruntowy) w postaci spisów zaczęły odgrywać ważną rolę” [7, 8]. Rozwój technologiczny powoduje natomiast, że granice posiadłości oraz opisujące je dane można określać z coraz większą precyzją. Współcześnie określa się nawet obszar powietrzny rozciągający się nad terytorium lądowym i wodnym danego państwa dzieląc go na przestrzeń narodową i międzynarodową. Początkowo przyporządkowanie obszaru powietrznego danemu państwu ważne było ze względu na żeglugę powietrzną (balony, samoloty, helikoptery). Obecnie podział tej przestrzeni istotny jest również ze względu na technologię satelitarną służącą różnym celom, w tym tak istotnej w tych czasach komunikacji. Teoretycznie jest to granica pomiędzy przestrzenią powietrzną i przestrzenią kosmiczną. Delimitacja jej nie jest jednak prosta i nie ma w doktrynie zgodności co do jej przeprowadzenia [9], chociaż jest ona istotna ze względu na korzystające z niej statki powietrzne, w tym satelity, które poruszać powinny się w przestrzeni międzynarodowej. Obecnie ścierają się cztery stanowiska: a) suwerenność ograniczona jest do przestrzeni, w której występują gazy tworzące powietrze, b) granicę wyznacza pułap osiągalny dla samolotów; c) granicę stanowi najniższa wysokość orbity sztucznych satelitów; d) nie należy wyznaczać uniwersalnej granicy pomiędzy przestrzenią powietrzną i kosmiczną, lecz jedynie dokonywać rozgraniczenia funkcjonalnego ze względu na rodzaj działalności prowadzonej w danej

strefie. Wysokość ta w każdym razie wynosi ok. 80-100 km nad powierzchnią Ziemi [9], stąd satelity powinny krążyć powyżej tej wysokości. Niektóre z tych satelitów, w tym satelity telekomunikacyjne, umieszczone są na szczególnych, geostacjonarnych orbitach, które zapewniają im zachowanie stałej pozycji nad wybranym punktem Ziemi. Ta właściwość geostacjonarnych orbit umożliwia utrzymanie stałej łączności z umieszczonym na niej satelitą, umożliwiając dalszy rozwój technik telekomunikacyjnych. Ta sama właściwość powoduje jednak też problem oceny, czy o tak usytuowanym satelicie mimo iż jest według prawa wystarczająco wysoko (35 786 km nad równikiem), można mówić jako o satelicie usytuowanym w przestrzeni międzynarodowej. Znajduje się on bowiem niezmiennie nad wybranym punktem powierzchni ziemi. Stąd dzisiejsze mapy odzwierciedlające stan władania, to nie tylko obrazy oparte na matematycznych podstawach, ale i umiejętność tworzenia wykładni norm prawnych, która wspomagałaby wypełnienie celu, z powodu którego tworzona jest mapa.

Najstarsze mapy natomiast, na których utrwalono granice własności, to gliniane tabliczki z przed kilku tysięcy lat przedstawiające obszary doliny Nilu [2]. Z prowadzonych badań wynika, że celem tych historycznych map było umożliwienie rekonstruowania granic własności (pól uprawnych) corocznie zalewanych wodami Nilu [2]. Były to obszary wyjątkowo cenne, naniesiony bowiem wodami rzeki muł czynił te tereny bardzo urodzajnymi. Pierwsze mapy zabezpieczały więc prawo do własności ziemskiej i to wyjątkowo cennej, ale i umożliwiały pobór podatków. Uznać więc można, że były to mapy typu katastralnego przedstawiające rozmieszczenie i wzajemny układ poszczególnych działek ziemi.

W Polsce pierwszym dokumentem opisującym położenie geograficzne Polski jest dokument tekstowy spisany po łacinie *Dagome iudex* [10]. Dokument ten to element walki o niezależność państwa polskiego. Mimo, że spisany słowem, a nie zwizualizowany w formie mapy, pozwalał i pozwala na odtworzenie w postaci mapy mentalnej lub graficznej zasięgu państwa polskiego z końca X wieku (zasięg państwa Mieszka I). W dokumencie tym opisano granicę państwa odnosząc ją do bliżej nieokreślonej powierzchni (granic) miast, państw czy regionów geograficznych, których zasięg został na mapie przedstawiony za pomocą nazw. Ten sposób opisu władania utrzymywał się w Polsce jeszcze przez niemal sześć wieków, ze względu na brak odpowiedniej wiedzy w okresie średniowiecza. Po upadku Rzymu mapy stały się bowiem narzędziem dydaktycznym służącym do ilustracji biblijnych teorii dotyczących powstania i natury świata (*mappa mundi*) [2]. Bogato zdobione przedstawiały ówczesny stan poznania globu ziemskiego [11], jednak w przeciwieństwie do map starożytnych opartych na rzetelnych pomiarach nie uwzględniały realnych wyników obserwacji. Stąd utrwalanie stanu władania ziemią w postaci map ma swój początek dopiero w wieku XVI, kiedy [10] to wraz z wielką reformą rolną na Litwie i Żmudzi rozpoczęto tworzenie opracowań gospodarczych majątków ziemskich. Celem reformy było uregulowanie prawa własności ziem. Jednocześnie Zygmunt August chciał wprowadzić rejestrację ziemi w celu zwiększenia dochodu z opodatkowania. W związku ze sprzeciwem szlachty reformy rolne ograniczyły się tylko do

dóbr. Stworzone mapy dały jednak początek trójpolowemu systemowi uprawy ziemi. Rozwiązanie to podniosło wydajność rolnictwa oraz zapobiegało wyjaławianiu gleb. Rozwój naukowy i technologiczny przyczynił się więc w XVI wieku do poszerzenia zakresu stosowania mapy, nie tylko do opisu stanu władania, ale i do wspomagania zarządzania terenem oraz surowcami naturalnymi. Stworzone w wyniku reformy rolnej mapy i rejestry stały się też istotnym dowodem w sporach granicznych i przy uwłaszczaniu.

W XVIII i XIX w dla ziem polskich będących pod zaborami zaczęto tworzyć katastry składające się z map i dokumentów tekstowych zawierających dane opisowe. Miały one służyć głównie poborowi podatku gruntowego. W katastrze austriackim opodatkowaniu podlegały wszystkie użytki przydatne do uprawy oraz budynki. W zaborze pruskim wprowadzono patent opodatkowania gruntu na wzór austriackiego. W zaborze rosyjskim grunty opodatkowane były podzielone na dwie klasy: klasę I gruntów uprawnych, łąk, ogrodów i sadów oraz klasę II pastwisk, lasów i terenów błotnistych. Zróżnicowanie stawek opodatkowania spowodowało, że zaczęto tworzyć mapy odzwierciedlające klasę gruntów i sposoby użytkowania ziemi. Istotną rolę katastry odegrały również przy uwłaszczeniu. Nieodzownym elementem katastrów było bowiem funkcjonowanie ksiąg gruntowych (późniejsze księgi wieczyste). Zapewniały one jawność stosunków prawno-rzeczowych dotyczących mienia nieruchomości. Dzięki temu ułatwiały one także obrót nieruchomościami poprzez zapewnienie bezpieczeństwa obrotu oraz służyły zabezpieczeniu hipotecznym. Po I wojnie światowej uchylono przepisy zaborcze i wprowadzono między innymi ustawę mającą na celu stworzenie jednolitego katastru. Działania zostały przerwane drugą wojną światową. Piętno w procesie tworzenia katastru wywarł również okres komunizmu. Pomimo tego utworzono sprawnie funkcjonujący system, którego obecna nazwa według ustawy prawo geodezyjnego i kartograficznego [12] to ewidencja gruntów i budynków (kataster nieruchomości). Współczesna rola katastru nieruchomości jest podobna do pierwotnej. Również służy poborowi podatków, gwarantowaniu stanu władania, czy wpisom hipotecznym. Pełni też jednak dodatkowe funkcje. Umożliwia „gromadzenie, aktualizację oraz udostępnianie, w sposób jednolity dla kraju, informacji o gruntach, budynkach i lokalach, ich właścicielach oraz o innych podmiotach władających lub gospodarujących tymi gruntami, budynkami lub lokalami” [12]. Umożliwia również przechowywanie informacji o tym, że grunty danej działki podlegają ochronie, ze względu na walory przyrodnicze. Kataster wspomaga więc najistotniejszą obecnie rolę mapy, którą jest ochrona przyrody i zrównoważone wykorzystanie dóbr naturalnych.

4. Mapy nawigacyjne

Drugą dużą grupę, obok map katastralnych stanowią mapy nawigacyjne, służące do wyznaczania drogi i określania pozycji poruszającego się obiektu. Mapy te tworzone były w przeszłości w związku z zainteresowaniem odległymi krajami, podróżami kupców czy też podbojami nowych obszarów. Szczególnie istotne w historii tych map było pojawienie się w XIII w. map żeglarskich zwanych Portolanami [2]. Stanowiły

one wielki postęp w kartografii w stosunku do map średniowiecznych „mappae mundi” i stały się prototypem współczesnych map nawigacyjnych. Dalszy rozwój map nawigacyjnych związany był z okresem wielkich odkryć geograficznych oraz wynalezieniem druku (XV w.). W XVII w. zaczęto prowadzić skrupulatne badania naukowe, które miały zwiększyć precyzję nawigowania po otwartych oceanach. Do rozwoju kartografii lądowej w tym okresie przyczyniła się natomiast potrzeba zwiększenia skuteczności działań militarnych. Kolejnym istotnym czynnikiem w rozwoju kartografii nawigacyjnej był rozwój lotnictwa. Jednocześnie wyłoniła się nowa dziedzina fotogrametria, czyli tworzenie map na podstawie zdjęć wykonanych z samolotów. Kolejnym krokiem był rozwój technologii satelitarnej. Początkowo służyła ona głównie celom wojskowym. Obecnie jednak przyczyniła się do rozwoju nawigacji samochodowej. Współcześnie jest to jedna z głównych ról map w użytku prywatnym. Nie ma bowiem chyba kierowcy, któremu nawigacja samochodowa związana z technologią satelitarną nie pomogła by w odnalezieniu właściwej drogi. W związku z olbrzymim wzrostem ilości samochodów i powstaniem technologii, które umożliwiają tworzenie map w czasie rzeczywistym, nawigacja samochodowa pomaga również w odnalezieniu nie tylko najkrótszej, ale i najszybszej drogi. Szybkość natomiast wyliczana jest również przy uwzględnieniu ilości samochodów w danym momencie na poddawanej w rozprawę drodze. Możliwe jest to dzięki temu, że korzystając z darmowej nawigacji jesteśmy często zobligowani do udostępniania w czasie rzeczywistym lokalizacji naszego urządzenia, a co za tym idzie i samochodu. Dzięki temu współczesna mapa nawigacyjna pozwala nam zaoszczędzić to co jest w tych czasach dobrem najcenniejszym – czas. Jednocześnie wyjątkowo upodobniła się do nawigacyjnych map morskich czy lotniczych. Podobnie bowiem jak w wymienionych typach map w czasie rzeczywistym nanoszone jest na cyfrową mapę nawigacyjną położenie samochodu, a następnie wyznaczana jest najszybsza droga. Mapa nawigacyjna może przy tym stanowić przykład nowoczesnej mapy multimedialnej. Jednym ze środków przekazu kartograficznego jest w jej przypadku bowiem dźwięk, dzięki czemu współczesna nawigacja samochodowa może polegać tylko na przekazywaniu kierowcy komunikatów głosowych bez odniesienia się do obrazu kartograficznego.

5. Mapa dla celów administracyjnych

W połowie XVIII wieku zrozumiiano, że dotychczasowa wiedza geograficzna w odniesieniu do obszarów objętych władaniem jest niedostateczna i często błędna. Władcy krajów, czy też administratorzy wybranych terytoriów zrozumieli, że nie da się skutecznie zarządzać, bądź prowadzić wojen bez odpowiednich map, zawierających istotne dla tych działań informacje o terenie. W związku z tym powstały w Europie, w tym w Polsce narodowe służby topograficzne. Spowodowało to gwałtowny rozwój produkcji map topograficznych, które do dnia dzisiejszego są podstawowym elementem zasobu geodezyjnego i kartograficznego w Polsce, a także w Europie, czego świadectwem są ustawy krajowe oraz dyrektywy Unijne. Zgodnie z przesłaniem zawartym w prawodawstwie europejskim i polskim najistotniejszą rolą map topogra-

ficznych jest możliwość zarządzania surowcami naturalnymi oraz rozwojem gospodarczym w sposób zrównoważony, nieniszczący przyrody i nieskutkujący wyłączeniem społecznym grup ludności, szczególnie tych mieszkających daleko od aglomeracji miejskich. Tworzone mapy topograficzne mają więc umożliwić dbanie o dobrobyt wszystkich współcześnie żyjących ludzi oraz przyszłych pokoleń [13]. Oczywiście oprócz funkcji jaką powinna pełnić mapa topograficzna zgodnie z zapisami ustawowymi pełniła i aktualnie pełni ona wiele innych istotnych funkcji, w tym stanowi przede wszystkim źródło podstawowej ogólnogeograficznej informacji przestrzennej.

6. Rola współczesnej mapy urzędowej na podstawie prawodawstwa polskiego i unijnego

Aktualny na dzień dzisiejszy art. 40 ust. 1 ustawy z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i Kartograficzne w brzmieniu ustawy z dnia 5.06.2014 r. (Dz.U. z 2014 r. poz. 897), która weszła w życie 12.07.2014 r. wskazuje, że zasób geodezyjny i kartograficzny, którego głównym elementem są mapy w szerokim słowa tego znaczeniu stworzony jest i utrzymywany w celu „służenia gospodarce narodowej, obronności państwa, ochronie bezpieczeństwa i porządku publicznego, nauce, kulturze, ochronie przyrody i potrzebom obywateli.” Z zapisu tego wynika, że mapa w obecnym ustroju służyć ma zarówno celom państwowym (gospodarce, obronności), potrzebom obywateli, celom wyższym jak nauka i kultura jak i, ochronie przyrody oraz porządku prawnego. Nie wszystkie te zapisy od początku znajdowały się w niniejszej ustawie, a i ustawa ta wskazująca, że mapy mają służyć potrzebom obywateli ma dopiero niecałe 30 lat. W uprzednim ustroju (przed 1989 r.) tworzone bowiem mapy gospodarcze stanowiące podstawy do prowadzenia ksiąg hipotecznych i katastru gruntowego, realizacji zadań planu 3-letniego, naliczania domiaru podatkowego, likwidowania prywatnej działalności w celu zastępowania jej przedsiębiorstwami państwowymi. Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo Geodezyjne i Kartograficzne w pierwotnym swoim brzmieniu (Dz.U. Nr 30, poz. 163) przypisała natomiast mapie rolę „służenia gospodarce narodowej, obronności państwa, nauce, kulturze i potrzebom obywateli.” Nowelizacja jej z dnia 3.10.2008 r. (Dz.U. Nr 201, poz. 1237), która weszła w życie 15.11.2008 r. przypisała dodatkowo mapie rolę ochrony przyrody, co było zgodne z ideą wdrażanej w Europie Dyrektywy INSPIRE [14]. Dnia 5 czerwca 2014 r. po raz kolejny został znówelizowany art. 40 ust. 1 w brzmieniu ustawy prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. z 2014 r. poz. 897) poprzez dołożenie kolejnego istotnego elementu „ochrony bezpieczeństwa i porządku publicznego”. Jak widać ustawowo określona obecna rola mapy odzwierciedla aktualne idee społeczeństwa, w którym nowe technologie, w tym szczególnie zaawansowane pod względem technologicznym mapy mają przyczyniać się nie tylko do ochrony środowiska, ale i do włączenia społecznego oraz poszanowania praw, a co za tym idzie i godności człowieka. Rolą współczesnej mapy urzędowej jest więc obecnie oprócz wymienionych wcześniej zadań, ochrona praw obywatela w demokratycznym państwie prawa.

Rolę, znaczenie i innowacyjność mapy w obecnym ustroju i momencie technologicznym oprócz art. 40-stego odzwierciedlają również inne artykuły, w tym między innymi art. 7 „Prawa geodezyjnego i kartograficznego” opisujący zadania służby geodezyjnej i kartograficznej, a przy tym wskazujący rolę jaka powinna zgodnie z ustawą pełnić mapa w społeczeństwie. W swojej pierwotnej postaci [15] artykuł ten wskazywał, że do zadań służby geodezyjnej i kartograficznej należy „wydawanie map i atlasów na potrzeby oświaty” [15]. Państwo nie wydawało bowiem wówczas map, które miały by służyć prywatnym potrzebom obywateli. Urzędowo zaspokajano jedynie potrzeby związane z edukacją. Nowelizacja art. 7 w brzmieniu ustawy z dnia 8.08.1996 r. (Dz.U. Nr 106, poz. 496), która weszła w życie 1.01.1997 r. wprowadziła obowiązek wydawania urzędowych map terytorium Polski [15]. Kolejna nowelizacja Art. 7 w brzmieniu ustawy z dnia 21.01.2000 r. (Dz.U. Nr 12, poz. 136), która weszła w życie 23.02.2000 r. dodała do obowiązku wydawania urzędowych map obowiązek wydawania map i atlasów terytorium Polski. Nie była to kardynalna zmiana. Dopiero nowelizacja art. 7 ust. 1 pkt 3 w brzmieniu ustawy z dnia 5.06.2014 r. (Dz.U. z 2014 r. poz. 897) [15], która weszła w życie 12.07.2014 r. dodała do już istniejącego obowiązku związanego z wydawaniem map obowiązek „prowadzenia państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego w tym jego tworzenie, ewidencjonowanie i utrzymywanie oraz aktualizacja i udostępnianie danych;” Najważniejszym dla obywatela elementem nowego brzmienia art. 7 [16] jest wprowadzenie obowiązku „udostępniania danych” do czasu tej aktualizacji istniał jedynie obowiązek „administrowania państwowym zasobem geodezyjnym i kartograficznym i jego aktualizacja;” [17]. Służby geodezyjne nie miały natomiast obowiązku udostępniania danych. Dodać przy tym należy, że przed 1989 r. wiele map urzędowych i wojskowych było tajnych, stad początkowo rola państwa w wydawaniu map była tak ograniczona. W początkowym okresie wydawania map urzędowych były one bardzo drogie, co wynikało zarówno z etapu rozwoju technologicznego, jak i z tego, że udzielanie informacji obywatelowi, nie było wpisane w jego prawa. Państwo nie partycypowało więc w kosztach wytwarzania i udostępnienia informacji przestrzennej obywatelowi. Sytuacja była wręcz przeciwna. Państwo zarabiała na udostępnianiu tej informacji. Obecnie zgodnie z Konstytucją RP [18], a także Dyrektywą INSPIRE [14] oraz ustawą o infrastrukturze informacji przestrzennej [19] część informacji przestrzennej musi być udostępniona obywatelowi bezpłatnie, a państwo jest zobligowane, aby informację tę utrzymywać w aktualności [20] oraz udostępniać w sposób najbardziej przyjazny współczesnemu obywatelowi, a więc poprzez Internet [14]. Udostępnianie poprzez Internet musi natomiast odbywać się w sposób, który nie wymaga od odbiorcy posiadania szczególnie zaawansowanego sprzętu oraz specjalistycznego oprogramowania. Zgodnie z ustawą o infrastrukturze informacji przestrzennej [19] do wyświetlenia mapy na sprzęcie odbiorcy ma wystarczyć zwykła przeglądarka internetowa, do której nie trzeba będzie odinstalowywać żadnych dodatkowych oprogramowań. Na podstawie gwarancji ustawowych zapewniających jednocześnie żyjącemu człowiekowi bezpłatny dostęp do podstawowej informacji przestrzennej (map), w sposób niewymagający od niego szczególnej aktywności, można stwierdzić,

że rola mapy w XXI wieku jest ogromna i różnorodna. Dostrzeżono jej znaczenie w nauce, polityce, administracji, ochronie przyrody, ale i w codziennym życiu, gdyż uznano, że jest ona niezbędna przy podejmowaniu niemal wszystkich decyzji.

7. Podsumowanie

Jak już wskazano wcześniej najgłębsze zmiany dokonały się w kartografii wraz z rozwojem technik związanych z zastosowaniem komputerów. Umożliwiło to zmianę nośnika mapy z analogowego do cyfrowego uzyskując tym sposobem olbrzymie spektrum nowego zastosowania map. Cyfrowe, interaktywne, mobilne, a do tego często darmowe mapy to bowiem finalny produkt rozwoju technologicznego ostatnich kilkunastu lat. Rozwój ten nastąpił równoległe w sektorze państwowym i prywatnym. Jest to novum, na które należy zwrócić uwagę, gdyż przez wieki mapy służyły realizacji dochodowych misji państwa: kolonizacji nowych terytoriów, prowadzeniu wojen, poborowi podatków lub pozwalały osiągać zyski (często kosztem innych) wybranym grupom społecznym. W przeszłości dysponowanie mapą wiązało się z posiadaniem monopolu na istotne informacje i w związku z tym z możliwością szybkiego wzbogacenia się. Potrzeby obywateli miały wówczas ograniczone znaczenie, a w okresie do rewolucji francuskiej niektóre grupy społeczne nie miały żadnego prawa do uzewnętrzniania potrzeb. Odejście od „żelaznej zasady ekonomii” i przyjęcie zasady zrównoważonego rozwoju za jedną z kardynalnych zasad współczesnej cywilizacji zmieniło motyw tworzenia i wykorzystania map. Zapewnienie spójności społecznej oraz dbałość o środowisko w celu zapewnienia wszystkim ludziom wysokiej jakości życia stało się priorytetem. W Europie początku realizacji tej zasady poprzez wsparcie finansowe, prawne i organizacyjne nowoczesnych technologii i rozwiązań można upatrywać od dnia 11 kwietnia 2002 roku, kiedy trzech Komisarzy Unii Europejskiej ds.: środowiska, nauki oraz finansów podpisało memorandum powołujące inicjatywę budowy europejskiej infrastruktury informacji przestrzennej INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe). Celem podpisania memorandum i powołania inicjatywy INSPIRE było jak wskazali w swoim memorandum komisarze: „uczynić odpowiednie i zharmonizowane dane geoprzestrzenne dostępnymi dla wspólnotowej polityki środowiskowej i dla obywateli, (...) poprzez ustanowienie zintegrowanych usług w zakresie informacji geoprzestrzennej, opartych na sieciowo rozproszonych bazach danych, powiązanych wspólnotowymi standardami i protokołami dla zapewnienia technicznej zgodności” [21]. W wyniku tak postawionego celu w ciągu kilkunastu lat udało się stworzyć innowacyjne MAPY, które umożliwiły realizację celu z 2002 roku. Mapy te stały się podwaliną dla realizowania zasady zrównoważonego rozwoju mającego zapewnić wysoką jakość życia wraz z jednoczesną ochroną środowiska przyrodniczego. Powstałe w wyniku inicjatywy INSPIRE cyfrowe mapy urzędowe są wizualizacjami odpowiednio zharmonizowanych danych przestrzennych (cyfrowych) przechowywanych w sieciowo rozproszonych bazach danych. Wizualizacja ich jest możliwa zarówno poprzez plotowanie lub drukowanie na papierze, jak i również lub raczej przede wszystkim poprzez wizualizację informacji przestrzennej na ekranach komputerów lub innych elektro-

nicznych urządzeń przenośnych. Możliwe jest to dzięki wykorzystywaniu ustandaryzowanych, zintegrowanych usług geoprzestrzennych, stworzonych na potrzeby projektu INSPIRE [14]. Cyfrowe mapy, stanowiące jeden z elementów zaawansowanej technologii geoinformacyjnej mają zgodnie z ideą INSPIRE zapewnić zrównoważony rozwój gospodarki opartej na wiedzy i innowacjach, sprzyjającej włączeniu społecznemu. Mają więc one sprostać zadaniu równie skomplikowanemu i innowacyjnemu jak ich budowa.

Podsumowując niniejszy rozdział, można zgodzić się z uznanymi autorytetami w dziedzinie, kartografii, że powód tworzenia map jest niezmienny. Mają one wspomagać celowe działania człowieka. Rola, jaką odgrywa mapa ewoluuje natomiast (przyrostowo) wraz ze zmianą światopoglądu i rozwojem nauki oraz technologii. Obecnie oprócz wszystkich wcześniejszych celów jakie miała spełniać mapa, ma ona służyć obywatelom, którym współczesne konstytucje gwarantują wiele praw, w tym prawo do informacji oraz życia w państwach, które dbają o szeroko pojęty dobrobyt obywatela poprzez dbałość o środowisko naturalne i zrównoważony rozwój gospodarczy. Podstawowym narzędziem wspomagającym główne misje państwa jest natomiast map, współczesna innowacyjna mapa cyfrowa.

Literatura

1. Saliszczew K. *Kartografia ogólna*, PWN, 2009.
2. Makowski A. *Systemy informacji topograficznej kraju*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.
3. Leszczyńska M. *Modelowanie kartograficzne wykorzystujące paradygmat deklaratorywno-objektowy na przykładzie zagrożonych marginalizacją społeczną i gospodarczą obszarów wiejskich*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, 2013.
4. Ruhlen M. *The origin of language: tracing the evolution of the mother tongue*, Wiley, 1994.
5. Robinson A., Sale R, Morrison J. *Podstawy Kartografii*, PWN, 1998.
6. Żyszkowska W., Spallek W., Borowicz D. *Kartografia tematyczna*, PWN, 2012.
7. Fedorowski W. *Ewidencja, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im. Eugeniusza Romera*, 1974.
8. Mika M. *Historia katastru polskiego*, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 6 (2010), s.75-85.
9. Czapliński W. *Podstawowe zagadnienia prawa międzynarodowego*, Centrum Europejskie Uniwersytetu Warszawskiego, 2009.
10. Roszczypała M. *Mapa dla celów prawnych w aspekcie historycznym*, http://www.geodezja-szczecin.org.pl/stara_strona/Konferencje/Konf2011/k05.html.
11. Paślawski J. *Wprowadzenie do Kartografii i Topografii*, Wydawnictwo Nowa Era, 2006.
12. Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. z 2016 r. poz. 1629).
13. Traktat Lizboński z 17 grudnia 2007 (Dz.U. z 2009 r. Nr 203, poz. 1569).
14. Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca Infrastrukturę Informacji Przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE).
15. Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. 1989 Nr 30, poz. 163).
16. Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. z 2014 r. poz. 897 zm.).

17. Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. 2010 Nr 182, poz. 1228 zm.).
18. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz.U. Nr 78, poz. 483).
19. Ustawa o Infrastrukturze Informacji Przestrzennej z dnia 4 marca 2010 r. (Dz.U. Nr 76, poz. 489).
20. Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. z 2016 r. poz. 1629).
21. <http://inspire.jrc.it>.

Rola map urzędowych w XXI wieku w świetle unormowań prawnych

Streszczenie

Przez kilka tysięcy lat mapy służyły realizacji interesów państwowych: odkrywaniu nowych terytoriów, kolonizacji, wyliczaniu podatków, prowadzeniu wojen. Przyczyn tego stanu rzeczy było kilka. Do momentu pojawienia się druku mapy były dobrem ekskluzywnym, dostępnym tylko dla wybranych, mających grup społecznych. Grupy te istnienie map utrzymywały w tajemnicy, wykorzystując je w celu dalszego bogacenia się. W późniejszych latach gdy ręcznie rysowane mapy można było zastąpić mapami drukowanymi cena ich zmalała, jednakże dostępność ich nie wzrosła proporcjonalnie. Tworzone były one bowiem nadal z myślą o podbojach, prowadzeniu wojen i poborze podatków. W związku z tym treść ich była dostosowana do odczytu przez specjalistów, a rządzącym nadal nie zależało na tym, ażeby informacja przestrzenna stała się dobrem powszechnie dostępnym. Wraz ze zmianą podejścia do człowieka zmieniła się rola map, ich treść, wygląd oraz dostępność do nich. I mimo, iż zmiany te nie byłyby możliwe bez postępu technologicznego to jednak trudno jest jednoznacznie powiedzieć czy to zmiana myślenia o jednostce czy też moc obliczeniowa komputerów wpłynęły na to jak wyglądają dzisiejsze mapy i w jaki sposób możemy z nich korzystać. Celem niniejszego artykułu jest próba odpowiedzi na to i na wiele innych pytań związanych z rolą cyfrowej a często i mobilnej mapy w XXI wieku.

Słowa kluczowe: kartografia, mapa cyfrowa, mapa

The role of official maps in the 21st century in the in the eyes of the law

Abstract

For thousands of years, the maps were central to many different civil businesses, such as discovering new territories, colonisation, counting of taxes and waging wars. There were many reasons for that conjuncture. Until the moment, when the print was discovered, the maps were exclusive and available only for chosen, wealthy social groups. They were using the maps secretly for growing rich. In later years, when printed maps take a place of drawn maps, prices got cheaper, but the availability has not changed. The maps still were created for subjugations, wars and taxes levy. This is why the content was adjustment for specialists. The governments did not take care about making maps generally available for everyone. The function, content, look and availability of maps has changed, along with change of approach of perceiving the human. Even though, these changes could not happen without technological progress, it is hard to say what had the biggest impact on how do the maps look and how can we use them these days. The main purpose of this article is an attempt to find answers for many questions relevant to digital and mobile maps in XXI century.

Key words: cartography, digital map, map

Systemy wspomaganie procesów decyzyjnych w infrastrukturze kolejowej

1. Wprowadzenie

Z uwagi na szeroki zakres prac geodezyjnych, kartograficznych i diagnostycznych wykonywanych dla potrzeb budownictwa komunikacyjnego, jak również urbanistyki, architektury, inżynierii środowiska oraz innych branż przemysłu, prace te związane są z planowaniem i realizacją różnych inwestycji, kontrolą geometrii budowli i urządzeń oraz z inwentaryzacją budowli inżynierskich. Każdy etap tych prac wspierany jest systemami wspomaganie procesów decyzyjnych. Transport kolejowy jest jednym z systemów transportu lądowego, który umożliwia prowadzenie działalności polegającej na przemieszczaniu ludzi i ładunków za pośrednictwem drogi kolejowej obejmującej tor kolejowy albo tory kolejowe wraz z elementami wymienionymi w ustawie o transporcie kolejowym [1]. Transport kolejowy może być również realizowany w inny sposób, tj. podwieszoną szyną, liną lub torem magnetycznym kolei nadziemnej. Jednak najbardziej rozpowszechnionym transportem kolejowym są przewozy kolejowe realizowane na torze dwuszynowym o szerokości 1435 mm (kolej normalnotorowa). Elementem składowym transportu kolejowego jest **infrastruktura kolejowa**, która między innymi obejmuje tory kolejowe, rozjazdy, skrzyżowania torów, obiekty inżynierskie, nastawnie, systemy sterowania, systemy zasilania. Ustawa o transporcie kolejowym [1] określa w załączniku nr 1 elementy infrastruktury kolejowej. Jednak w skład transportu kolejowego wchodzi też **suprastruktura**, czyli tabor, w tym między innymi: lokomotywy, wagony pasażerskie, wagony towarowe, pojazdy robocze, elektryczne i spalinowe zespoły trakcyjne. Transport kolejowy to też procedury i zasoby, które zapewniają bezpieczną, sprawną eksploatację infrastruktury oraz suprastruktury, np.: obsługę pasażerów, obsługę klientów w przewozach towarowych, ruch kolejowy, diagnostykę, geodezję kolejową i utrzymanie.

Systemy wspomaganie procesów decyzyjnych w infrastrukturze kolejowej obejmują różne zależności techniczno – aplikacyjne, uzupełniane wynikami prac geodezyjnych, diagnostycznych i prac kartograficznych. Systemy te zapewniają pozyskać i wzbogacić wiedzę pracowników techniczno – inżynierskich, zwłaszcza w odniesieniu do analizy i oceny stanu infrastruktury kolejowej. Dostarczają informacji dotyczących bezpieczeństwa ruchu kolejowego, a tym samym utrzymania poszczególnych elementów infrastruktury w prawidłowym stanie. Informacje o stanie infrastruktury kolejowej stanowią podstawę podejmowania decyzji w zakresie jej

¹ Arkadiusz Kampczyk, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kampczyk@agh.edu.pl, arkadiusz.kampczyk@gmail.com

utrzymania. Informacje te dostarczane są jako dane na podstawie przeprowadzonych prac geodezyjnych, diagnostycznych i prac kartograficznych. Od wyników tych prac oraz od wnikliwej ich analizy i oceny zależy nie tylko bezpieczeństwo ruchu w transporcie kolejowym, ale miejsce, czas, a także planowanie i wykonywanie robót konserwacji i napraw oraz zdefiniowanie nakładów ponoszonych na utrzymanie infrastruktury kolejowej. Wyniki tych prac, jako dane decydujące o jakości wniosków podawanych przez systemy wspomaganie decyzji, są wykonywane przez pracowników techniczno-inżynierskich. Systemy wspomaganie procesów decyzyjnych są uzależnione od jakości pozyskanych danych bezpośrednio lub pośrednio z terenu. Na ich jakość ma wpływ rodzaj zastosowanych przyrządów pomiarowych, dobór metod i technik pomiarowych oraz umiejętność pracowników techniczno – inżynierskich. W pracy zwrócono uwagę na korzyści z zastosowania systemów wspomaganie procesów decyzyjnych, stanowiących rozwiązanie, jako odpowiedzi na potrzeby współczesnego pracownika techniczno-inżynierskiego w transporcie kolejowym. Zawarto autorskie rozwiązania przyrządów pomiarowych, wpisujących się w tematykę prac geodezyjnych oraz prac diagnostycznych w infrastrukturze kolejowej. Rozwiązania te stanowią znaczącą poprawę jakości prac i pozyskiwania danych o jej stanie. Tym samym zapewniając wprowadzenie do systemów wspomaganie procesów decyzyjnych danych o dobrej jakości.

Przedstawiono wyniki autorskich prac nad geometrią połączeń torów dwoma rozjazdami zwyczajnymi o jednakowych skosach, które zostały uzyskane z zastosowaniem przykładnicy magnetyczno-pomiarowej (*ang. magnetic-measuring square – MMS*) z trzpieniem 2M, płytką krawędziową, minipryzmatem GMP111 [2]. W pomiarach zastosowano tachymetr TC407 Leica nr 697413. Obliczenia geometrii połączeń torów zostały zrealizowane z użyciem systemu POŁĄCZENIA TORÓW.

W artykule omówiono również zagadnienia dotyczące zastosowania przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z adapterem do montażu sygnałów referencyjnych do skanerów [3]. Zawarto wyniki autorskich pomiarów z zastosowaniem naziemnego skaningu laserowego z użyciem skanera laserowego Leica ScanStation C10. Pomiary objęły wnętrze pomieszczenia laboratoryjnego (sala laboratoryjna), w którym sygnał referencyjny został zamontowany za pośrednictwem adaptera do montażu sygnałów referencyjnych na przykładnicy MMS, a ta zamontowana na szynie typu kolejowego. W artykule przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

2. Systemy wspomaganie decyzji

W pracy [4, 5] dokonano omówienia tematyki projektowania systemów wsparcia decyzyjnego, formułując zasady projektowania efektywnych Systemów Wsparcia Decyzyjnego (SWD) przy wykorzystaniu podejścia systemowego. Z kolei w pracy [4] i [6], autorzy przedstawili statyczne i dynamiczne metody oceny poprawności działania DSS (Systemy Wspomaganie Decyzji, *ang. Decision Support Systems*) oraz przedstawili podstawowe rodzaje błędów w SWD. W [4] i [7] stwierdzono, że systemy wspomaganie decyzji ewoluowały z prowadzonych w latach pięćdziesiątych i sześć-

dziesiątych XX wieku przez Carnegie Institute of Technology teoretycznych badań nad sposobami podejmowania decyzji w organizacjach oraz prac technicznych nad interaktywnym systemem komputerowym realizowanym przez Massachusetts Institute of Technology. Głębokie omówienie historii rozwoju systemów wspomaganie decyzji zostało zawarte między innymi w pracach [4, 9, 10, 12-14]. W pracy [4] przedstawiono między innymi podział SWD na systemy pasywne, aktywne i kooperacyjne. Z kolei w pracy [4] i [12] wyróżniono i scharakteryzowano:

- systemy transakcyjne (ang. *Transaction Processing Systems – TPS*),
- systemy informacyjne zarządzania (ang. *Management Information Systems – MIS*),
- systemy wspomaganie decyzji (ang. *Decision Support Systems – DSS*).

Podział SWD zawarł Power w pracy [7] oraz Zhengmeng i Haoxiang w [14], o czym piszą też autorzy w pracy [4]. Zaproponowali dwuwymiarowe podejście do typologii SWD. Wyróżnili sześć klas SWD, podzielonych ze względu na dominujący w systemie moduł:

- SWD zorientowany na dane (ang. *Data-Driven DSS*),
- SWD zorientowany na modele (ang. *Model-Driven DSS*),
- SWD zorientowany na wiedzę (ang. *Knowledge-Driven DSS*),
- SWD zorientowany na dokumenty (ang. *Document-Driven DSS*),
- SWD zorientowany na komunikację i pracę grupową (ang. *Communications-Driven DSS, Group Communications-driven DSS*),
- SWD bazujący na wykorzystaniu sieci internet (ang. *Web-based DSS*).

Autorzy w pracy [15] przeanalizowali systemy ekspertowe (ang. *Expert Systems*) oraz SWD zorientowane na wiedzę (ang. *Knowledge-Driven DSS*). W pracy [4] wykazano, że Arnott i Pervan w [16] zaproponowali klasyfikację SWD między innymi ze względu na liczbę użytkowników korzystających z systemu, czy jego przeznaczenie. Wyróżnili oni SWD [16]:

- osobiste (ang. *Personal DSS*),
- przeznaczone do pracy grupowej (ang. *Group DSS*),

oraz:

- przeznaczone do wsparcia procesu negocjacji (ang. *Negotiation Support System*),
- bazujące na wykorzystaniu sztucznej inteligencji (ang. *Intelligent DSS*),
- zorientowane na wiedzę (ang. *Knowledge Management-Based DSS*),
- jako bazy danych (ang. *Data Warehousing*),
- zorientowane na organizację/przedsiębiorstwo (ang. *Enterprise Reporting and Analysis Systems*).

Zastosowanie aplikacji SWD posiadają odpowiednio:

- produkcja i logistyka, np.: optymalizacja procesów produkcyjnych, optymalizacja procesów transportowych,
- prace geodezyjne,

- prace diagnostyczne infrastruktury kolejowej, a zwłaszcza dotyczące nawierzchni i podtorza kolejowego,
- prace budowlane,
- finanse, np.: analiza ryzyka rentowności inwestycji, zarządzanie kosztami,
- marketing, np.: analiza rynku, planowanie i analiza wyników sprzedaży,
- zarządzanie zasobami ludzkimi, np.: harmonogramy czasu pracy, analiza rotacji kadr.

O stanie współczesnej infrastruktury kolejowej decyduje informacja pozyskana na podstawie dobrych danych. Informację tę pozyskuje się na podstawie wiedzy i przetworzonych danych. Dane dobrej jakości o stanie infrastruktury kolejowej pozwalają podejmować decyzje, które umożliwiają zapewnić jej stan w eksploatacji bez ryzyka wypadków. Ustawa o transporcie kolejowym z dnia 28 marca 2003 r. [1] w załączniku nr 1 określiła wykaz elementów tej infrastruktury, pod warunkiem że tworzą część linii kolejowej, bocznicę kolejowej lub innej drogi kolejowej, lub są przeznaczone do zarządzania nimi, obsługi przewozu osób lub rzeczy lub ich utrzymania. Głównym elementem składowym infrastruktury kolejowej są tory kolejowe, w tym rozjazdy i skrzyżowania. Sancewicz w pracy [17] stwierdza, że jedną z zasad zarządzania jakością (zasada 7 – podejmowanie decyzji na podstawie faktów – normy serii ISO 9001:2000) „określa osiągnięcie celu poprzez obiektywną ocenę danych z pomiaru procesów i podejmowaniu decyzji na podstawie danych informacji, innymi słowy: Jakość decyzji jest funkcją jakości informacji będącej jej podstawą”. Zasada 7 zaleca koncentrować się na faktach, danych, wynikach pomiaru i innych metodach, które pozwalają podjąć prawidłowe decyzje. Podjęcie decyzji jest pierwszoplanowym elementem zarządzania. W chwili podejmowania decyzji, powinny być poddane analizie wszelkie dostępne, aktualne i zweryfikowane dane. W [18] stwierdzono, że „rzeczowe podejście do podejmowania decyzji wymaga:

- systematycznego zbierania informacji,
- przetwarzania uzyskanych danych za pomocą uznanych i wiarygodnych metod,
- przekazywania uzyskiwanych wyników właściwym adresatom,
- podejmowania przez zainteresowanych stosowanych decyzji”.

Bardzo często „ludzki” proces podejmowania decyzji jest wspierany przez informatyczne i informacyjne systemy. Systemy te pozwalają na szybkie przetworzenie danych, wśród nich wyróżniamy przede wszystkim:

- SWD – Systemy Wspomagania Decyzji (*ang. Decision Support System – DSS*),
- SE – Systemy Ekspertskie (*ang. Expert Systems – ES*),
- SSI – Systemy Sztucznej Inteligencji (*ang. Artificial Intelligence Systems – AIS*),
- i wiele innych.

Wykonawca prac geodezyjnych i prac diagnostycznych, który realizuje prace korzystając z systemów szybkiego przetwarzania danych musi jednak pamiętać

o prawidłowym ich pozyskaniu oraz należyтым sposobie gromadzenia i prezentowania danych dotyczących jakości stanu infrastruktury kolejowej. Ostateczna decyzja należy do człowieka. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1) [19], definiują eksperckie systemy komputerowe, jako programy komputerowe dopuszczone przez zarządcę infrastruktury do stosowania dla wspomagania procesów decyzyjnych.

W [17] i [20] określono, że systemy wspomagania decyzji:

- są interaktywne. Dialog z użytkownikiem jest prowadzony na podstawie pytań ukazujących się na monitorze ekranu,
- podają konkluzje na zasadzie „co – jeżeli” lub udzielają odpowiedzi pod kontrolą użytkownika,
- umożliwiają korzystanie z nich bez znajomości technologii informatycznej.

Informacje w postaci danych o stanie infrastruktury kolejowej stanowią podstawę podejmowania decyzji w zakresie jej utrzymania. Najbardziej rozpowszechnionymi systemami w infrastrukturze kolejowej są:

- UNIP – Ustalanie dopuszczalnych **N**acisków osi **I** maksymalnych **P**rędkości pociągów. Stanowi on system ekspercki, wspomagający proces decyzyjny dotyczący koniecznych ograniczeń prędkości pociągów i nacisków osi, które to wynikają ze złego stanu nawierzchni,
- JAKON – **JAK**ość wyk**ON**ywanych robót nawierzchniowych. System ten między innymi wspomaga ocenę jakości robót przy wymianie i naprawie rozjazdów. Służy do oceny jakości robót napraw głównych i bieżących o charakterze ciągłym w torach, robót przy wymianie oraz naprawach rozjazdów i skrzyżowań torów, ustalenia prędkości dla pierwszego pociągu po otwarciu toru. System JAKON jest powiązany z systemem SONIT – System **O**ceny **N**ierówności **T**oru,
- SOHRON – System **O**kreślania **H**ierarchii **RO**bót **N**awierzchniowych. System ten dotyczy geometryczno-kinetycznej oceny stanu toru kolejowego. O czym pisano też w [8],
- DIMO – **DI**agnostyka przed**MO**dernizacyjna. System ten między innymi pozwala dokonywać sprawdzenia dostosowania wartości parametru przechyłki do istniejących warunków eksploatacyjnych. Wspomaga projektowanie połączeń torów, krzywych przejściowych oraz poszerzeń międzytorzy,
- SOKON – System **O**ceny zdatności eksploatacyjnej **KON**strukcji nawierzchni kolejowej,
- DIRO-G – wynikami z aplikacji są między innymi wykresy wartości przyspieszenia działającego na pojazd kolejowy i jego przyrost, a także dyssypacji energii na rozpatrywanym odcinku. Algorytmy aplikacji jako kryterium interpretacji nierówności poziomych zawiera: kąt nabiegania kół na szyny oraz przyspieszenie boczne,

- ADIAN – zapewnia między innymi przeprowadzenie obliczeń gradientu szerokości, wichrowatości, różnicy strzałek sąsiednich, nierówności pionowych i mikropochylenia, wysokości i drugich różnic wysokości, przyśpieszeń i przyrostów przyśpieszeń. Obliczanie strzałek w różnych wariantach. Umożliwia prowadzenie analizy pozyskanych danych dotyczących pomiarów geometrycznych wymaganych do badań technicznych rozjazdów w zależności od rodzaju i typu rozjazdu w określonych punktach charakterystycznych, zapisywanych w Arkuszu Badań Technicznych Rozjazdów. Dodatkowo zapewnia obliczenia: różnic długości toków szynowych, przesunięć środka łuku, sił podłużnych w szynach,
- DP – Diagnostyka Podtorza. System do którego odnoszą się przepisy Warunków technicznych utrzymania podtorza kolejowego Id-3 [21],
- POŁĄCZENIA TORÓW – system aplikacyjny przeznaczony do analizy i oceny geometrii połączeń torów równoległych i nierównoległych. Typowymi połączeniami torów kolejowych z zastosowaniem rozjazdów zwyczajnych opracowywanymi przez system są połączenia torów równoległych: jednym rozjazdem zwyczajnym, dwoma rozjazdami zwyczajnymi o równych skosach, dwoma rozjazdami zwyczajnymi o różnych skosach, czterema rozjazdami zwyczajnymi (tzw. połączenie trapezowe). W torach nierównoległych przykładowymi połączeniami torów z zastosowaniem rozjazdów zwyczajnych są połączenia z: dwoma rozjazdami zwyczajnymi o równych skosach, dwoma rozjazdami zwyczajnymi o różnych skosach. System przedstawiono w pracy [22],
- TEC-1435 – system służący do analizy i oceny geometrii toru kolejowego. Obejmującego parametry: szerokości toru, gradientu szerokości toru, nierówności poziomych, przechyłki, wichrowatości, nierówności pionowych. Umożliwia wykonanie oceny stanu toru względnej i bezwzględnej, o czym pisano w [23],
- Geo-TEC – baza danych geometrii toru. Przetwarza informacje o stanie torów, pozyskane między innymi za pośrednictwem toromierzy elektronicznych – samorejestrujących. System obejmuje: bazy danych opisujące sieć kolejową oraz bazy danych z wynikami pomiarów geometrii toru. Baza danych z wynikami pomiarów geometrii torów umożliwia prowadzenie analizy i oceny stanu torów (w polskiej wersji językowej).

Ważną aplikacją jest również program NapLin. Program, który służy do obliczeń: zwisów, odległości i naprężeń przewodów napowietrznych linii elektroenergetycznych oraz regulacji zwisów przewodów w sekcji. Zwisy, odległości i naprężenia przewodów napowietrznych linii elektroenergetycznych dotyczą:

- niskich (nN), średnich (SN) i wysokich (WN) napięć,
- przęsła płaskich i pochyłych,
- pełzania i dodatkowego zwisu,
- regulacji zwisów przewodów w sekcji.

Program NapLin wspiera obliczanie zwisów, odległości i naprężeń przewodów napowietrznych linii elektroenergetycznych (nN, SN, WN) z zaawansowanym modelowaniem i wizualizacją przeszkód terenowych w szerokim zakresie temperatur. Umożliwia również prowadzenie analizy profilu linii – wykresu krzywej łańcuchowej.

Aktualnie wiele projektów budowlanych posiada opracowane modele BIM. Standardem technologii BIM (*ang. Building Information Modeling*, tłumacząc na język polski oznacza modelowanie informacji o budynku) jest format IFC (*ang. Industry Foundation Classes*). Standard ten umożliwia wykonanie projektów branżowych przy pomocy oprogramowania różnych firm, zaś wirtualny model budowli może posiadać wszystkie elementy konstrukcji, wyposażenia, instalacji. Aplikacją zapewniającą odczyt plików w formacie IFC, jest BIM Vision – będąca darmową przeglądarką IFC. Umożliwia ona przeglądanie modeli stworzonych między innymi w takich programach jak: Archicad, Revit, Tekla, DDS-CAD, Advance, Nemetshek Vectorworks, Bentley, Sketchup Pro itd. Wśród wielu funkcji programu, należy wyróżnić:

- podział ze względu na hierarchie IFC, typ elementu i warstwy/fazy,
- przeglądanie informacji przypisanych do poszczególnych elementów modelu IFC,
- szeroki zakres wizualizacji modeli – widok 3D, rzuty i elewacje w 2D, ustawianie stopnia przezroczystości modelu, kolorowanie elementów ze względu na typ, możliwość wykonania przekrojów w dowolnym miejscu, ukrywanie elementów, rozsuwanie modelu po piętrach,
- możliwość wymiarowania odległości, długości, pola powierzchni, objętości i ciężaru,
- porównywanie zmian w geometrii i właściwościach elementów dokonanych w kolejnych wersjach modelu,
- posiada interfejs do tworzenia wtyczek (interfejs programistyczny aplikacji, *ang. Application Programming Interface – API*).

Ważnym elementem usług transportowych o dobrej jakości jest szybka i rzetelna informacja. Posiadająca zasadnicze znaczenie dla nowoczesnych usług transportowych i dla wciągnięcia transportu kolejowego w usługi logistyczne.

3. Metody pomiaru geometrii torów i ich połączeń

Pomiary geometrii torów są prowadzone z zastosowaniem dwóch metod:

- pośredniej, z użyciem pojazdów pomiarowych,
- bezpośredniej, z użyciem przenośnych przyrządów pomiarowych, które obejmują również badania torów.

3.1. Metody pośrednie pomiaru geometrii toru

Stosowane w metodzie pomiarów pośrednich pojazdy pomiarowe stanowią pojazdy samojezdne, wyposażone w urządzenia umożliwiające pomiar podstawowych parametrów geometrii toru, automatyczną rejestrację i analizę wyników pomiaru. Uregulowanie to wynika z zapisów instrukcji o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14 (D-75) [25]. Pojazdem pomiarowym jest samojezdna drezyna

pomiarowa lub autobus diagnostyczny. Wyposażone w własny napęd i poruszające się po drogach kolejowych. Pojazdy te wyposażone są w przyrządy pomiarowe umożliwiające pomiar geometrii toru oraz innych elementów infrastruktury kolejowej o których jest mowa w załączniku nr 1 do ustawy o transporcie kolejowym [1]. Jednocześnie zapewniając automatyczną rejestrację i analizę danych. *Pojazdy pomiarowe obejmują jeszcze jedną grupę pojazdów, do których należą wagony pomiarowe. Wagony te jednak nie należą do pojazdów samojezdnych. Nie posiadają własnego napędu, są napędzane przez pojazd trakcyjny. Wówczas też poruszają się po torach i wyposażone są w przyrządy pomiarowe, które umożliwiają pomiar geometrii toru, a także innych elementów infrastruktury kolejowej o których jest mowa w załączniku nr 1 do ustawy o transporcie kolejowym [1].* Wagony pomiarowe również zapewniają automatyczną rejestrację i analizę pozyskanych danych. W metodzie tej należy wyodrębnić:

- pomiar pod obciążeniem dynamicznym,
- pomiar pod obciążeniem statycznym.

3.2. Metody bezpośrednie pomiaru geometrii toru

Pomiary bezpośrednie prowadzone są z zastosowaniem przenośnych przyrządów pomiarowych. Do których zakwalifikowane są przyrządy pomiarowe geodezyjne oraz diagnostyki transportu szynowego, np.: teodolity, niwelatory, tachymetry, strzałkomierze, toromierze uniwersalne, toromierze i profilomierze elektroniczne, falistomierze, profilomierze szynowe, wzorniki do pomiaru kąta zużycia główki szyny, specjalistyczne suwmiarki, przykładnica magnetyczno-pomiarowa itd. W metodzie tej należy wyodrębnić dwie grupy pomiarów:

- pomiar ciągły – wykonywanie prac pomiarowych, ich rejestracji, analizy i oceny. Pomiar ten dostarcza dane na bieżąco w sposób ciągły względem zadanego odcinka pomiarowego lub sektora pomiarowego, o zadanym kroku pomiaru. Krok pomiaru stanowi częstotliwość wykonywania pomiarów i ich zapis w określonym interwale odległości względem kilometrażu linii kolejowej. Odcinki pomiarowe i sektory pomiarowe autor zdefiniował w pracy [26],
- pomiar punktowy – wykonywanie prac pomiarowych, pozwalających na dokonanie zapisu pozyskanych danych w określonym czasie i miejscu pomiaru.

Pomiary połączeń geometrii torów realizowane są metodą bezpośrednią. Układ geometryczny połączeń torów posiada wpływ na parametry eksploatacyjne linii kolejowych, w tym na drogę rozjazdową będącą elementem składowym linii kolejowej. Bardzo ważnymi „punktami” podczas sprawdzania układu geometrycznego rozjazdów zwyczajnych (połączeń torowych) – drogi rozjazdowej, są „punkty”: matematyczne, początkowe i końcowe rozjazdów. Punkty te zostały uwzględnione w pomiarach z użyciem MMS i tachymetru TC407. O zasadach i problematyce geometrii połączeń torów pisano w [11, 22, 24, 27-29].

3.2.1. MMS w pomiarach połączeń torów

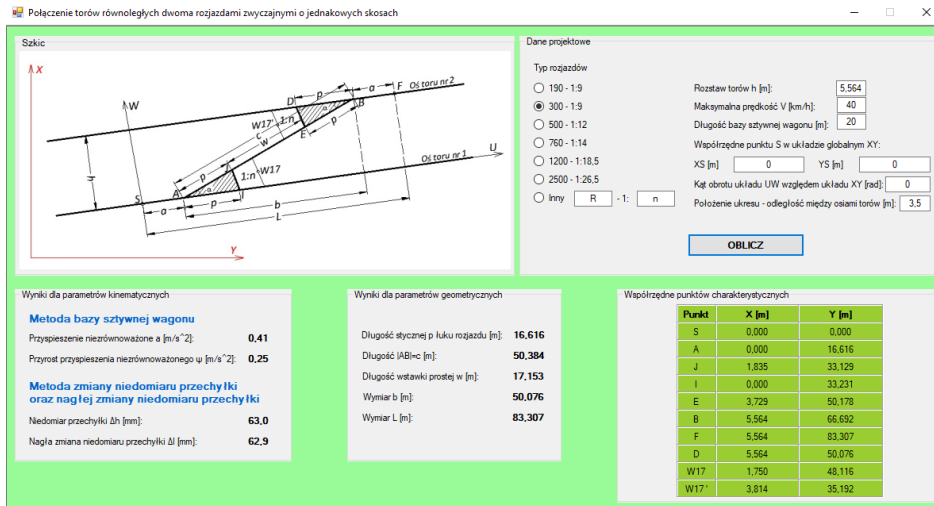
Pomiary kontrolne geometrycznego połączenia torów kolejowych nr 1 i 791, dotyczyły rozjazdów zwyczajnych nr 62 i 63. Rozjazd zwyczajny nr 62, zlokalizowany jest na 35,755 kilometrze linii kolejowej 131 Chorzów Batory – Tczew, zabudowanym w torze nr 1, zakwalifikowany jako tor główny zasadniczy czynny i eksploatowany na terenie województwa śląskiego, kategoria linii magistralna (0), znaczenia państwowego, linia objęta umową AGTC (*ang. european agreement on important international combined transport lines*, umowa europejska o ważnych międzynarodowych liniach transportu kombinowanego i obiektach towarzyszących). Rozjazd nr 62 jest typu S60 – 1:9 – 300, kierunku prawego. Charakteryzuje się zamknięciem Tempflex i krzyżownicą z dziobem kuto-zgrzewanym.

Rozjazd zwyczajny nr 63, zlokalizowany na 35,805 kilometrze linii kolejowej 127 Radzionków – Tarnowskie Góry TGB T3, zabudowany w torze nr 791, zakwalifikowany jako tor główny zasadniczy czynny i eksploatowany na terenie województwa śląskiego, kategoria linii drugorzędna (2). Rozjazd nr 63 jest typu S60 – 1:9 – 300, kierunku prawego. Charakteryzuje się zamknięciem suwakowym standardowym i krzyżownicą z dziobem kuto zgrzewanym.

W pomiarach sprawdzających zastosowano przykładnicę magnetyczno-pomiarową (*ang. magnetic-measuring square – MMS*) w trybie pracy z trzpieniem 2M, płytką krawędziową, minipryzmatem GMP111 (rys. 1.) [2], oraz tachymetr TC407 Leica nr 697413. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa w zależności od typu i celu pomiaru oraz zastosowanych metod i technik geodezyjnych umożliwia również prowadzenie pomiarów w innych trybach, o których pisano między innymi w [2] i [30].



Rysunek 1. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa w trybie z minipryzmatem GMP111
[opracowanie własne]



Rysunek 2. Analiza geometrii połączeń torów nr 1 i 791 w systemie aplikacyjnym POŁĄCZENIA TORÓW [opracowanie własne]

Pomiar układu geometrycznego połączeń torów 1 i 791, wykazał różnice w wartości istniejącego rozstawu torów (szerokości międzytorza/międzytorze). Analizę połączenia torów, na podstawie pozyskanych danych, przeprowadzono w systemie aplikacyjnym POŁĄCZENIA TORÓW (rys. 2). Deklarując między innymi:

- połączenie dwoma rozjazdami zwyczajnymi o jednakowych skosach,
- wartość średniego międzytorza obliczonego na podstawie danych z pomiaru stanu istniejącego tj: $h=5,564$ m,
- typ rozjazdów S60 – 1:9 – 300,
- maksymalna prędkość $V=40$ km/h, określona na podstawie [19],
- długość bazy sztywnej wagonu 20 m, o czym pisano w pracy [22],
- położenie ukresu W17 tj. odległość między osiami torów 3,5 m.

Pomiar geometrii połączeń torów wykazał odległość $c_i=50,930$ m pomiędzy punktami matematycznymi rozjazdu 62 i 63. Wartość ta jest rozbieżna w stosunku do wykazanej przez system aplikacyjny. Powinna ona wynosić $c=50,384$ m (rys. 2). Zalecane jest dokonanie regulacji osi geometrycznych połączenia torowego. Istniejąca długość wstawki międzyrozjazdowej wynosi $w_i=17,630$ m, powinna wynosić $w=17,153$ m. Natomiast wartość liniowa $b_i=50,630$ m w terenie, która powinna wynosić $b=50,076$ m.

3.2.2. MMS z sygnałem referencyjnym do skanerów

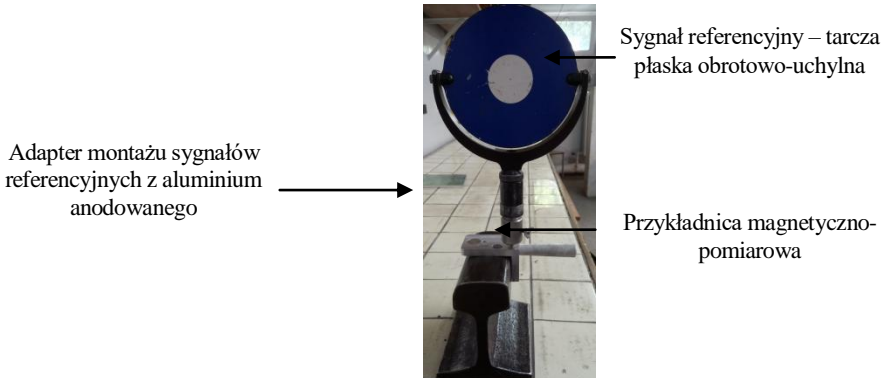
Rozporządzenie [31] definiuje skanowanie laserowe jako „metodę obrazowania powierzchni terenu, polegającą na pomiarze odległości między obiektem objętym pomiarem a urządzeniem (skanerem), zainstalowanym na statku powietrznym, na samochodzie lub na stanowisku stacjonarnym, emitującym i odbierającym impulsy laserowe odbite od tego obiektu, z jednoczesnym wyznaczaniem współrzędnych

przestrzennych (X, Y, Z), określających położenie tego urządzenia w przestrzeni, oraz kierunku promienia laserowego w momencie wysłania impulsu”. Ze względu na umiejscowienie skanera laserowego w przestrzeni geograficznej i dobór odpowiedniej technologii pomiarów, skaning laserowy dzieli się na trzy zasadnicze grupy [32]:

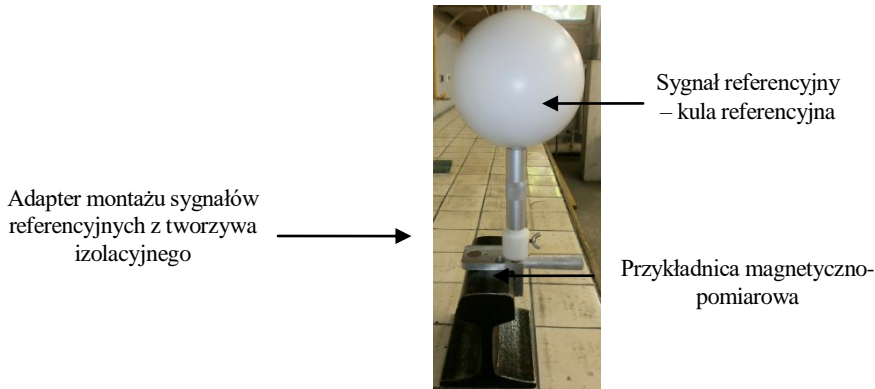
- lotniczy skaning laserowy ALS (*ang. Airborne Laser Scanning*),
- satelitarny skaning laserowy SLS (*ang. Satellite Laser Scanning*),
- naziemny skaning laserowy TLS (*ang. Terrestrial Laser Scanning*).

Rozpowszechnionym skanowaniem jest naziemny skaning laserowy. W wyniku skanowania uzyskuje się chmurę punktów (*ang. point cloud*), która jest zbiorem punktów posiadających współrzędne XYZ oraz parametr intensywności odbicia (rys. 6).

Przykładnica magnetyczno-pomiarowa jest kompatybilna z adapterem do montażu sygnałów referencyjnych do skanerów [3]. Sygnał referencyjny montowany jest za pośrednictwem adaptera do montażu sygnałów referencyjnych na przykładnicy MMS, a ta na główce szyny typu kolejowego. Oś pionowa sygnału referencyjnego pokrywa się z wewnętrzną krawędzią główki szyny lub zewnętrzną, wyznaczoną przez powierzchnie główki szyn (rys. 3 i 4). Adapter do montażu sygnałów referencyjnych do skanerów zapewnia też montaż sygnałów bezpośrednio na znakach Kolejowej Osnowy Specjalnej (KOS). W zależności od zastosowania w pomiarach, jest odpowiednio wykonany z tworzywa izolacyjnego lub aluminium anodowanego. W związku z tym, że jest wykonany z tworzywa izolacyjnego może być montowany na znakach KOS linii zelektryfikowanych. O czym pisano w [3].



Rysunek 3. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa w trybie z adapterem montażu sygnałów referencyjnych – tarcza płaska obrotowo-uchylna. Adapter wykonany z aluminium anodowanego [opracowanie własne]



Rysunek 4. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa w trybie z adapterem montażu sygnałów referencyjnych – kuli referencyjnej. Adapter wykonany z tworzywa izolacyjnego [opracowanie własne]

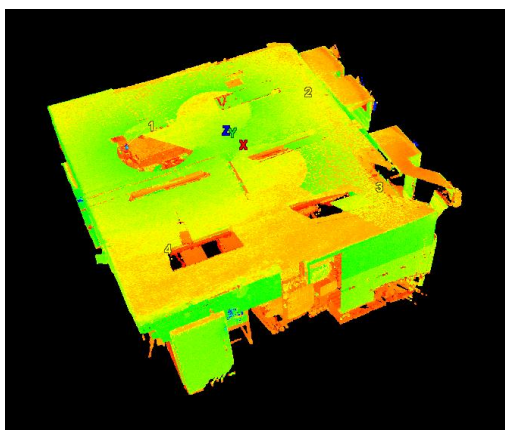
Pomiary objęły wnętrze pomieszczenia laboratoryjnego (sala laboratoryjna), w którym jeden sygnał referencyjny (tarcza płaska obrotowo-uchylna) został w celach testowych zamontowany za pośrednictwem adaptera do montażu sygnałów referencyjnych na przykładnicy MMS, a ta zamontowana na głowce szyny typu kolejowego (rys. 3). Pozostałe sygnały referencyjne zostały zabudowane z wykorzystaniem dotychczasowych rozwiązań technicznych. Pomiary zostały wykonane z zastosowaniem naziemnego skanera laserowego Leica ScanStation C10 (rys. 5).



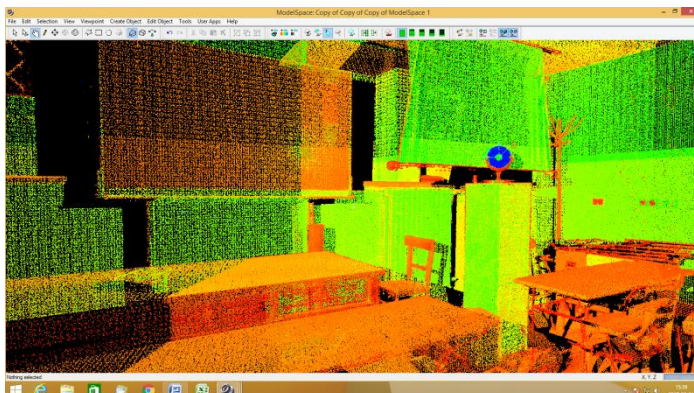
Rysunek 5. Skaner laserowy Leica ScanStation C10 [opracowanie własne]

Pozyskane dane skanerem laserowym zostały połączone i zorientowane w jednolity układ współrzędnych, wykorzystując płaskie tarcze. Opracowanie zostało wykonane w oprogramowaniu Cyclone 9.0 Version 9.0.2 64-bit. Copyright 2014 Leica Geosystems, AG. Ważnym elementem podczas łączenia skanów, jest prowadzenie analizy i oceny wartości błędów. Błąd ten nie przekraczał wartości 0,001 m. Zadawalające wyniki pomiarów testowych z użyciem MMS z adapterem sygnałów referencyjnych, w kolejnym kroku zalecają wykorzystanie tego trybu pracy w warunkach terenowych. Naziemne skanery 3D pozyskują miliony punktów, wykonujących rejestrację współrzędnych X, Y, Z. Produktem TLS są między innymi:

- chmura punktów (rys. 6),
- ortoskany,
- rysunki i plany,
- trójwymiarowe modele.



Rysunek 6a. Chmura punktów – model 3D pomieszczenia laboratoryjnego [opracowanie własne]



Rysunek 6b. Chmura punktów – wnętrze pomieszczenia laboratoryjnego [opracowanie własne]

Chmurę punktów można wygenerować do pliku tekstowego, który będzie posiadał współrzędne oraz intensywność odbicia promieniowania laserowego. Nowoczesne geodezyjne metody pomiarowe umożliwiają pozyskać bardzo duże ilości danych, ważnym jest jednak zwrócenie uwagi na ich jakość oraz cel któremu mają służyć.

4. Podsumowanie

Artykuł przedstawia systemy wspomaganie procesów decyzyjnych w infrastrukturze kolejowej. Usystematyzowano oraz opisano SWD infrastruktury kolejowej. Systemy te uzależnione są od jakości pozyskanych danych, od rodzaju zastosowanych przyrządów pomiarowych, metod i technik geodezyjnych oraz umiejętności pracowników techniczno-inżynierskich. W artykule zwrócono uwagę na korzyści z zastosowania systemów wspomaganie procesów decyzyjnych, które stanowią rozwiązania, jako potrzeby współczesnego pracownika techniczno-inżynierskiego, bazując między innymi na systemie POŁĄCZENIA TORÓW. Autorskie rozwiązania przyrządów pomiarowych:

- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej w trybie z trzpieniem 2M, płytką krawędziową, minipryzmatem GMP111,
- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej w trybie z adapterem do montażu sygnałów referencyjnych do skanerów,

wpisują się w tematykę prac geodezyjnych oraz prac diagnostycznych w infrastrukturze kolejowej. Zwiększając jakość wykonywanych prac oraz jakość pozyskiwanych danych z zachowaniem zasad bezpieczeństwa oraz obowiązujących procedur pomiarowych.

Badania wykazały też, że aktualnie na rynku branżowym występuje brak systemu wsparcia decyzyjnego umożliwiającego prowadzenie analizy i oceny warunków geometrycznych przejazdów kolejowo-drogowych. Zalecane jest opracowanie systemu, który ułatwiałby w tym zakresie wspomaganie procesu decyzyjnego, zarówno dla zarządców linii kolejowych, zarządców dróg oraz organów zarządzających ruchem na drogach.

Literatura

1. Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (Dz. U. 2003 nr 86 poz. 789).
2. Kampczyk A. *Przykładnica magnetyczno-pomiarowa i jej zastosowanie*. Zgłoszenie patentowe: P. 420214.
3. Kampczyk A. *Adapter do montażu sygnałów referencyjnych do skanerów*. Zgłoszenie wzoru użytkowego: W. 124841.
4. Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S. *Zagadnienie utrzymania środków transportu-system wsparcia decyzyjnego*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport., 87 (2012), s. 37-54.
5. Ariav G., Ginzberg M. J. *DS design: a systemic view of decision suport*, Communications of the ACM., Vol. 28, No. 10, 1985, s. 1045-1052.
6. Lamy J-B., Ellini A., Nobecourt J., Venot A., Zucker J-D. *Testing Methods for Decision Support Systems*, Decision Support Systems, Jao Ch. S. (ed.), InTech, 2010.
7. Power D. J. *A Brief History of Decision Support Systems*, DSSResources.COM,

8. [www: http://dssresources.com/history/dsshhistory.html](http://dssresources.com/history/dsshhistory.html), version 4.1 or see version 2.8 (09.07.2017 r.)
9. Kampczyk A., Malach K. *Koincydencja nierówności toru kolejowego. (Coincidence railway track irregularities)*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej – seria Budownictwo., 22/172 (2016) s. 104-116.
10. Eom S. B. *Decision Support Systems*, International Encyclopedia of Business and Management. 2nd Edition, Warner M. (ed.), International Thomson Business Publishing Co., London, 2001.
11. Grobarek I., Grzywański Ł., Mączka I., Tomalik D., Twórz K. *Niezawodność Systemów Wspomagania Decyzji*. Wrocław 2007.
12. <http://www.ioz.pwr.wroc.pl/Pracownicy/mercik/zbiory/Prezentacje%202007/z3-opracowanie.pdf> (09.07.2017 r.)
13. Kampczyk A. *Pomiary szerokości, przechyłki oraz innych parametrów w rozjazdach kolejowych. (Measurements of width, cant, and other parameters of railway turnouts)*, Przegląd Geodezyjny., 6 (2014), s. 14-21.
14. Moore J., H., Chang M. G. *Design of Decision Support Systems*. ACM SIGMIS Database – Selected papers on decision support systems from the 13th Hawaii International Conference on System Sciences, Vol. 12, Issue 1-2, ACM New York, NY, USA Fall 1980.
15. Power D. J. *Understanding Data-Driven Decision Support Systems*. Information Systems Management, Vol. 25, Issue 2, 2008, s. 149-154.
16. Zhengmeng Ch., Haoxiang J.. *A Brief Review on Decision Support Systems and It's Applications*. Proceedings of International Symposium on IT in Medicine and Education (ITME) 2011, 9-11. December 2011, vol. 2, s. 401-405.
17. Despres S., Rosenthal-Sabroux C. *Designing Decision Support Systems and Expert Systems with a better end-use involvement: A promising approach*. European Journal of Operational Research, 61, 1992, s. 145-153.
18. Arnott D., Pervan G. *Eight key issues for the decision support systems discipline*. Decision Support Systems, 44, 2008, s. 657-672.
19. Sancewicz S. *Nawierzchnia kolejowa*, Warszawa, 2010. Wydawca: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Opracowanie: Kolejowa Oficyna Wydawnicza.
20. <https://centrum.jakosci.pl/podstawy-jakosci,8-zasad-zarzadzania.html> (24.06.2017 r.).
21. Id-1 (D-1) *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych*, PKP PLK S.A., Warszawa, 2005 r. (z późn. zm.).
22. Bałuch H. *Wspomaganie decyzji w drogach kolejowych*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, 1994.
23. Id-3 *Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego*, PKP PLK S.A., Warszawa, 2009 r.
24. Kampczyk A., Skoczyła E. *Geometryczne układy połączeń torów kolejowych z zastosowaniem rozjazdów zwyczajnych. (Geometrical layouts of railroad switches applying single turnouts)*, Przegląd Komunikacyjny: miesięcznik naukowo-techniczny Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, 4 (2017), s. 13-19.
25. Kampczyk A. *Bewertung des Gleisgeometriezustands in Polen. (Assessment of the state of the track geometry in Poland)*, Eisenbahn Ingenieur Kompendium, (2017), s. 88-105.
26. Kampczyk A. *Punkty charakterystyczne rozjazdów i skrzyżowań kolejowych. (Characteristic points of switches and train intersections)*, TTS. Technika Transportu Szybowego., 10 (2013), s. 33-40.
27. Id-14 (D-75) *Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów*, PKP PLK S.A., Warszawa, 2005 r. (z późn. zmianami).

28. Kampczyk A. *System geodezyjnego i diagnostycznego monitorowania stanu infrastruktury transportu szynowego. (A system for geodetic and diagnostic monitoring of state of rail transport infrastructure)*, Rozprawa doktorska, promotor E. Preweda, AGH, recenzenci K. Pyka, M. Sitarz. Kraków 2012.
29. Kampczyk A. *Geodezyjno - analityczne opracowanie projektów połączeń torowych, Cz. 1. (Geodetic-and-analytical design of track connections, Pt. 1)*, Przegląd Geodezyjny, (4) 2010, s. 3-8.
30. Kampczyk A. *Geodezyjno-analityczne opracowanie projektów połączeń torowych, Cz. 2. (Geodetic-and-analytical design of track connections, Pt. 2)*, Przegląd Geodezyjny, (5) 2010, s. 10-14.
31. Kampczyk A. *Układ geometryczny drogi rozjazdowej w aspekcie realizacji inwestycji, Cz. 1. (Geometry of route in terms of the investment, Pt. 1)*, Infrastruktura Transportu, (6) (2014), s. 20-22.
32. Kampczyk A. *Pomiar strzałek montażowych toru zwrotnego w rozjeździe. (Measurement versines assembly diverted track in the single turnout)*, Przegląd Geodezyjny, (5) 2017, s. 4-9.
33. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. 2011 nr 263 poz. 1572).
34. Kampczyk A., Strach M. *Technika – laserowe skanowanie tunelu kolejowego. (Technique – terrestrial laser scanning for railway tunnel measurements)*. [Dokument elektroniczny]. Wersja do Windows. Dane tekstowe. [S.l. : Kolejowa Oficyna Wydawnicza], [cop. 2008-2010]. Ekran [1–5]. Tryb dostępu: <http://www.kow.com.pl/pelna-tresc/technika-laserowe-skanowanie-tunelu-kolejowego-744/> (2010-07-28).

Systemy wspomaganie procesów decyzyjnych w infrastrukturze kolejowej

Streszczenie

Informacje o stanie infrastruktury kolejowej stanowią podstawę podejmowania decyzji w zakresie jej utrzymania. Informacje te dostarczane są jako dane na podstawie przeprowadzonych prac geodezyjnych, diagnostycznych i prac kartograficznych. Wyniki tych prac, jako dane decydujące o jakości wniosków podawanych przez systemy wspomaganie decyzji, są wykonywane przez pracowników techniczno-inżynierskich. Systemy wspomaganie procesów decyzyjnych są uzależnione od jakości pozyskanych danych bezpośrednio lub pośrednio z terenu. Na ich jakość ma wpływ rodzaj zastosowanych przyrządów pomiarowych, dobór metod i technik pomiarowych, umiejętność pracowników techniczno-inżynierskich. W pracy zwrócono uwagę na korzyści z zastosowania systemów wspomaganie procesów decyzyjnych, stanowiących rozwiązania, jako odpowiedzi na potrzeby współczesnego pracownika techniczno-inżynierskiego. Zawarto autorskie pomiary i rozwiązania przyrządów pomiarowych:

- przykładowy magnetyczno-pomiarowej (*ang. magnetic-measuring square, MMS*) w trybie z trzpieniem 2M, płytką krawędziową, minipryzmatem GMP111,
- przykładowy magnetyczno-pomiarowej w trybie z adapterem do montażu sygnałów referencyjnych do skanerów,

wpisujących się w tematykę prac geodezyjnych oraz prac diagnostycznych w infrastrukturze kolejowej. Rozwiązania te stanowią znaczącą poprawę jakości prac i pozyskiwania danych o jej stanie. Tym samym zapewniając wprowadzenie do systemów wspomaganie procesów decyzyjnych danych o dobrej jakości. W artykule przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

Słowa kluczowe: infrastruktura kolejowa, przykładowa magnetyczno-pomiarowa, MMS, System Wspomaganie Decyzji, adapter sygnałów referencyjnych

Decision Support Systems in the railway infrastructure

Abstract

The information on the condition of railway infrastructure constitute the basis for maintenance-related decision making. These information are supplied as data based on the conducted geodetic, diagnostic and cartographic works. The data resulting from these works, being decisive for the quality of conclusions delivered by decision support systems, are implemented by technical and engineering personnel. Decision support systems are dependent on the quality of data obtained directly or indirectly from the field. Their quality depends on the type of applied measuring instruments, selection of measurement methods and techniques, and the abilities of the technical and engineering personnel. This paper points out the benefits of applying decision support systems that respond to the needs of the contemporary technical and engineering worker. The work includes proprietary measurements and solutions for measuring equipment:

- magnetic-measuring square with 2M mandrel, edge plate, GMP111 mini-prism,
- magnetic-measuring square in adapter mode for installing reference signals for scanners,

falling under the subject of geodetic and diagnostic works in the railway infrastructure. These solutions constitute a significant improvement of the quality of works and the obtained data on its condition, ensuring that high-quality data are provided to decision support systems. The article contains your own observations and conclusions. The article was prepared as part of the AGH statutory research no. 11.11.150.005.

Keywords: railway infrastructure, magnetic-measuring square, MMS, Decision Support Systems, Reference spheres and targets adapter (Target plates adapter, Reference spheres adapter)

Nowoczesny i bezpieczny transport kolejowy wyzwaniem XXI wieku

1. Wstęp

Powstanie kolei w latach 30-tych XX wieku było wielkim przełomem w życiu gospodarczym i społecznym większości krajów na całym świecie. Pojawiła się nieznana do tej pory możliwość masowych przewozów osób i towarów, ze stosunkowo dużą prędkością, przy niewielkich kosztach. Ułatwienie w ten sposób zaopatrywania ludności w żywność i inne produkty niezbędne do życia zaowocowało rozwojem miast. Powstawały duże ośrodki miejskie, a następnie wielkie aglomeracje. Szybka kolejowa komunikacja międzynarodowa przyczyniała się do upowszechniania postępu technicznego, nauki i sztuki na całym świecie, do wymiany informacji i poglądów.

Powstanie kolei było także wyzwaniem dla polityki. Do tej pory nie istniała zinstytucjonalizowana polityka transportowa, gdyż nie było takiej potrzeby. Teraz niezbędne stało się stworzenie odpowiednich ram funkcjonowania nowej gałęzi transportu – kolei.

Aż do lat 50-tych XX wieku kolej była dominującym środkiem transportu we wszystkich krajach, które kolej posiadały. Od samego początku funkcjonowania Wspólnoty Europejskiej zajmowała ważne miejsce we wspólnej polityce transportowej. Intensywny rozwój motoryzacji powodował jednak ciągły wzrost przewozów transportem samochodowym na olbrzymią skalę. Transport samochodowy wykazywał się większą elastycznością i niższymi kosztami niż kolej, dlatego państwa zaczęły ukierunkowywać swoją politykę na jego rozwój. W II połowie XX wieku kolej zaczęła systematycznie tracić przodującą dotychczas pozycję i znaczenie w całej Europie, zarówno w przewozach pasażerów, jak i towarów i nie zdołała jej odzyskać do dzisiaj mimo wielu wysiłków wszystkich państw Unii Europejskiej.

W ostatnich latach ogromnego znaczenia nabrało bezpieczeństwo transportu kolejowego. Kolej była zawsze jedną z najbezpieczniejszych gałęzi transportu, a od kilku lat prowadzone są intensywne działania we wszystkich obszarach: technicznym, prawnym, organizacyjnym służące ciągłej poprawie jej bezpieczeństwa.

Bezpieczeństwo systemu kolejowego jest stale rozwijane i doskonalone przez wszystkie podmioty funkcjonujące na rynku kolejowym. Pojawiło się również podejście oparte na zarządzaniu ryzykiem, które ma gwarantować stałą kontrolę nad bezpieczeństwem systemu kolejowego.

¹ mgarlikowska@ikolej.pl, Instytut Kolejnictwa, www.ikolej.pl

2. Powstanie kolei i jej znaczenie dla świata

Kolej zaliczana jest do tych wynalazków ludzkości, które zajmują czołowe miejsce pod względem wpływu na współczesny obraz świata. Transport istniał od zawsze i od zawsze był ważną dziedziną życia społecznego, gospodarczego i kulturalnego. Odkąd istnieje społeczeństwo istnieją także potrzeby związane z przemieszczaniem się osób i towarów.

Historia transportu kolejowego rozpoczyna się w I połowie XIX wieku wraz z powstaniem procesu mechanizacji transportu. Proces ten stał się możliwy dzięki wynalezieniu silnika parowego, a następnie spalinowego. Szybko dostrzeżono strategiczne znaczenie pociągów, za sprawą których w codziennym życiu ludzi zaszły rewolucyjne zmiany. Intensywny rozwój kolejnictwa prowadził do kolejnych wynalazków w tej dziedzinie. Dotyczyło to linii kolejowych, materiałów i konstrukcji stosowanych do nawierzchni kolejowej, lokomotyw, wagonów i wszelkich urządzeń stanowiących infrastrukturę kolejową.

Budowa linii kolejowych najszybciej postępowała w Anglii. Tutaj też otwarto pierwszą na świecie regularną linię kolejową łączącą Stockton i Darlington. Było to w 1825 roku. Niedługo potem, w 1830 roku, otwarta została druga angielska linia – z Liverpool do Manchester. Otwarcie drugiej linii miało też swoich krytyków, zrodziły się bowiem obawy przed konkurencją ekonomiczną i utratą pracy w innych gałęziach transportu, m.in. w żegludze śródlądowej czy wśród woźniców.

Po sukcesie kolei w Anglii szybko zaczęto budować linie w innych krajach europejskich, a także w Ameryce. Teraz każdy, kto miał pieniądze na bilet mógł w sposób komfortowy i w stosunkowo krótkim czasie dotrzeć do miejsca przeznaczenia. Ułatwiony był również przewóz towarów na skalę masową. To wszystko przyspieszyło rozwój miast, regionów, zakładów. W latach 1850-1920 kolej była najbardziej popularnym środkiem transportu lądowego. Okres ten jest nazywany nawet złotym wiekiem kolei.

Od końca XIX wieku następują próby wprowadzenia trakcji elektrycznej. Stopniowo wypiera ona parowóz, a zwłaszcza w tych krajach, które źródła energii elektrycznej opierały na węglu kamiennym lub brunatnym. Intensywny rozwój przemysłu elektrotechnicznego przyczyniał się do możliwości produkowania niezbędnego dla kolei sprzętu i zapewnienia energii elektrycznej, to zaś przyspieszyło postęp w elektryfikacji kolei. Przełom nastąpił w latach 20-tych XX wieku, kiedy to parowóz zaczął przegrywać z elektrowozem pod względem sprawności i wydolności² [1].

Po II wojnie światowej trakcja parowa została całkowicie wyparta przez trakcję elektryczną i spalinową. Ich zastosowanie wpłynęło na bardziej korzystny stosunek osiągniętych kosztów eksploatacji oraz umożliwiło rozwijanie coraz większych

²Trakcja spalinowa w Europie i na świecie zaczęła nabierać znaczenia od 1924 roku. Na Polskich Liniach Kolejowych wprowadzana była w latach 1930-1939.

prędkości. Oznaczało to także zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza oraz zminimalizowanie ryzyka zaprószenia ognia podczas jazdy [2].

I wojna światowa przerwała rozwój kolei w Europie. Transport kolejowy służył przede wszystkim do przewozu oddziałów wojskowych na front, surowców przemysłowych i żywności oraz wszelkiego rodzaju sprzętu niezbędnego podczas wojny.

Okres 20-lecia międzywojennego to rozwój elektryfikacji, odbudowa powojennych zniszczeń oraz budowa nowych obiektów – mostów kolejowych, stacji i dworców. To także pierwsze próby ujednoczenia urządzeń sterowania ruchem. Stopniowo zwiększała się prędkość, a stolice państw europejskich zyskały połączenia kolejowe między sobą.

Kolejna wojna spowodowała ogromne straty w transporcie kolejowym i jeszcze wiele lat po jej zakończeniu trwało usuwanie skutków zniszczeń – torów, taboru, infrastruktury.

Po odbudowie kolei z pożogi wojennej przyszedł czas na podnoszenie jakości usług przewozowych. Naczelną ideą polityki transportowej w rodzącej się zjednoczonej Europie staje się jednolity europejski system kolejowy oraz pociągi dużych prędkości.

3. Polityka kolejowa w Europie – cele, stan sektora kolejowego, działania na poziomie europejskim

3.1. Cele

O polityce europejskiej w zakresie transportu kolejowego możemy mówić dopiero od 1957 r., czyli od podpisania Traktatu Rzymskiego ustanawiającego Wspólnotę Europejską. Od tego momentu wszelkie decyzje i działania dotyczące kolejnictwa na terytorium Europy były realizowane na poziomie WE³. Podstawowym celem prowadzenia wspólnej polityki transportowej było ustanowienie i rozwój sieci transeuropejskich w dziedzinie infrastruktury transportu, telekomunikacji i energetyki. Wolne i konkurencyjne rynki miały być wspierane w zakresie wzajemnych połączeń, współpracy sieci krajowych i ich dostępności. Szczególny nacisk położono na wyspy, regiony zamknięte i peryferyjne oraz na połączenie ich z centralnymi ośrodkami WE. W traktacie pojawił się również cel, który do dzisiaj stanowi jeden z priorytetów polityki transportu kolejowego UE – interoperacyjność kolei.

Intensywna odbudowa transportu kolejowego w Europie powojennej spowodowała, że w niedługim czasie uzyskał on zdolność przewozową odpowiadającą potrzebom wewnętrznym krajów i wynikającą ze zobowiązań tranzytowych. Niestety już wkrótce kolej dotkliwie odczuła przewagę dynamicznie rozwijającego się transportu samochodowego, który stał się poważnym utrudnieniem w osiągnięciu celów związanych z transportem kolejowym. Od lat 50. XX w. gałąź ta była mocno wspierana przez rządy państw, czego efektem było zyskiwanie coraz większej roli i udziału w przewozach. Standard dróg kołowych poprawiał się z roku na rok,

³Zanim jednak do tego doszło kolej funkcjonowała już ponad sto lat i w tym okresie również realizowała pewne cele. Więcej na ten temat można przeczytać w: [3].

budowano obwodnice miast. Jednocześnie coraz częściej malały nakłady na transport kolejowy. Przykładowo w Polsce w latach 1950-55 zamiast projektowanych 704 km nowych linii kolejowych wybudowano tylko 282 km [4]. W wielu krajach, zwłaszcza Europy Wschodniej nastąpiły opóźnienia w elektryfikacji kolei, systemy zabezpieczania ruchu były przestarzałe. Lepiej sytuacja przedstawiała się w państwach Europy Zachodniej i Japonii, gdzie kolej miała lepsze warunki konkurencji z transportem samochodowym i gdzie udało się na jakiś czas zahamować spadek udziału kolei w przewozach. Rozwijały się szybkie połączenia międzymiastowe, tabor był coraz bardziej luksusowy. Natomiast w USA kolej przegrała zdecydowanie, przewozy pasażerskie na długich dystansach zmalały do 3% osiągniętego wcześniej poziomu [3].

Polityka WE w zakresie transportu miała się skoncentrować na trzech głównych celach:

- eliminacja barier uniemożliwiających stworzenie jednolitego wspólnego rynku transportowego,
- swobodny przepływ usług transportowych na obszarze WE,
- wspólna organizacja transportu.

Chodziło o utworzenie takiego systemu transportowego na terenie Wspólnoty, w którym będzie panowała wolna i uczciwa konkurencja oraz nastąpi optymalny podział zadań przewozowych. Konkurencja miała być wolna, ale też podlegać kontroli, wszyscy użytkownicy będą mieć wolny wybór co do środka transportu, władze będą równo traktować gałęzie transportu i przewoźników, dyskryminacja miała być wykluczona. Przedsiębiorstwa transportowe powinny być niezależne finansowo i handlowo. Koordynowane będą wszelkie inwestycje w zakresie infrastruktury [5].

Brak jednomyślności państw członkowskich odnośnie tworzenia jednolitego zharmonizowanego rynku transportowego spowodował, że realizacja zamierzeń w drugiej połowie XX w. przebiegała bardzo wolno. Podstawową przyczyną stagnacji w realizacji celów tego okresu były różne, a często sprzeczne, interesy poszczególnych państw. W niektórych krajach rozwój kolei był faworyzowany, a niektóre popierały liberalizację rynku transportowego w celu zwiększenia roli transportu samochodowego. Niewystarczająca była również współpraca między poszczególnymi krajami. Na szczeblu unijnym brakowało koordynacji działań. Sytuacja w transporcie kolejowym stale się pogarszała, co od początku lat 80. ubiegłego stulecia zaowocowało negatywnym z punktu widzenia pasażerów procesem zamykania odcinków o najmniejszym natężeniu ruchu⁴. Zwiększyło się natomiast tempo elektryfikacji.

W końcu lat 80. XX w. pojawiła się koncepcja zrównoważonego rozwoju, zdefiniowana jako zaspokajanie bieżących potrzeb człowieka w taki sposób, by nie zmniejszać szans przyszłych pokoleń na zaspokajanie ich potrzeb. Opierała się ona na takich postulatach, jak: ochrona środowiska, racjonalne gospodarowanie zasobami

⁴ W Polsce ucierpiały zwłaszcza koleje wąskotorowe.

naturalnymi, wzrost gospodarczy, rozwój społeczny. Od tej pory rozwój i funkcjonowanie transportu kolejowego miały się odbywać zgodnie z tą koncepcją, a UE miała nad tym czuwać.

Jednak mimo podejmowania szeregu działań wspieranych przez mnogość wydawanych aktów prawnych kolej systematycznie traciła swoją pozycję na rzecz transportu samochodowego. Wprawdzie przewozy ładunków i pasażerów wzrastały, jednak udział kolei w rynku przewozów ciągle malał.

Nie wszystkie cele polityki transportu kolejowego udało się zrealizować. Przykładem może być interoperacyjność – przedsięwzięcie niezwykle trudne pod względem technicznym, organizacyjnym i prawnym, a także kosztowne i czasochłonne, które do tej pory nie zostało w pełni osiągnięte. Zapewnienie zgodności infrastruktury i taboru (m.in. jednolita szerokość torów czy uznawanie taboru z jednego kraju w innych krajach) wszystkich państw członkowskich jest już w stadium bardzo zaawansowanym.

Pewna grupa celów będzie stale aktualna w polityce transportu kolejowego. Można do nich zaliczyć: identyfikowanie i eliminowanie barier w funkcjonowaniu wspólnego rynku transportowego, bezpieczeństwo i ochrona środowiska wymagające coraz to nowych regulacji, unowocześnianie taboru i infrastruktury kolejowej czy poprawa jakości usług. Na razie najtrudniejszym zadaniem jest osiągnięcie równowagi międzygałęziowej i odwrócenie tendencji wzrostowej udziału transportu samochodowego w rynku przewozów towarowych i pasażerskich na rzecz transportu kolejowego.

Zamierzeniem wprowadzenia jednolitego wspólnego rynku kolejowego była integracja transportu kolejowego wszystkich krajów członkowskich w jeden europejski system kolejowy. Niezbędna jest do tego harmonizacja standardów bezpieczeństwa – norm, specyfikacji technicznych, certyfikacji, procedur i schematów postępowania w określonych sytuacjach. Ten cel również został w większej mierze osiągnięty. Przełożyło się to z kolei na polepszanie jakości usług poprzez zwiększenie punktualności, odpowiedzialności i sprawności działania. Ma to spowodować wzrost wiarygodności transportu kolejowego w oczach użytkowników.

Proces rozwoju kolei trwa do dzisiaj. Wraz z tym procesem ewoluują cele polityki kolejowej. Dotychczas założone cele w najbliższych latach zostaną być może w pełni osiągnięte, ale wówczas na ich miejsce pojawią się nowe. Postęp techniczny i technologiczny dokonujący się na świecie stale będzie wymuszał unowocześnianie infrastruktury, taboru i innych urządzeń kolejowych. Priorytetem będzie też zawsze bezpieczeństwo ludzi i ochrona środowiska naturalnego i na udoskonalaniu regulacji w tych obszarach będzie się koncentrowała polityka UE w dziedzinie transportu kolejowego.

3.2. Stan sektora kolejowego

Jak już wcześniej wspomniano od początku istnienia aż do lat 50. XX w., czyli do momentu intensywnego rozwoju motoryzacji, kolej była dominującym środkiem transportu we wszystkich krajach europejskich, a także na innych kontynentach.

W krajach socjalistycznych kolej utrzymała swoją wysoką pozycję, ponieważ konkurencja międzygałęziowa w transporcie praktycznie nie istniała. Określone kierunki i wielkości przewozów były przydzielane planowo. Mała liczba samochodów osobowych i brak autostrad działały na rzecz kolei. W innych krajach jednak zaczęła systematycznie tracić swoją dominującą pozycję i znaczenie zarówno w przewozach pasażerskich, jak i towarowych. Transport samochodowy zaczął być wykorzystywany na olbrzymią skalę, co było spowodowane większą jego elastycznością, a przede wszystkim polityką państw ukierunkowaną na rozwój motoryzacji.

Przyczyn malejącej roli kolei można szukać w otoczeniu transportowym kolei, ale także i wewnątrz samych przedsiębiorstw kolejowych. W otoczeniu transportowym nastąpiły zmiany, które okazały się bardzo dla kolei niekorzystne. Przede wszystkim było to gwałtowne zmniejszenie wielkości przewozów towarowych związanych z przemysłem ciężkim i duży wzrost przewozów towarów o dużej wartości i niewielkiej masie. Dużym wymaganiem jakościowym mógł sprostać jedynie transport samochodowy. Zwiększyły się wymagania gospodarki co do jakości usług w przewozach pasażerskich i towarowych. Kolejną kwestią było pojawienie się całkiem nowego konkurenta w przewozach towarowych, czyli transportu rurociągowego, zwiększenie się zasięgu komunikacji lotniczej oraz szybszy wzrost liczby samochodów osobowych i ciężarowych niż wzrost produkcji przemysłowej w Europie. Ostatnia, niezwykle istotna sprawa, związana była z polityką państw europejskich zdecydowanie faworyzującą transport samochodowy poprzez intensywną rozbudowę infrastruktury drogowej bez obciążania tej gałęzi żadnymi kosztami, nie dbającą o równowagę między poszczególnymi gałęziami transportu [6].

Tak drastyczne zmniejszenie się znaczenia kolei miało też przyczyny wewnętrzne. Można tu wymienić brak jakiegokolwiek ukierunkowania na rynek (lub było ono bardzo niewielkie), brak konkretnej oferty przewozowej, a co za tym idzie brak współzawodnictwa z innymi gałęziami transportu. Winą za to należy obarczyć przedsiębiorstwa kolejowe, które czuły się zbyt bezpiecznie w roli przedsiębiorstw państwowych i nie zależało im na stabilnej pozycji na rynku usług transportowych. Liczyła się tylko wysoka pozycja w budżecie państwa [6].

Kryzys paliwowo-energetyczny w latach 70. XX w. przyspieszył rozwój nowych technologii i zyskał na tym również transport kolejowy. Znowu ruszyły ważne dla kolei inwestycje, pozwalając na unowocześnienie tej gałęzi transportu. Na znaczeniu zyskały przede wszystkim duże prędkości, a poszczególne kraje zaczęły się prześcigać w ich pokonywaniu. W Polsce zbudowano Centralną Magistralę Kolejową (CMK) będącą wyrazem nowoczesnej wówczas infrastruktury. Dzisiaj linia jest modernizowana, co pozwala na poprawę jej niedociągnięć. Dzięki modernizacji pociągi przewożące pasażerów kursują po CMK z prędkością rozkładową 200 km/h, co na warunki polskie jest naprawdę dużym osiągnięciem.

Nowe podejście do transportu kolejowego w końcu XX wieku wynikało z kilku czynników. Pierwszym były stale rosnące potrzeby coraz bardziej wymagających

klientów. Chcieli oni punktualnego, regularnego transportu, pokonującego duże odległości w jak najkrótszym czasie, w warunkach komfortu i bezpieczeństwa. Transport kolejowy w pełni mógł spełnić te postulaty, jednak transport samochodowy okazał się konkurentem nie mającym sobie równych. Z pewnością przyczyniły się do tego mniejsze koszty przejazdu i fakt, że samochodem można dotrzeć praktycznie wszędzie.

Innym czynnikiem zmiany w podejściu do transportu kolejowego jest konieczność efektywnej i rentownej działalności przedsiębiorstw kolejowych na rynku. W związku z tym potrzebna jest atrakcyjna, bogata oferta w celu zachęcenia klientów do korzystania z usług kolei. Najbardziej intensywne działania w tym kierunku podejmują przede wszystkim kraje Europy Zachodniej, chociaż poprawa jakości usług kolejowych powoli następuje we wszystkich krajach członkowskich.

Wreszcie ostatnim czynnikiem jest postępująca w Europie integracja europejska. Unia Europejska liczy już 28 państw i wymaga od swoich członków prowadzenia wspólnej polityki transportowej w zakresie transportu kolejowego w celu stworzenia jednolitego europejskiego systemu transportowego. Być może, kiedy zamysł ten stanie się faktem – Unia zamierza go zrealizować do 2020 r. – kolej wzmocni swoją pozycję, bo raczej dominującą gałęzią transportu już nie będzie. Zbyt duże są dysproporcje w udziale transportu samochodowego i kolejowego w przewozach pasażerskich i towarowych.

Na konkurencyjność różnych gałęzi transportu ma też wpływ infrastruktura. O standardzie linii kolejowych świadczy ich elektryfikacja, udział linii wielotorowych w ogólnej długości eksploatowanych linii i oczywiście parametry techniczne tych linii. Niedostatek środków finansowych był i jest poważną barierą rozwoju kolei w wielu krajach, w tym w Polsce – przeznacza się zbyt małe nakłady na remonty infrastruktury kolejowej, przez co pogarsza się jej stan techniczny. Nowoczesny tabor jest bardzo drogi, często okazuje się też niewystarczający i nie współgra z przestarzałą infrastrukturą, co nie pozwala na rozwijanie dużych prędkości.

W ostatnich latach w Europie dynamicznie rozwija się budowa linii dużych prędkości i to z nimi generalnie związane są inwestycje infrastrukturalne dotyczące transportu kolejowego. Linie przystosowane do dużych prędkości budowane są obecnie prawie we wszystkich krajach lub modernizowana jest infrastruktura, pozwalająca na osiągnięcie większych prędkości pociągów niż dotychczas. Koleje dużych prędkości wpływają na rozwój taboru, umożliwiającego obsługę połączeń międzyaglomeracyjnych. Stosowane są coraz nowocześniejsze rozwiązania: wnętrza wagonów o podwyższonym standardzie (klimatyzacja, zamknięty system WC, możliwość korzystania z laptopów, dostęp do internetu, udogodnienia dla osób niepełnosprawnych). Parametry techniczne (układy biegowe, hamulcowe, konstrukcje wózków) zapewniają komfort i bezpieczeństwo jazdy. Wszystkie materiały wykorzystane do wyposażenia wagonów muszą spełniać wymagania przeciwpożarowe, wytrzymałościowe, a także być odporne na zabrudzenia i uszkodzenia mechaniczne [7].

Odkąd wprowadzono i udoskonalono duże prędkości, transport kolejowy jest jednym z najszybszych środków transportu. Kolejne rekordy prędkości próbują dorównać transportowi lotniczemu. Zważywszy, że podróż samolotem wiąże się z długim oczekiwaniem na lotnisku, długą drogą dojazdową do lotniska, leżącego zazwyczaj na obrzeżach miasta, podczas gdy stacji kolejowych w większych miastach jest zazwyczaj kilka, można uznać, że transport kolejowy jest prawie równie szybki. Na krótkich i średnich odległościach duże znaczenie ma jednak transport drogowy.

Atutem kolei jest regularność przewozów, chociaż stosunkowo często występują opóźnienia. Terminowość i punktualność wykonywania usług jest raczej domeną transportu samochodowego. Za to jeśli chodzi o bezpieczeństwo i ekologię kolej wygrywa na tym polu bezkonkurencyjnie (najmniejsza emisja szkodliwych substancji, hałasu, mała zajętość terenu pod budowę torowisk). Jest też niezależna od warunków atmosferycznych i klimatycznych, czego wynikiem jest punktualność i niezawodność większa niż transportu lotniczego, który nie może się odbywać w warunkach burzy, mgły czy śnieżyicy.

Drogą kolejową można przewozić olbrzymie ilości ładunków, w miarę szybko, regularnie i bezpiecznie. Za to transport kolejowy jest mniej elastyczny niż transport drogowy, który jest w stanie dowieźć ładunek lub osoby praktycznie w każde miejsce – realizuje tzw. usługi „od drzwi do drzwi” zaspokajając różne poziomy potrzeb bez ponoszenia dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Wynika to z faktu, że w każdym kraju sieć dróg kołowych i autostrad jest dużo bardziej rozbudowana niż sieć kolejowa. Transport kolejowy może poruszać się tylko po torach, a przeładunki mogą się odbywać tylko na istniejących bocznicach. Transport drogowy dysponuje też większą liczbą taboru.

Kolej pełni dużą rolę w podróżach do pracy i z pracy, zwłaszcza w dużych aglomeracjach miejskich, gdzie zwiększający się wciąż ruch samochodowy blokuje kolejne ulice miast i nawet ruch tramwajowy przestaje być wystarczający. W przypadku awarii jednego tramwaju dalsza droga staje się niemożliwa. Są też sytuacje, gdy pasy samochodowe są wspólne z torami tramwajowymi i wówczas taka podróż w godzinach szczytu staje się bezsensowna. Jedynym rozwiązaniem jest więc rozwój podmiejskich pociągów, Szybkiej Kolei Miejskiej (tzw. SKM), metra. Budowa torowisk jest trudniejsza, bardziej czasochłonna i kosztowna niż dróg kołowych. Szczególnie jest to odczuwalne w terenie wyżynnym, czy wręcz górskim. Głębokie przekopy, wysokie nasypy, nachylenie terenu sprawia, że drogi kolejowe są mniej elastyczne niż kołowe. Poza tym kolej wymaga budowy infrastruktury pomocniczej, która zajmuje duże powierzchnie. Są to stacje i inne urządzenia towarzyszące eksploatacji kolei.

Przełom XX i XXI wieku można nazwać okresem renesansu kolei. Unia Europejska dostrzegła zalety transportu kolejowego i próbuje zdefiniować jej nowe zadania oraz miejsce w systemie transportowym. Wiele trzeba jednak jeszcze zrobić, żeby kolej się odrodziła. Potrzebne są zaawansowane technologie, rozbudowa sieci

linii dużych prędkości i nowoczesny tabor. Szansą na powstrzymanie tendencji spadkowej udziału kolei w rynku przewozów pasażerskich wydają się być linie dużych prędkości. Coraz bardziej widoczne staje się wzrastające zainteresowanie tymi liniami w podróżach międzyaglomeracyjnych przy jednoczesnym zmniejszaniu się przewozów pociągami klasycznymi. Do odzyskania wysokiej pozycji w systemie transportowym może się przyczynić wciąż wzrastające zatłoczenie w dużych miastach. W tej sytuacji praktycznie tylko kolej może zagwarantować płynność ruchu, a przy tym wyrządza dużo mniejsze szkody środowisku naturalnemu i ma mniejszą energochłonność niż inne środki transportu, zwłaszcza transport samochodowy. Nowe rozwiązania techniczne i technologiczne już teraz pozwalają na duży komfort podróży i stosunkowo krótki czas jej trwania.

3.3. Działania na poziomie europejskim

Zrównoważenie udziału w rynku przewozów poszczególnych gałęzi transportu jest dzisiaj jednym z priorytetów UE.

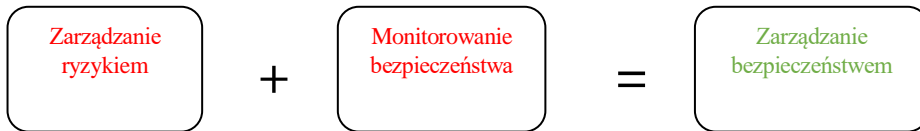
- Tworzenie wspólnego jednolitego rynku kolejowego w Europie w celu dalszego rozwoju kolei i poprawy jej konkurencyjności względem pozostałych gałęzi transportu,
- Tworzenie i modernizowanie odpowiednich standardów bezpieczeństwa w celu pod-trzymania dominującej pozycji kolei w tej dziedzinie – opracowywanie ujednoczonych norm i specyfikacji technicznych oraz procedur i schematów postępowania w określonych sytuacjach,
- Rozwój sieci kolejowej, zwłaszcza w przewozach długodystansowych – zwiększenie przepustowości linii, likwidacja wąskich gardeł i innych utrudnień w ruchu kolejowym,
- Podnoszenie standardu usług kolejowych – zwiększanie prędkości, punktualności, niezawodności, odpowiedzialności wskazujące na wiarygodność kolei w oczach użytkowników.

Działania te wspierane są przez wydawane na poziomie unijnym różnego rodzaju akty prawne (dyrektywy, rozporządzenia) czy zalecenia (np. w postaci białych ksiąg dotyczących transportu) w celu uporządkowania rynku i uregulowania go tam, gdzie jest taka potrzeba, by móc dokończyć prace nad jednolitym europejskim systemem kolejowym.

4. Bezpieczeństwo kolei jako priorytet

W ostatnich latach szczególnego znaczenia nabrało bezpieczeństwo transportu kolejowego. Jest ono priorytetem wszystkich działań realizowanych w obszarze transportu kolejowego. Bezwzględne utrzymanie bezpieczeństwa, a tam, gdzie jest to stosowne – podnoszenie jego poziomu to główny cel UE w odniesieniu do sektora kolejowego osiągany poprzez stosowanie postępu technicznego i naukowego oraz rozwoju prawa UE i prawa międzynarodowego. Przy czym ideą przewodnią jest zapobieganie wypadkom.

Według prawa wspólnotowego bezpieczeństwo to brak niedopuszczalnego ryzyka, czyli brak zagrożeń. Osiągnięcie takiego stanu jest możliwe dzięki odpowiedniemu zarządzaniu bezpieczeństwem, które obejmuje: zarządzanie ryzykiem i monitorowanie bezpieczeństwa.



Rys. 1 Zarządzanie bezpieczeństwem

Ryzyko natomiast definiuje się jako częstotliwość występowania wypadków i wydarzeń w powiązaniu ze skalą ich konsekwencji. Jeśli ryzyko jest nieakceptowalne, to stan taki określany jest jako zagrożenie, które potencjalnie może prowadzić do następujących wypadków: kolizje pociągów, wykolejenia pociągów, wypadki na przejazdach kolejowych, wypadki z udziałem osób postronnych, nieuprawnionych do przebywania na terenie kolejowym, pożary taboru kolejowego czy wypadki związane z przewozem ładunków niebezpiecznych.

Zarządzanie ryzykiem to planowe stosowanie polityki, procedur i praktyk zarządczych w zakresie analizy ryzyka, wyceny ryzyka oraz rejestrowania zagrożeń przez zarządców infrastruktury i przewoźników kolejowych. Natomiast monitorowanie bezpieczeństwa to planowe stosowanie strategii, priorytetów i planów zarządczych przez tych samych zarządców i przewoźników w celu utrzymania bezpieczeństwa [8].

4.1. Rozwój i doskonalenie bezpieczeństwa systemu kolejowego

Nowe spojrzenie na bezpieczeństwo kolei zostało zainicjowane wydaniem dyrektywy w sprawie bezpieczeństwa kolei [9]. Na mocy jej zapisów wszyscy operatorzy systemów kolejowych, zarządcy infrastruktury i przewoźnicy kolejowi ponoszą pełną odpowiedzialność za bezpieczeństwo systemu, każdy w swoim zakresie.

W 2004 r. została powołana Europejska Agencja Kolejowa (ERA), a jej podstawowym zadaniem miało być opracowywanie narzędzi dalszej harmonizacji – zalecenia dotyczące wspólnych wymagań bezpieczeństwa (CST – *Common Safety Targets*), wspólnych metod oceny bezpieczeństwa (CSM – *Common Safety Methods*) i wspólnych wskaźników bezpieczeństwa (CSI – *Common Safety Indicators*). Celem tych działań było zastąpienie przepisów krajowych ujednoliconymi przepisami na szczeblu unijnym. Drugim ważnym zadaniem Agencji jest monitorowanie rozwoju bezpieczeństwa kolei we Wspólnocie.

Rozwój i doskonalenie bezpieczeństwa odbywa się również poprzez harmonizację struktury regulacyjnej w państwach członkowskich. Regulacje odzwierciedlają realizację wizji jednolitego europejskiego obszaru kolejowego, na którym wszystkie przedsiębiorstwa kolejowe mogą świadczyć usługi bez barier prawnych, instytu-

cyjnych i technicznych. Regulacje koncentrują się na ustanowieniu wspólnego podejścia do zasad bezpieczeństwa i interoperacyjności.

Ważne stało się również określenie odpowiedzialności podmiotów systemu kolei – państw, ERA, przewoźników i zarządców kolejowych oraz podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie.

Kolejne zagadnienie wspierające rozwój i doskonalenie bezpieczeństwa to ustalenie zasad wydawania, przedłużania, zmiany i ograniczania lub cofania certyfikatów bezpieczeństwa i autoryzacji w zakresie bezpieczeństwa. Jednocześnie pojawił się wymóg ustanowienia dla każdego państwa członkowskiego krajowego organu ds. bezpieczeństwa oraz organu dochodzeniowego dla wypadków i incydentów. W Polsce wymóg ten został spełniony poprzez powołanie Urzędu Transportu Kolejowego (UTK) i Państwowej Komisji Badań Wypadków Kolejowych.

Do zadań UTK należy przede wszystkim prowadzenie działań nadzorczych:

- systemowych,
- nad prawidłową klasyfikacją zdarzeń kolejowych,
- nad pracą komisji kolejowych.

Ponadto UTK współpracuje z organami ds. bezpieczeństwa innych krajów w zakresie prowadzenia wspólnego nadzoru. Do innych zadań należy promowanie kultury bezpieczeństwa, proaktywnych systemów zarządzania bezpieczeństwem i wsparcie systemowe podmiotów – poprawa bezpieczeństwa ruchu kolejowego.

Kultura bezpieczeństwa opiera się na wysokim poziomie zaufania i szacunku pomiędzy pracownikami i kierownictwem. Musi być kreowana i wspierana przez kierownictwo wyższego szczebla. Działalność przy stosowaniu kultury bezpieczeństwa polega na szczerym i otwartym postępowaniu ze słabymi punktami organizacji i jest ukierunkowana na znalezienie odpowiednich rozwiązań.

4.2. Podejście oparte na zarządzaniu ryzykiem

Nowe podejście do bezpieczeństwa wyniknęło z konieczności wdrożenia przepisów prawa europejskiego dotyczących stosowania analizy ryzyka zarówno przy analizie bezpieczeństwa, jak również przy podejmowaniu decyzji o wdrażaniu do eksploatacji danego systemu. Początkiem tych zmian był rok 2012, kiedy to w UE zaczęło obowiązywać rozporządzenie w sprawie wyceny i oceny ryzyka w transporcie kolejowym. Następnie w roku 2013 wydane zostały kolejne dwa rozporządzenia odnoszące się do monitorowania i nadzoru bezpieczeństwa. Zmiany prawne okazały się dużym wyzwaniem dla wszystkich zaangażowanych stron.

W nowym podejściu kluczowym zagadnieniem jest System Zarządzania Bezpieczeństwem, tzw. SMS (*Safety Management System*). Jest to organizacja i środki przyjęte przez zarządcę infrastruktury lub przedsiębiorstwo kolejowe w celu zapewnienia bezpiecznego zarządzania działalnością we wszystkich obszarach. SMS składa się z następujących elementów:

- Procedury,
- Przepisy wewnętrzne,
- Instrukcje stanowiskowe,

- Dokumentacja utrzymaniowa,
- Inne.

które spełniają co najmniej kryteria CSM w zakresie oceny zgodności, są na bieżąco monitorowane pod kątem spełnienia stawianych im celów oraz na bieżąco doskonalone.

Bezpieczne zarządzanie działalnością odbywa się w trzech krokach:

- Bieżąca analiza ryzyk związanych z prowadzoną działalnością zgodnie z przyjętą metodą,
- Analiza ryzyk w kontekście planowania zmian zgodnie z CSM – ocena ryzyka,
- Bieżąca analiza tego, co się wydarzyło (lub mogło wydarzyć).

Krok 1 + krok 2 + krok 3 = rzetelna podstawa do podejmowania decyzji przez najwyższe kierownictwo firmy.

Istotą SMS jest zarządzanie ryzykiem. Polega ono na:

- usystematyzowanym identyfikowaniu zagrożeń,
- analizowaniu związanych z nimi ryzyk i właściwa nad nimi kontrola,
- monitorowaniu ryzyk i efektywności przyjętych środków ich kontroli.

Można powiedzieć, że SMS to ustrukturyzowane ramy umożliwiające bezpieczne zarządzanie działalnością danego przedsiębiorstwa. Kompletność polityki, procedur i praktyk koniecznych do osiągnięcia bezpieczeństwa potwierdza na podstawie analizy systemu SMS narodowy organ nadzorczy, czyli w Polsce Urząd Transportu Kolejowego. Zważywszy na fakt, że system kolejowy podlega ciągłym zmianom, a system SMS musi podlegać udoskonalaniu, zarządcy infrastruktury i przewoźnicy zostali zobowiązani do analizy zmian i oceny akceptowalności ryzyka.

W przypadku, kiedy zmiana nie ma wpływu na bezpieczeństwo, nie zachodzi konieczność stosowania procesu zarządzania ryzykiem. Inaczej jest w sytuacji, kiedy proponowana zmiana ma wpływ na bezpieczeństwo systemu kolejowego. Wówczas podmiot wprowadzający zmianę, kierując się fachowym osądem, musi zdecydować czy zmiana jest znacząca⁵. Każda decyzja musi być uzasadniona i stosownie udokumentowana oraz przechowywana. Jeśli analiza wykaże, że zmiana jest znacząca, to trzeba ocenić czy ryzyko jest na poziomie akceptowalnym. Na podstawie różnych kryteriów ustala się czy poziom ryzyka jest na tyle niski, że nie trzeba podejmować natychmiastowych działań w celu jego zredukowania.

Ocenę akceptowalności ryzyka prowadzi się za pomocą trzech metod:

1. weryfikacja stosowania kodeksów postępowania, przy wykorzystaniu powszechnie uznanych i publicznie dostępnych norm, specyfikacji TSI, kart UIC czy innych kolejowych przepisów dot. bezpieczeństwa.

⁵ Kryteria oceny znaczenia zmiany zawarte są w Rozporządzeniu Wykonawczym KE nr 402/2013 w sprawie wyceny i oceny ryzyka [11].

2. porównanie z podobnym systemem przy wykorzystaniu zagrożenia (lub zagrożeń) w nim występujących, spowodowanych przez zmiany znaczące.
3. jawne szacowanie ryzyka przy wykorzystaniu ilościowego i jakościowego szacowania ryzyka i wynikających z niego zagrożeń, z uwzględnieniem istniejących środków bezpieczeństwa.

W przypadku każdej znaczącej zmiany konieczne jest dokonanie oceny adekwatności stosowania procesu zarządzania ryzykiem oraz jego wyników. Jest to zadanie jednostki oceniającej, która posiada akredytację w tym obszarze, udzieloną przez Polskie Centrum Akredytacji.

Zobowiązanie podmiotów kolejowych do stosowania zarządzania ryzykiem z pewnością przyczyni się do uporządkowania stosowanych w kolejnictwie środków bezpieczeństwa, wymagań w zakresie jakości oraz bezpieczeństwa zamawianych materiałów i usług, które w jakikolwiek sposób wpływają na bezpieczeństwo.

5. Aktualne problemy do rozwiązania

Kolej zmienia się coraz bardziej i są to zmiany pozytywne. Jednak z pewnymi problemami boryka się od zawsze. Przede wszystkim są to problemy finansowe. Niedostatek nakładów był i jest poważną barierą rozwoju kolei – przeznaczają się zbyt małe środki na remonty infrastruktury kolejowej oraz nowoczesny tabor.

To pociąga za sobą kolejny problem – niski poziom zadowolenia pasażera. W ostatnich latach w Europie dynamicznie rozwija się budowa linii dużych prędkości, a dane UIC pokazują, że im krótszy czas przejazdu, tym wyższy udział kolei w rynku transportowym. W wielu krajach europejskich trasy, na których podróż trwa więcej niż 3,5 godziny (jak np. Paryż-Lyon, Paryż-Bordeaux) są całkowicie zdominowane przez pociągi dużych prędkości [10]. W Polsce dopiero pod koniec 2008 r. rząd podjął uchwałę o przyjęciu programu budowy i uruchomienia pociągów dużych prędkości, jednak dzisiaj możemy już na kilku trasach pojechać z dużą prędkością.

Wciąż jest też niski udział sektora kolejowego w rynku. Może to mieć pośrednio związek z ciągle jeszcze istniejącymi barierami i zbyt małą konkurencją, na której mogliby skorzystać pasażerowie. Brak konkurencji, to brak innowacyjności, czyli gorszy produkt. Kluczową kwestią w dzisiejszych czasach, w dobie stałego pośpiechu jest prędkość, stanowiąca jedną z podstawowych właściwości różnych środków transportu oraz będąca elementem konkurencji między nimi. Dlatego w obszarze tym konieczne są działania zmierzające do poprawy efektywności systemu kolei, większa integracja ruchu kolejowego i większa równowaga między gałęziami transportowymi w skali UE.

Problemy generuje również omówione wyżej nowe podejście do bezpieczeństwa kolejowego. W spółkach obserwuje się brak powszechnego zrozumienia celu i efektów procesu analizy ryzyka oraz brak doceniania analiz ryzyka jako źródeł informacji niezbędnych do zarządzania bezpieczeństwem. Analiza ryzyka często jest traktowana jako zbędny dodatek utrudniający pracę, co prowadzi do lekceważenia bądź naruszania procedur, w szczególności harmonogramów działań. Tymczasem podejście to pomaga utrzymać poziom bezpieczeństwa systemu kolejowego z naciskiem na zapobieganie zdarzeniom kolejowym.

Ostatnim problemem są kadry. Przed transportem kolejowym stoją nowe wyzwania, związane z unowocześnianiem infrastruktury i taboru, a ich sukces będzie zależał w dużym stopniu od kadry inżynierskiej. Powinna ona być dobrze przygotowana, pod względem ilościowym i jakościowym. Konieczne jest zatem angażowanie pracowników, zwłaszcza młodych, w projekty badawczo-rozwojowe, zachęcanie ich do uczestnictwa w studiach podyplomowych, stworzenie odpowiedniego programu kursów dokształcających. W przeciwnym razie wytworzy się luka pokoleniowa, którą trudno będzie zapełnić.

6. Podsumowanie

Cały okres funkcjonowania kolei obfitował w różne wydarzenia: zmiany własnościowe, organizacyjne, innowacyjne. Szczególne znaczenie miało powstanie Wspólnoty Europejskiej, która zmieniła oblicze tego środka transportu, a także miała ogromny wpływ na kształtowanie się kolei od II poł. XX wieku aż do dzisiaj.

Transport kolejowy zawsze zajmował ważne miejsce w polityce UE. Podejmowane w tym obszarze wspólne, efektywne działania umożliwiają realizację podstawowej zasady UE, czyli swobodnego przepływu, osób, usług i kapitału. Jednak faktem jest, że stan kolei nadal zależy od warunków finansowych i innowacyjnych danego kraju. Tam, gdzie warunki te są gorsze, procesy związane z transportem kolejowym (np. modernizacja, budowa) przebiegają wolniej i często efekty też są gorsze.

Podkreślić trzeba, że mimo wielu wysiłków w celu podniesienia konkurencyjności kolei i zwiększenia jej udziału w rynku przewozów nie ma w tym obszarze zadowalających rezultatów. Nie mniej jednak powoli obserwuje się wzrost zainteresowania pasażerów koleją, przede wszystkim z powodów coraz krótszego czasu jazdy, coraz większego komfortu i bezpieczeństwa.

W 2014 r. liczba znaczących wypadków na polskiej sieci kolejowej spadła po raz pierwszy od wielu lat. Jest to rząd wielkości 5% w porównaniu do roku 2013 (z ogólnej liczby 328 do 313). Podobnie liczba ofiar śmiertelnych w znaczących wypadkach była mniejsza w 2014 r. o 9% w stosunku do roku 2013, a osób ciężko rannych o 6%. Polska pod względem bezpieczeństwa kolejowego na tle innych krajów UE nie wypada najlepiej. Wpływ ma tutaj wysoki wskaźnik wypadków na przejazdach kolejowo-drogowych i związanych z nieuprawnionym przebywaniem osób na terenach kolejowych [12].

Przed transportem kolejowym stoją liczne wyzwania. Największym jest nadal motoryzacja i preferencje obywateli do korzystania z komunikacji indywidualnej. Sprawny, niezawodny i bezpieczny system kolejowy może tę tendencję jeśli nie odwrócić, to przynajmniej znacząco zmniejszyć. Ważne są kampanie nawołujące do korzystania z tego środka transportu, promujące zmianę sposobu myślenia społeczeństw europejskich. Ale z drugiej strony trzeba też pokazać, że ten środek transportu jest niezawodny – punktualny, dostępny, nowoczesny. Badania prowadzone wśród podróżnych wykazują, że właśnie te cechy oraz bezpieczeństwo kojarzą im się najbardziej z niezawodnością kolei. Transport kolejowy jest korzystny w dojazdach do pracy czy szkół, szybki na dłuższe dystanse, umożliwia bezpośrednie, szybkie dotarcie

do celu. Jednym słowem – jest konkurencyjny w stosunku do innych środków transportu.

Proces rozwoju kolei trwa do dzisiaj. Zmieniają się cele polityki związanej z transportem kolejowym oraz standardy bezpieczeństwa. Postęp techniczny i technologiczny dokonujący się na świecie stale będzie wymuszał unowocześnianie infrastruktury, taboru i innych urządzeń kolejowych. Priorytetem będzie też zawsze bezpieczeństwo ludzi i ochrona środowiska naturalnego. Dlatego UE, ale także rządy poszczególnych państw powinny wspierać tę gałąź transportu, żebyśmy mogli w nieodległej przyszłości jeździć szybko, cicho, wygodnie i tanio.

Literatura

1. Sysak J. *Drogi kolejowe*, PWN, Warszawa 1986, wyd. 2 zmienione.
2. Frąckowiak M. (red.) *Kolejnictwo polskie – Złota księga kolejnictwa w Polsce*, Wyd. Quixi Media Sp. z o.o. w Bydgoszczy i Muzeum Kolejnictwa w Warszawie, 2013.
3. Garlikowska M. *Ewolucja celów polityki transportu kolejowego w Europie*, Problemy Kolejnictwa, 149 (2009).
4. Kaliński J. *Historia gospodarcza XIX i XX w.*, Polskie Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa 2008.
5. Program działań w zakresie wspólnej polityki transportowej. Bruksela, 1962 (V/COM/62/88 final).
6. Engelhardt J., Wardacki W., Zalewski P. *Transport kolejowy. Organizacja, gospodarowanie, zarządzanie*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1995.
7. Kukulski J. *Nowoczesne rozwiązania w kolejowym taborze pasażerskim*, Problemy Kolejnictwa, 154 (2012).
8. Białoń A., Pawlik M. *Problematyka bezpieczeństwa i ryzyka na przykładzie urządzeń sterowania ruchem kolejowym*, Technika Transportu Szynowego 2 (2015), s. 20-25.
9. Dyrektywa 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa kolei wspólnotowych oraz zmieniająca dyrektywę Rady 95/18/WE w sprawie przyznawania licencji przedsiębiorstwom kolejowym, oraz dyrektywę 2001/14/WE w sprawie alokacji zdolności przepustowej infrastruktury kolejowej i pobierania opłat za użytkowanie infrastruktury kolejowej oraz certyfikacje w zakresie bezpieczeństwa (dyrektywa w sprawie bezpieczeństwa kolei) (Dz.U. L 164 z 30.04.2004).
10. Barrow K., 2010 a high-speed odyssey: the dawn of a new decade on January 1 will Herald a new approach to the provision of international passenger services in Europe, *International Railway Journal*, 4 (2009).
11. Rozporządzenie Wykonawcze KE nr 402/2013 w sprawie wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka i uchylające rozporządzenie (WE) nr 352/2009.
12. Biała Księga 2016 *Bezpieczeństwo kolei – podejście systemowe*, Railway Business Forum, Warszawa 2016.

Nowoczesny i bezpieczny transport kolejowy wyzwaniem XXI wieku

Streszczenie

Rozdział jest próbą odpowiedzi na pytanie o rolę transportu kolejowego w życiu społecznym i gospodarczym XXI wieku. Transport kolejowy od początku swojego powstania zajmował ważne miejsce w gospodarkach wszystkich państw. Jego rola zmieniała się wraz z warunkami społecznymi, gospodarczymi i politycznymi, jednak mimo dużej konkurencji ze strony transportu samochodowego wciąż ma dużą pozycję na całym świecie. Po dziesięcioleciach załamania na nowo odzyskuje swoje miejsce wśród innych gałęzi transportu, głównie za sprawą coraz nowocześniejszego taboru i infrastruktury oraz osiąganych coraz większych prędkości.

W rozdziale poruszono kwestie powstania i rozwoju kolei aż do czasów obecnych, ze szczególnym uwzględnieniem działań UE podejmowanych w celu zwiększenia udziału w rynku przewozów, zarówno pasażerskich, jak i towarowych. Przedstawiono cele europejskiej polityki kolejowej oraz stan tego sektora transportu.

W ostatnich latach ogromnego znaczenia nabrało bezpieczeństwo transportu kolejowego. Kolej była zawsze jedną z najbezpieczniejszych gałęzi transportu, a od kilku lat prowadzone są intensywne działania we wszystkich obszarach: technicznym, prawnym, organizacyjnym służące ciągłej poprawie jej bezpieczeństwa. Omówiono podejście oparte na zarządzaniu ryzykiem, które ma gwarantować stałą kontrolę nad bezpieczeństwem systemu kolejowego.

Na koniec pokazane zostały aktualne problemy, z jakimi boryka się kolej i co jest potrzebne do ich rozwiązania.

Praca opierała się o analizę dostępnych źródeł. Wniosek z rozważań jest jeden: kolej jest ważną gałęzią transportu dla społeczeństw i gospodarek państw, nie tylko europejskich. Ma wiele zalet w porównaniu z innymi środkami transportu, a najważniejsze z nich to: bezpieczeństwo i przyjazność dla środowiska naturalnego. Dlatego potrzebne jest wsparcie na poziomie państw i UE.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, system kolejowy, ryzyko, pasażer, polityka kolejowa

Modern and safe railway transport as challenge of XXI century

Abstract

A scope of the chapter is answer a question about the role of railway transport in social and economic life of XXI century. From the beginning railway transport has occupied important place in the economy of all countries. Its role has changed with social, economic and political conditions, but despite of serious competition from road transport railway has still big position all over the world. After decades of collapse it recovers its place among the other mode of transport, mainly because of increasingly modern rolling stock and infrastructure as well as increasing speed.

In article issues of origin and development of railway until the present time were raised. Actions of EU in order to increase market share of passenger and freight transport were special included. Aims of European railway policy and state of the railway sector were presented.

In recent years the great importance has safety of railway transport. Railway always was one of the most safety mode of transport. For few last years intensive activities have been carried out in all areas: technical, legal, organizational, which serve continuous improvement of the safety. Approach based on risk management was discussed. This approach is supposed to guarantee constant control over the railway system safety.

Finally current problems of railway transport and what is needed to solve them were shown. This paper was based on analysis of available sources. Conclusion is following: railway is very important mode of transport for societies and economies of the countries, not only European. It has many advantages compared to other modes of transport. The most important is safety and friendly attitude to natural environment. That is why support at the state and EU level is needed.

Keywords: safety, railway system, risk, passenger, railway policy

Człowiek i maszyna – szanse, zagrożenia i wyzwania w kontekście współczesnych technologii

1. Wprowadzenie

Trudno wyobrazić sobie współczesny świat bez wielu osiągnięć techniki, szczególnie zaś tych będących wynikiem cywilizacyjnego postępu ostatnich lat. Technologie informacyjne są dzisiaj wszechobecne – tak w życiu prywatnym jak i w codziennej pracy. Dla ludzi młodych stanowi to normę, podczas gdy starsi często podchodzą z dystansem do „nowych wynalazków”. Nawet jednak ci, którzy nie przejawiają zbyt dużego zaufania do nowych technologii, zdają sobie sprawę z nieuchronnego spotkania z „nowym”, a brak chęci do podjęcia wyzwania, jakie ono ze sobą niesie, może oznaczać wykluczenie czy konieczność rezygnacji z pewnych przywilejów. Z drugiej strony, osoby starsze wchodzą w świat nowych technologii, czyniąc to może trochę wbrew sobie, ale dzięki temu poprawia się komfort ich życia: bankowość internetowa, elektroniczne biura obsługi itp. pozwalają na dokonanie rozliczeń czy przekazanie do rozpatrzenia pewnych spraw, bez konieczności wychodzenia z domu. Jest to również szansa na częstszy kontakt z innymi ludźmi, rozwijanie zainteresowań itp.

Trend rozwoju nowoczesnych technologii w ostatnich latach wydaje się odchodzić od modelu maszyny, jako wyłącznie narzędzia do realizacji określonego celu, stawiając raczej na wzajemną relację człowieka i maszyny, co przejawia się głównie w rozwoju wszelkiego rodzaju interfejsów człowiek-maszyna umożliwiających komunikowanie się obydwu stron ze sobą. Oprócz szeroko propagowanych korzyści z takiego podejścia, należy nie zapominać o zagrożeniach, jakie ono niesie. Cyberterrorysty, kradzieże tożsamości, stalking – to tylko niektóre z realnych niebezpieczeństw, na które narażone jest współczesne społeczeństwo. Bardzo dynamiczny rozwój nauki i techniki, którego doświadczamy w ostatnich latach zdaje się wyprzedzać tempo identyfikowania kolejnych zagrożeń i reagowania na nie. Globalny rynek i walka o klienta sprzyjają również wprowadzaniu do obiegu produktów niedojrzałych, niedostatecznie przetestowanych, posiadających ukryte usterki albo wady. Często produkt nie ma nawet szans okrzepnąć na rynku, a już zastępowany jest kolejnym, atrakcyjniejszym marketingowo, ale równie często podatnym na nieznaną dotąd zagrożenia.

Niniejsze opracowanie ma na celu dokonanie możliwie obiektywnej oceny współczesnych technologii w odniesieniu do ich wpływu na kształt współczesnego

¹ krzysztof.foit@polsl.pl, Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice

społeczeństwa. Można zadać sobie pytanie, na ile obecna relacja człowieka z maszyną jest inna od tej sprzed kilkudziesięciu, stu czy kilkuset lat? Czy nasze czasy są w jakiś sposób wyjątkowe? Odpowiedzi tylko pozornie wydają się proste. Sformułowanie ich w oparciu o obecny stan wiedzy przypuszczalnie będzie odmienne w treści od wniosków wyciągniętych za kilkadziesiąt lat. Zatem należy zdać sobie sprawę z tego, że dyskusja o szansach, zagrożeniach czy wyzwaniach nie kończy się na jednym czy kilku opracowaniach – jest to zawsze temat otwarty.

2. Relacja człowiek-maszyna w aspekcie historycznym

Pomimo bogatej historii technologicznych osiągnięć i wynalazków, rys historyczny, odnoszący się do relacji człowiek-maszyna, należy zacząć od zacytowania słów filozofa. Arystoteles – bo o nim należy wspomnieć – w swojej rozprawie zatytułowanej „Polityka” [1], prowadzi dyskusję dotyczącą współczesnego mu społeczeństwa, odnosząc się do rozmaitych aspektów życia. W części poświęconej domowi, rodzinie i traktowaniu niewolników, stwierdza on między innymi:

Jest zaś narzędziem ponad narzędzia każdy sługa. Gdyby bowiem każde narzędzie mogło spełniać swoje zadania według rozkazu albo i uprzedzając go, jak to podobno robiły posągi Dedala lub trójnogi Hefajstosa, które, jak mówi poeta, same się zjawiają na zebranie bogów, gdyby tak czółenka tkackie same tkwały, a pałeczki od gitary same grały, to ani budowniczowie nie potrzebowaliby pomocników, ani panowie niewolników. To, co się nazywa narzędziem, stanowi środek do wytwarzania nowych rzeczy, zaś przedmioty własności służą tylko do użytkowania. Czółenka tkackiego bowiem nie tylko się używa, lecz z jego pomocą wytwarza się coś nowego [...].

Cytowany fragment zawiera dwie, bardzo istotne myśli. Pierwsza z nich dotyczy osoby niewolnika czy sługi, który jest traktowany jako narzędzie, przy czym narzędzie inteligentne, rozumiejące potrzeby pana, wyprzedzające jego myśli. Widać więc wyraźnie, jak głęboko zakorzeniona w społeczeństwie jest potrzeba posiadania takiego „narzędzia”, które rozumie ludzkie potrzeby i wytworzy rzeczy, będące odpowiedzią na nie. Z drugiej strony, Arystoteles spostrzega, że gdyby „zwykłe” narzędzia działały w taki inteligentny sposób, to sługa czy niewolnik nie byłiby potrzebni – co wydaje się być oczywiste. Te myśli filozofa przetrwały wieki, znajdując odzwierciedlenie w postaci robotów z dramatu „R.U.R.” Karelá Čapka, czy w końcu w wielu opowiadaniach science-fiction z początku XX wieku, gdzie roboty często przedstawiano jako maszyny o kształtach zbliżonych do ludzkiej postaci. W podobny sposób skonstruowano również robota „Electro”, przedstawionego na Wystawie Światowej w Nowym Jorku, w 1939 roku. Z drugiej strony, automatyczne krosna tkackie Jacquarda niewiele różniły się od innych tego typu maszyn, obsługiwanych w sposób ręczny, ale stanowiły dosłowną interpretację słów Arystotelesa o czółenku potrafiącym tkąć bez udziału ręki robotnika.

Po przeszło dwóch tysiącach lat, dramaturg Karel Čapek powtórzył w swoim dziele poglądy Arystotelesa – odniesie się tym razem nie do ludzi, ale sztucznie wytworzonych, biologicznych organizmów:

Młody Rossum wynalazł robotnika z najmniejszą z możliwych ilością potrzeb. Po prostu wyrzucił wszystko, co nie wiązało się bezpośrednio z pracą, mówiąc inaczej, wyrzucił człowieka i stworzył Robota. Droga panno Glory, Roboty nie są ludźmi. [...] (tłumaczenie własne na podstawie oryginału [2])

Dramat Čapka nie poprzestaje jednak na ukazaniu relacji „pan-sługa”, ale traktuje problem szerzej, kreśląc dystopijną wizję zgnuszonego społeczeństwa, przeciw któremu zwraca się technologia, która w zamierzeniu miała zapewnić każdemu człowiekowi dostatni i bezproblemowy byt. Bunt robotów przychodzi na myśl Powstanie Spartakusa: stojący najniżej w hierarchii powstają przeciwko swym twórcom i – odnosząc się do wywodu Arystotelesa – „panom”. Ów motyw (często krwawej) rewolucji, prowadzonej przez maszyny przeciw ludziom, jest chętnie wykorzystywany przez pisarzy i scenarzystów filmów science-fiction do dnia dzisiejszego. Tej apokaliptycznej wizji przeciwstawił się inny znakomity pisarz science-fiction – Izaak Asimov. W swoim opowiadaniu „Runaround” [3] definiuje on trzy podstawowe prawa robotyki, które w sposób jednoznaczny nakazują robotom chronić ludzkie życie i zdrowie oraz zabraniają podejmować jakichkolwiek działań, które mogłyby pośrednio lub bezpośrednio zagrozić człowiekowi. Warto nadmienić, że owe prawa przeszły z kart literatury do kanonu naukowego, określając ogólne zasady, jakimi robot powinien się kierować podczas interakcji z człowiekiem [4-7]. Przy tej okazji należy wspomnieć, że takich zbieżności pomiędzy literaturą science-fiction a współczesną technologią jest więcej. Trudno jednoznacznie wyrokować czy wizje pisarzy zainteresowały wynalazców i inżynierów, jednak Verne opisał łódź podwodną na długo przed tym, nim pojawiły się możliwości technicznej realizacji, podobnie jak Lem przedstawił koncepcję „optonu”, czyli współczesnego czytelnika książek elektronicznych na długo przed wejściem do powszechnego użytku komputera osobistego.

Powyższe trzy przykłady z literatury, reprezentują trzy odmienne stanowiska. Arystoteles wskazuje, że posłuszne człowiekowi, automatyczne narzędzia mogłyby zastąpić służbę i niewolników. Pośrednio rysuje więc wizję świata bez niewolnictwa, bez służących. W tym sensie postęp technologiczny jest szansą. Przeciwnie stanowisko prezentuje Čapek, który wskazuje że po pierwszym zachwycie nową technologią, ludzie użyją jej do złych celów: prywaty czy prowadzenia wojen – w ten sposób jasno definiuje zagrożenia płynące z niewłaściwego zrozumienia idei postępu technicznego. Stanowisko Asimova jest pogodzeniem obu przytoczonych, przeciwstawnych poglądów. Sprowadza się ono do pojmowania nowych technologii w kategoriach wyzwania, które – jeszcze przed realizacją projektu – wymaga pewnych z góry narzuconych ograniczeń, by uniknąć wypaczenia pewnych naturalnych idei społecznych, by technologia nie stanowiła zagrożenia dla jednostki i ludzkości w ogóle.

Zaprezentowane przykłady odnoszą się bezpośrednio do automatyki, czy konkretnie robotyki, ale ich przekaz jest uniwersalny i istnieje możliwość powiązania ich z innymi dziedzinami nauki. O ile już na etapie wynalazku można próbować określić jego potencjalne zastosowanie, a tym samym szanse, jakie daje on społeczeństwu, o tyle w przypadku zagrożeń wskazana jest zrównoważona i ostrożna postawa. Powody takiego podejścia zostaną wyjaśnione w dalszej części opracowania.

3. Zagrożenia związane z postępowaniem technologicznym – realia czy nieuzasadnione lęki?

Właściwa ocena zagrożeń, będących wynikiem zastosowania nowych technologii bądź związanych z tym nadużyć, nie jest zadaniem prostym. Identyfikacja szkodliwego oddziaływania na środowisko bądź na organizm człowieka wymaga często wielu lat badań i dopiero po upływie odpowiednio długiego czasu można wyrokować o szkodliwości danej substancji czy technologii. Niestety, współczesny rynek jest bardzo dynamiczny i bycie konkurencyjnym oznacza forsowanie nowych rozwiązań, nawet za cenę ryzyka związanego z porażką czy koniecznością manipulowania informacjami. Ujawnienie manipulacji często skutkuje nie tylko utratą zaufania klientów, ale generuje również straty majątkowe, które osiągają również innych, powiązanych firm. Przykładem może być głośna sprawa podawania przez jeden z koncernów produkujących samochody nieprawdziwych wyników dotyczących emisji spalin. Według niektórych analiz [8], tzw. dieselgate kosztowała amerykańskie firmy około 6,44 miliarda dolarów. Bovens [9] wskazuje z kolei na dwa ważne aspekty tej sprawy: z jednej strony stoi problem wyśrubowanych norm emisji, podczas gdy z drugiej „kultura bezwzględnej zaręczania”, w której inżynierowie nie mogą przyznać się do porażki. Należy uznać, że jest to przykład wypaczonego, „programowanego postępu”, gdzie nie ma naturalnej wynalazczości, a zamiast tego pojawia się presja ze strony zarządu, rynku, polityków czy konkurencji, co może skutkować posługiwaniem się przez inżynierów różnymi metodami maskowania problemów. Podobna sytuacja dotyczyła niedawno jednego z producentów telefonów komórkowych: poważną usterką jednego z modeli były eksplodujące baterie [10]. W tym przypadku badania nad przyczyną zjawiska jednocześnie stały się dla firmy wyzwaniem – utworzenie specjalnej grupy doradczej i nowego systemu kontroli jakości [11] stały się narzędziem do poprawy jakości i bezpieczeństwa oferowanych produktów, a tym samym próby odzyskania zaufania klientów.

W kwestii omawiania realnych zagrożeń, nie sposób pominąć katastrofy nuklearnej w Fukushima. To zdarzenie, wielokrotnie porównywane do katastrofy w Czarnobylu, wyzwoliło kolejną falę ogólnoświatowej dyskusji na temat bezpieczeństwa energii jądrowej. W pracy [12] dokonano próby oceny akceptacji społecznej w skali ogólnoświatowej, dotyczącej eksploatacji cywilnych reaktorów jądrowych. Jeden z wniosków wydaje się szczególnie ciekawy: otóż respondenci zamieszkujący obszary bardziej oddalone od miejsca katastrofy wyrażali więcej obaw niż mieszkający bliżej miejsca zdarzenia. Badacze wskazują jeszcze jeden istotny czynnik moderujący poglądy społeczeństwa, którym jest wpływ informacji płynącej z mediów oraz polityczna kontrola nad mediami.

Opisane przykłady przypadków nadszarpnięcia zaufania społecznego prowadzą do kilku wniosków. Pierwszym i najważniejszym jest fakt, że czynnikiem decydującym o społecznym wpływie wydarzenia jest jego odpowiednie nagłośnienie. Biorąc pod uwagę chociażby przypadki wybuchających baterii smartfonów, nie sposób nie zauważyć, że podobne zdarzenia opisywano już wiele lat wcześniej [13], jednak nie

odegrały one ważnej roli w kształtowaniu opinii społecznej. Niewątpliwie w opisanej wcześniej sprawie ważny był fakt, że usterka dotyczyła konkretnego modelu, konkretnej firmy i pojawiała się na wielką skalę. Z drugiej strony należy zdać sobie sprawę, jak w ciągu ostatnich kilku lat wyewoluowały kanały komunikacji, w tym tzw. portale społecznościowe, które mają zdecydowany wpływ na propagację informacji i kształtowanie opinii. Sprzyja to również rozpowszechnianiu informacji niesprawdzonych, subiektywnych, często niepopartych wiedzą, co prowadzi do kształtowania w społeczeństwie nieuzasadnionych obaw.

Odnosząc się do społecznych lęków, obawy przed nową technologią, trudno jest jednoznacznie wyrokować o ich zasadności. Z jednej strony na wczesnym etapie korzystania z nowego urządzenia czy technologii, nie można wykluczyć jego niekorzystnego oddziaływania na środowisko i człowieka, z drugiej zaś nie ma naukowych podstaw do uznania takiego stanu rzeczy za prawdziwy. Historia techniki pokazuje, że zdarzały się zarówno przypadki umyślnego wzbudzania lęku społecznego przed daną technologią, jako elementu walki z konkurencją, jak i potwierdzenia jej szkodliwego oddziaływania.

Przykładem pierwszego przypadku jest na przykład tzw. wojna prądów, prowadzona pomiędzy Teslą i Edisonem [14-16]. Rola osobistego udziału Edisona w tym sporze nie jest do końca wyjaśniona, jednak źródła z tego okresu kładą wyraźny nacisk na kampanię nagłaśniającą niebezpieczeństwa płynące bezpośrednio z obecności wysokich napięć w przestrzeni publicznej. Echa tej kampanii są obecne w wielu źródłach literaturowych i doniesieniach prasowych, a Edisonowi przypisuje się również wsparcie finansowe prac nad wynalezieniem krzesła elektrycznego [por. 15], jednak przypuszczenie to nie zostało jednoznacznie potwierdzone.

Drugi przypadek doskonale opisuje historia azbestu. Ten znany od starożytności materiał, długo czekał na swój czas, by po z górą stu latach świetności popaść w niełaskę. Włókna azbestu, pozyskiwane w sposób naturalny, z początku były używane do wytwarzania łatwych do czyszczenia tkanin, a po nasączeniu olejem – jako nie ulegające spopieleniu „węgle”. Okres największej fascynacji azbestem przypada na stulecie XVIII do XX. Ognioodporność azbestu wykorzystywana jest szeroko przez wędrownych aktorów i iluzjonistów podczas przedstawień. W drugiej dekadzie XIX w., Giovanni Aldini wpada na pomysł, by azbest wykorzystać do produkcji specjalnych, ognioodpornych kombinezonów dla strażaków, co spotyka się z dobrym przyjęciem w całej Europie i zapewnia producentowi dostatni byt. Również rozwój maszyn parowych, a później silników spalinowych wpływa na szersze wykorzystanie azbestu, jako żaroodpornego materiału izolacyjnego i tworzywa używanego w produkcji uszczelnień [17]. Wiek XX przynosi dalszą ekspansję azbestu: klocki hamulcowe w pojazdach, filtry w instalacjach wentylacyjnych, pokrycia dachów, izolacje przewodów elektrycznych, rur, artykuły gospodarstwa domowego (por. Rysunek 1) itp. Pomimo, że już na początku XX w. poruszono temat szkodliwości azbestu, to jednak dopiero w latach sześćdziesiątych, zaczęto zwracać baczniejszą uwagę na związek pomiędzy pracą z tworzywem azbestowym (młyny i kruszarki azbestu) a występowaniem chorób płuc [17]. Za taki stan miały odpowiadać

drobiny włókien, osadzające się w drogach oddechowych i wywołujące miejscowe podrażnienia. Azbest został uznany za substancję rakotwórczą, a w Polsce jego stosowanie zostało jednoznacznie zakazane Ustawą z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest [18]. Moda na stosowanie tego materiału skończyła się identycznie jak się zaczęła – wielkim medialnym szumem. Ogromne możliwości zastosowania azbestu skutkowały wręcz masową jego aplikacją – dziś pozostały jedynie pomniki czasu świetności tego tworzywa w postaci nieczynnych wyrobisk i zakładów przetwórstwa.



Rysunek 1. Reklama wykonanej z azbestu ochrony blatu stołu [Better furniture, 1941-1942, Carson Pirie Scitt &Co., licencja Public Domain Mark 1.0]

Trzeba jednak zwrócić uwagę, że proces uznania azbestu za materiał bezwzględnie zagrażający zdrowiu trwał kilkadziesiąt lat [17]. To usprawiedliwia fakt, że ludzie poczuli się oszukani. Warto w tym miejscu dodać, że negatywne dla zdrowia skutki ma przede wszystkim wdychanie pyłu azbestowego, nie zaś przebywanie w sąsiedztwie wyrobów zawierających azbest. Ponadto do wystąpienia międzybłoniaka czy raka płuc konieczny jest odpowiednio długi czas ekspozycji i dawka skumulowana [19]. Z drugiej strony widok robotników w szczelnych kombinezonach i w maskach filtrujących powietrze, demontujących i utylizujących azbestowe pokrycia budynków, wzbudza uzasadniony lęk wśród lokatorów, którzy spędzili połowę swojego życia w otoczeniu niebezpiecznej substancji.

3.1. Cyberzagrożenia – od komputerowego wirusa do broni masowego rażenia

We współczesnym świecie istnieją również zagrożenia, których załączkiem był rozwój technologii informacyjnych i które ewoluują razem z postępowaniem w dziedzinach

IT. Są to cyberzagrożenia, które jako jedyne z obszaru zagrożeń technologicznych są powiązane z działaniami przestępczymi i terrorystycznymi.

Upowszechnienie komputerów osobistych w latach osiemdziesiątych XX w. można uznać za kamień milowy w rozwoju technologii informacyjnych. Przepływ informacji pomiędzy użytkownikami był w tym czasie moderowany przez istniejącą infrastrukturę i możliwości techniczne komputerów. Większość tzw. ośmiobitowców mogło uruchomić tylko jeden program na raz, zaś za łączy ze światem zewnętrznym służyła najczęściej kasetka magnetofonowa, rzadziej dyskietka lub modem. Również różnice sprzętowe i odmienność kodu programów powodowały, że użytkownicy tworzyli mniej lub bardziej formalne grupy, skupiające się wokół używanej przez nich marki komputerów domowych, często rywalizujące z użytkownikami innych typów komputerów. Wprowadzenie na rynek klonów komputerów IBM PC i ich upowszechnienie w latach dziewięćdziesiątych XX w., spowodowało kilka, dość istotnych zmian w społeczności użytkowników komputerów. Po pierwsze, maszyny posiadały moc obliczeniową wystarczającą do uruchamiania mikroprogramów działających w tle, w sposób niezauważalny dla użytkownika, a ponadto używały jednakowego kodu, w jakim procesor przetwarzał program. To zachęciło niektórych użytkowników do tworzenia protoplastów współczesnych wirusów, które z początku ograniczały się do nieszkodliwych żartów: wyświetlania napisów czy grafiki, odtwarzania dźwięku itp. Niechlubną opinię zyskał wirus „Dark Avenger”, który – poza infekowaniem nośników – niszczył również zgromadzone na nich dane.

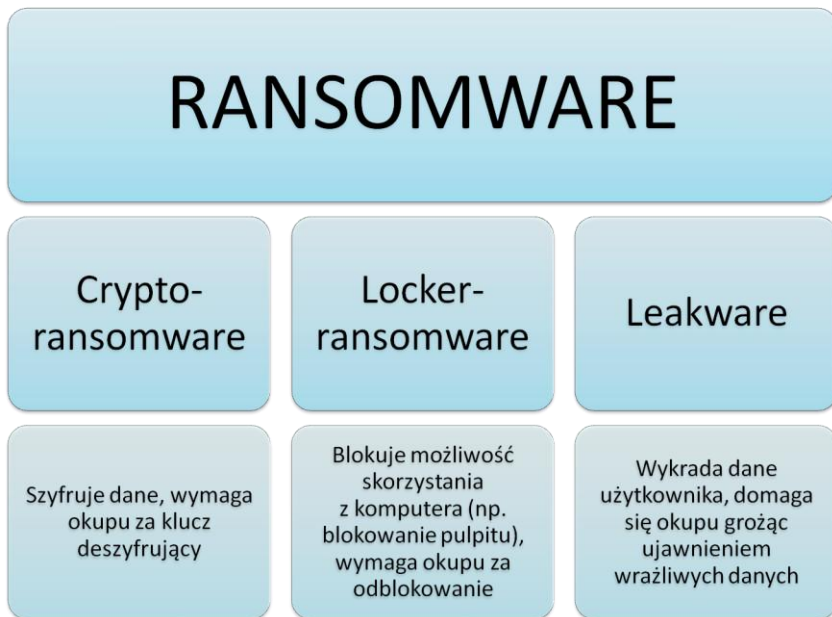
W połowie lat dziewięćdziesiątych XX w., rozpoczęła się nowa era dla komputerów klasy PC. Wprowadzenie na rynek systemu „Windows 95” pozwoliło rzeszom użytkowników wypróbować nowy rodzaj komputerowej aktywności – podłączenie do ogólnoswiatowej sieci Internet. Wydana trzy lata później wersja „Windows 98” była już w pełni przystosowana do korzystania z Internetu, poprzez zintegrowanie przeglądarki sieci WWW z systemem (tzw. „Active Desktop”) i częściowe zatarcie granic pomiędzy zasobami sieciowymi a lokalnymi. Nowy, XXI wiek przynosi upowszechnienie dostępu do sieci Internet, czy to za pośrednictwem modemu i linii telefonicznej czy też przy użyciu dedykowanych urządzeń ISDN, DSL itp.

Obecnie, większość dziedzin naszego życia oparta jest o korzystanie z zasobów sieci Internet. Trudno wyobrazić sobie pracę bez dostępu do poczty elektronicznej czy różnego rodzaju specjalistycznych portali. Przez sieć Internet dokonujemy zakupów, transakcji bankowych, rozliczamy podatki, składamy pisma urzędowe, w końcu korzystamy z rozrywki czy podtrzymujemy więzi towarzyskie. Aktywności te wymagają wzajemności ze strony przedsiębiorców, dostawców usług, którzy udostępniają pewne zasoby swoim klientom czy kontrahentom. Tak duża ilość komputerów podłączonych do sieci i danych na nich zgromadzonych, staje się łakomym kąskiem zarówno dla tych, którzy po prostu mają złe zamiary, jak i dla tych, którzy chcą zarobić pieniądze, w sposób niekoniecznie zgodny z prawem. Rozpatrzmy zatem kilka przykładów cyberzagrożeń, dotyczących różnych aspektów korzystania z sieci Internet.

Globalny zasięg współczesnych, wielkich firm, posiadających swoje przedstawicielstwa rozsiane po całym świecie, wymaga korzystania z łączy Internetowych

w celu koordynacji działań poszczególnych placówek. Podobnie rzecz się ma w przypadku współpracy kilku przedsiębiorstw, gdzie często dane muszą trafić bezpośrednio na halę produkcyjną, do systemu sterowania konkretnej maszyny. Podatność obiektu na atak jest minimalizowana przez zastosowanie odpowiednich urządzeń czy oprogramowania, a często nawet przez jego fizyczną izolację od sieci komputerowej. Cyberprzestępcy znajdują jednak coraz to nowsze i skuteczniejsze metody radzenia sobie z zabezpieczeniami, często stosując również metody socjotechniczne. Za przykład niech posłuży historia wirusa „Stuxnet”, który w 2010 roku zaatakował kilkanaście zakładów przemysłowych w Iranie, w tym zakład wzbogacania uranu. Kilkuetapowy mechanizm infekcji oraz zdolność do zaatakowania systemów PLC, w owym czasie czynił z niego bardzo wyrafinowanego wirusa. Okazało się, że nawet fizyczna izolacja systemu od sieci komputerowej, nie czyni go bezwzględnie bezpiecznym [20-21], gdyż złośliwy kod czaił się w oprogramowaniu, które było podpisane cyfrowym certyfikatem i nie wzbudzało podejrzeń podczas instalacji. Charakterystyczną cechą tego ataku był również cel: wirus nie niszczył żadnych danych w systemach komputerowych, a jego celem było uzyskanie dostępu do systemów sterowania maszyn i zakłócenie ich pracy. Do momentu wykrycia połączenia ze sterownikiem wirus pozostawał w ukryciu.

Część twórców złośliwego oprogramowania postanowiła potraktować swoją działalność jako sposób na łatwe i szybkie wzbogacenie się. Najmniej szkodliwym oprogramowaniem tego typu jest „FakeAV”, czyli aplikacja udająca skaner antywirusowy i raportująca zmasowaną infekcję systemu operacyjnego, którą można usunąć za niewielką opłatą poczynioną na rzecz autorów programu. W rzeczywistości system operacyjny nie jest zawirusowany, program „udaje” że oczyszcza dysk ze złośliwego oprogramowania – w tym przypadku jedyną stratą użytkownika są pieniądze. Innym, szczególnym typem wirusa jest tzw. „ransomware”. Jest to złośliwe oprogramowanie, którego celem jest zdobycie pieniędzy w zamian za wykonanie lub zaniechanie wykonania pewnej operacji. Poszczególne typy ransomware przedstawiono i opisano na Rysunku 2. Najprostszym typem oprogramowania szantażującego jest „leakware”, czyli oprogramowanie, które wykrada dane użytkownika i grozi ich upublicznieniem lub ujawnieniem ich odpowiednim organom państwa. Za zaniechanie tego działania jest żądana odpowiednia opłata. Najgroźniejsze w działaniu jest „crypto ransomware”, które nie tylko blokuje dostęp do komputera (jak „locker ransomware”), ale również szyfruje część lub całość zawartości dysku twardego, sobie tylko znanym kluczem, oferując możliwość odszyfrowania danych poprzez nabycie od autorów odpowiedniego klucza.



Rysunek 2. Podstawowe typy oprogramowania szantażującego [opracowanie własne]

Według producentów oprogramowania antywirusowego, w ostatnich latach notuje się wzmożoną aktywność wirusów szyfrujących [22, 23]. Olbrzymi zasięg infekcji takimi wirusami jak „Petya” czy „WannaCry” daje wyobrażenie o skali zjawiska i możliwościach wykorzystania luk w systemach komputerowych. Niepokojący jest fakt zakłócania pracy szpitali czy zakładów przemysłowych. Pod koniec czerwca 2017 roku, modyfikacja wirusa „Petya” została użyta do zmasowanego cyberataku, skierowanego głównie przeciwko Ukrainie. Mimo typowych cech „ransomware”, wirus nie dokonywał procesu deszyfracji. Ekspertki orzekli, że celem ataku było zniszczenie danych, nie zaś pozyskanie pieniędzy [24]. Należy również spodziewać się, że ten rodzaj cyberataków będzie coraz chętniej wykorzystywany, a to ze względu na możliwość „wynajęcia” złośliwego oprogramowania i wykorzystania go do złych celów („ransomware-as-a-service”) [23].

Działanie wirusa „Stuxnet” i powodzenie niedawnych cyberataków mogą stać się przyczyną częstszego uderzania w różnego rodzaju instytucje czy zakłady przemysłowe. Formby i in. [25] wskazują, że ofiarą ataków często padają szpitale i placówki służby zdrowia, głównie ze względu na słabe zabezpieczenia. Ich zdaniem ten przykład pokazuje stopień bagatelizowania współczesnych cyberzagrożeń, który wiąże się ze złą polityką ochrony systemów komputerowych. W opracowaniu przedyskutowano również kwestię bezpieczeństwa przemysłowych systemów sterowania wraz z omówieniem możliwego scenariusza ataku, przy czym jako istotny fakt wskazano, że tego typu zagrożenia są mierzalne co do wartości w postaci przestoju produkcji, zniszczenia majątku firmy, czy zagrożenia ludzkiego życia – stąd pojawia się większe prawdopo-

dobieństwo zapłacenia okupu, co może stanowić swego rodzaju zachętę dla cyberprzestępców. Również Nowicki w swoim opracowaniu [26] podaje kilka przykładów incydentów przełamania zabezpieczeń istotnych systemów komputerowych:

- zainfekowanie systemów komputerowych na międzynarodowej stacji kosmicznej ISS (2008),
- wspomniana inwazja wirusa Stuxnet (2010) i jego późniejsze wykrycie w jednej z rosyjskich elektrowni atomowych,
- cyberatak na jedną z niemieckich hut, w wyniku którego ucierpiał majątek zakładu – m.in. został poważnie uszkodzony wielki piec (2015),
- uszkodzenie rurociągu Baku/Azerbejdżan – Tiblisi/Gruzja – Ceyhan/Turcja, którego przyczyną było przeciążenie ciśnieniowe powstałe na skutek przejścia kontroli nad zdalnie sterowanymi zaworami przez osoby niepowołane (2008),
- infekcja komputerów należących do dystrybutorów energii elektrycznej we wschodniej Ukrainie, na skutek czego od ok. 200 tys. do nawet miliona odbiorców zostało pozbawionych prądu (2015),
- ataki cybernetyczne na przemysłowe systemy sterowania i instytucje finansowe w USA.

Powaga zjawiska ataków cybernetycznych jest nie do przecenienia, zarówno w skali masowego zagrożenia, jak i możliwości zamachu na życie grupy ludzi lub pojedynczych osób. W 2015 roku przeprowadzono eksperyment, który udowodnił istnienie możliwości zdalnego przejścia kontroli nad pojazdem. W doświadczeniu wziął udział dziennikarz, Andy Greenberg który prowadził Jeepa Cherokee oraz dwaj hakerzy, którzy zdalnie przejęli kontrolę nad samochodem, używając do tego celu sieci telefonii komórkowej [27]. Film stanowiący zapis przebiegu eksperymentu, został upubliczniony w serwisie „YouTube” i pokazuje jak dalece można zdalnie ingerować w elektroniczne systemy sterowania samochodem. Przejęcie kontroli nad hamulcami, skrzynią biegów, silnikiem i w końcu układem kierowniczym umożliwia użycie pojazdu na podobieństwo sterowanego radiowo auta-zabawki. Podobny eksperyment opisano w pracy [28], tym razem w odniesieniu do elektrycznego samochodu Renault Twizy. W tym przypadku dostęp do sterowników uzyskano przez podłączenie odpowiedniego modułu do złącza diagnostycznego, natomiast kontrolowanie zachowania się pojazdu umożliwiała aplikacja uruchomiona na systemie Android oraz – jako rozwiązanie alternatywne – interfejs sieci Web. Wynikami tych eksperymentów jest dyskusja nad wypracowaniem pewnych standardów cyberbezpieczeństwa w odniesieniu do współczesnych samochodów, której echa można odnaleźć w pracach [27] i [29]. Autorzy odnoszą się do tej kwestii zarówno od strony rozwoju systemów IT, jak i uregulowań prawnych. Istotne jest również odniesienie tych problemów do rozwoju rynku pojazdów autonomicznych.

Odnosząc się do poruszonych zagadnień cyberbezpieczeństwa, warto podkreślić że nie można ich sprowadzać jedynie do relacji człowiek-maszyna, w której to właśnie maszyna staje się zagrożeniem dla człowieka. Bardzo istotne są również relacje

społeczne, zachodzące pomiędzy ludźmi komunikującymi się przy użyciu urządzeń elektronicznych. Brak bezpośredniego kontaktu stwarza większe ryzyko poddania się manipulacji niż w przypadku dialogu twarzą w twarz. Odcięcie niewerbalnej części przekazu lub jej zdecydowane ograniczenie nie pozwala właściwie ocenić emocji lub intencji człowieka po drugiej stronie łącza. Prowadzi to do różnego rodzaju nadużyć, których celem jest wymuszenie na ofierze konkretnego działania. Może to być nakłonięcie do kliknięcia w łącze i zainstalowania złośliwego oprogramowania, podania danych osobowych czy wyłudzenie pieniędzy. Działalność przestępców ułatwia fakt, że Internet jest obecnie przesycony informacjami: nie ma możliwości by na bieżąco śledzić całą aktywność użytkowników. Stąd większość ekspertów od cyberbezpieczeństwa, główny nacisk kładzie na edukację, gdyż często właśnie człowiek i jego zachowanie okazuje się być najsłabszym ogniwem w systemie zabezpieczeń.

Podsumowując to krótkie omówienie tematyki cyberzagrożeń, należy stwierdzić że w tym przypadku groźna jest nie sama technologia, ale człowiek który wykorzystuje ją do złych celów. Z drugiej strony, przy obecnym nasyceniu wszystkich dziedzin życia urządzeniami elektronicznymi, połączonymi ze sobą globalną siecią komputerową, warto zdać sobie sprawę, że jedynie zdroworozsądkowe podejście do korzystania ze wszelkich nowości i udogodnień sprzętowych, pozwoli na ograniczenie ryzyka bycia zaatakowanym przez cyberprzestępców.

4. Nowe technologie jako impuls cywilizacyjnego rozwoju

Wdrażanie nowych technologii ma na celu przede wszystkim podniesienie jakości życia człowieka. Współcześnie, spory nacisk kładzie się na implementację nowych metod, związanych z pewnym poziomem wiedzy i inteligencji maszynowej oraz tworzenie systemów wymiany i analizy danych. Pociąga to za sobą rozwój urządzeń elektronicznych, a szczególnie podzespołów do przetwarzania i przechowywania danych (procesory, pamięć RAM, dyski twarde czy pamięci typu flash). Nowe kanały i metody komunikacji, pozwalają nie tylko na dialog człowieka z człowiekiem lub człowieka z maszyną, ale również na wymianę danych pomiędzy maszynami. Powstają nowe możliwości gromadzenia i przekazywania informacji, w których jedni widzą zagrożenie, inni szansę. Zagrożenia w tzw. cyberprzestrzeni omówiono dość szeroko w poprzednim punkcie, natomiast w dalszej części będą przedstawione wybrane segmenty technologiczne, które współcześnie są istotnymi aktywatorami rozwoju.

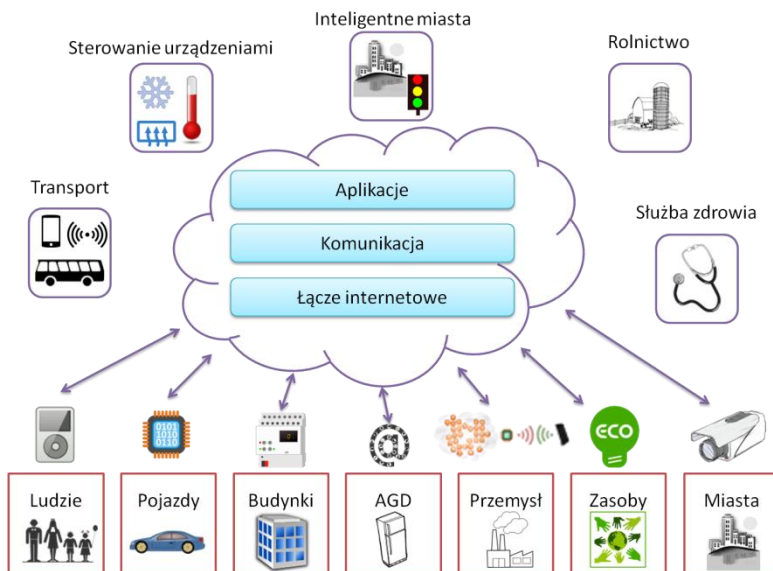
4.1. Internet Rzeczy

Początki sieci Internet sięgają lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Początkowo sieć była tworzona na potrzeby militarne, jednak pod koniec lat osiemdziesiątych XX w. Internet wszedł do sfery publicznej. Globalna sieć zaczęła ewoluować i zmieniać swoje oblicze. Nietrudno było przewidzieć, że nowy sposób komunikacji skróci dystans pomiędzy krajami czy kontynentami i wprowadzi jeszcze jedną nowość – nieskrępowany dostęp do informacji: świeżej, z pierwszej ręki, nieprzetworzonej przez agencje prasowe, radio czy telewizję. Szansę w rozwoju Internetu dostrzegli

również przedsiębiorcy, którzy – w zakresie swobody danej przez władze konkretnego kraju – zaczęli współpracować z odległymi kontrahentami.

Internet Rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT) jest to zjawisko zachodzące zarówno na poziomie społecznym jak i technologicznym. Nazwa nawiązuje do urządzeń lub maszyn, które są podłączone do globalnej sieci komputerowej, gromadzą informacje i wymieniają je między sobą. Rozwój tej technologii jest bez wątpienia związany z postępowaniem w zakresie miniaturyzacji urządzeń i łączności bezprzewodowej. W pracy [30] autorzy wyraźnie akcentują różnice pomiędzy typową komunikacją maszyna-maszyna a Internetem Rzeczy: kluczem jest wyjście poza system ograniczony do obszaru pomieszczenia czy zakładu i otwarcie się na globalną sieć, poprzez implementację odpowiednich protokołów komunikacyjnych.

Na Rysunku 3 przedstawiono obszar zastosowań Internetu Rzeczy. Warto zwrócić uwagę na fakt, że obsługa tak szerokiej gamy różnych urządzeń wymaga gromadzenia i przetwarzania informacji z różnych dziedzin, niejednokrotnie nie mających ze sobą wiele wspólnego. Konieczne jest zatem tworzenie interdyscyplinarnych zespołów specjalistów, wśród których zawsze powinni znaleźć się profesjonaliści z zakresu IT. Warto również wspomnieć, że w większości przypadków gromadzona jest olbrzymia ilość danych (tzw. zbiory Big Data), których analiza dostarcza nie tylko bieżących danych, niezbędnych do funkcjonowania pewnego obszaru, ale prowadzi również do uzyskania cennych wniosków, które mogą być przydatne w kolejnych etapach rozwoju danej dziedziny.



Rysunek 3. Idea Internetu Rzeczy i obszary jego zastosowania [opracowanie własne na podstawie 30]

Działania Internetu Rzeczy doświadczamy na co dzień. W kolejności zostanie podanych kilka przykładów zastosowania IoT, wraz z omówieniem płynących z tego korzyści.

4.1.1. Inteligentny sprzęt AGD i inteligentne domy

Współcześnie producenci sprzętu gospodarstwa domowego oferują szeroką gamę produktów, które można uznać za „inteligentne”. Dopóki mamy do czynienia z egzemplarzami działającymi niezależnie, można przypuszczać że maszynowa inteligencja, zaszyta w oprogramowaniu powinna umożliwić maksymalnie efektywne wykorzystanie możliwości urządzenia, przy jednoczesnym zaoszczędzeniu czasu, energii elektrycznej, wody itp. Zazwyczaj odpowiednie algorytmy określane są niewiele mówiącymi nazwami, które mają mieć wydźwięk marketingowy i wyróżniać się na tle konkurencji. Istnieje również możliwość zakupu różnego rodzaju sprzętu, którego sterowanie i programowanie odbywa się za pomocą smartfona lub tabletu z odpowiednią aplikacją. W ten sposób można zaprogramować automatyczny odkurzacz, kosiarkę, rolety, klimatyzację czy oświetlenie pozwalające na zmianę koloru światła.

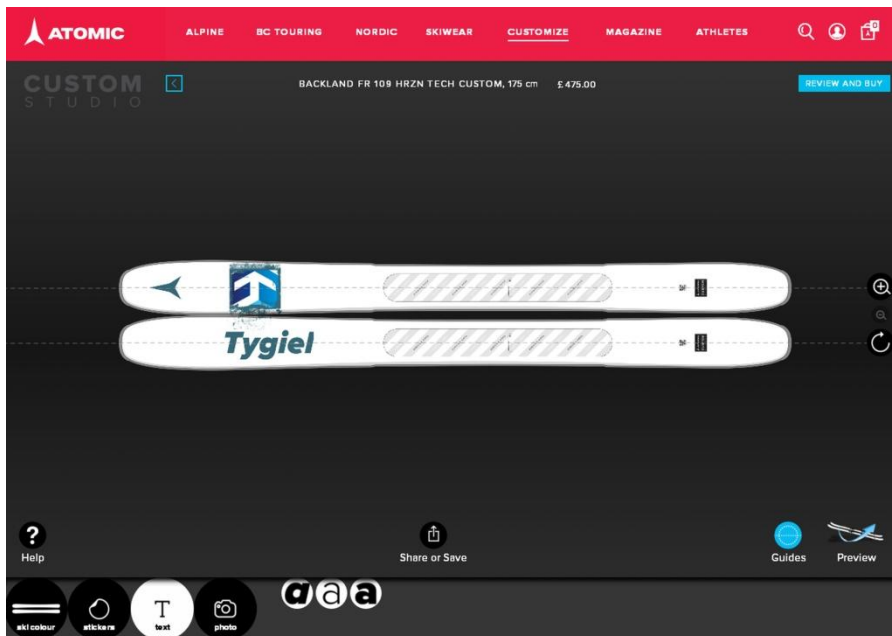
Implementacja Internetu Rzeczy, odnosząca się do inteligentnego domu, pozwala „spiąć” działanie wielu urządzeń w jedną strukturę. Poza oczywistym celem, czyli zdalną kontrolą i sterowaniem urządzeniami, zadaniem systemu sterowania jest „nauczenie się” preferencji domowników i dostosowanie pracy urządzeń do ich gustu. Identyfikując obecność konkretnego użytkownika, program może np. dobrać odpowiednią temperaturę w pomieszczeniu, poziom oświetlenia i jego temperaturę barwową. W podobny sposób może przebiegać sterowanie robotami sprzątającymi dom czy pielęgnującymi ogród – na przykład w porze obiadu, gdy domownicy gromadzą się w jadalni, robot sprzątający może zostać „oddelegowany” do posprzątania holu. Potencjał inteligentnych domów naukowcy upatrują szczególnie w możliwości poprawy komfortu życia osób starszych i niepełnosprawnych, poczynwszy od prostego monitorowania aktywności mieszkańców i dostosowywania się do ich preferencji, po wyspecjalizowane pomoce w postaci robotów towarzyszących, medycznych monitorów czynności organizmu czy sterowania urządzeniami AGD za pomocą mowy lub gestów [31-33].

4.1.2. Przemysłowy Internet Rzeczy (*Industrial Internet of Things*)

Przemysłowy Internet Rzeczy jest często rozpatrywany w powiązaniu z filozofią „Przemysłu 4.0”. Nazwa „Przemysł 4.0” odnosi się do czwartej rewolucji przemysłowej, jaką jest wprowadzenie do procesu produkcyjnego inteligentnych maszyn, posiadających duży stopień autonomii w podejmowaniu decyzji i tworzących tzw. inteligentne fabryki. Wdrażanie tej idei z jednej strony umożliwia zwiększenie elastyczności procesu produkcyjnego, indywidualne podejście do klienta poprzez proponowanie spersonalizowanych wyrobów, decentralizację i lepsze wykorzystanie zasobów, z drugiej zaś oznacza konieczność otwarcia się na technologie internetowe i użycie urządzeń takich jak smartfony, tablety, laptopy itp. [34]. To oczywiście wymaga wypracowania odpowiednich standardów zabezpieczeń, aby zminimalizować

ryzyko pozyskania poufnych informacji przez osoby nieuprawnione czy celowego zakłócenia procesu przemysłowego.

Od strony przedsiębiorstwa, wdrożenie Przemysłowego Internetu Rzeczy pozwala na szybsze reagowanie na sytuację rynkową, w tym zapotrzebowanie na produkt, ceny surowców i energii, tworzenie wirtualnych przedsiębiorstw czy użycie technologii „Cloud manufacturing” [35]. Z kolei od strony klienta istnieje możliwość otrzymania spersonalizowanego produktu, co może być dodatkowym atutem w ocenie konkurencyjności firmy na rynku (por. Rysunek 4).



Rysunek 4. Przykład personalizacji produktu – narty firmy Atomic z własnym motywem graficznym [źródło: Atomic Custom Studio, <https://customstudio.atomic.com>]

4.2. Zaawansowana robotyka

W niniejszym punkcie zostaną omówione specjalne typy robotów, zaprojektowanych z myślą o zastosowaniach cywilnych. W podrozdziale 4.1.1. wspomniano już o dwóch rodzajach takich maszyn: robotach sprzątających i wspomagających osoby starsze lub niepełnosprawne. W dalszym ciągu zostaną przedstawione dwa kolejne typy specjalizowanych robotów: autonomiczne samochody i roboty towarzyszące.

4.2.1. Autonomiczne samochody

Pojazdy autonomiczne należy traktować jako szczególny przypadek robotów mobilnych. Od tych ostatnich odróżnia je przede wszystkim środowisko, w jakim funkcjonują, jak również transportowany obiekt w postaci jednej osoby lub grupy osób.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa, systemy sterowania samochodów autonomicznych muszą uwzględniać wszystkie dane, pochodzące z otoczenia i wchodzić w interakcję z innymi użytkownikami drogi, w tym również pieszymi przecinającymi tor ruchu pojazdu. Trzeba także wziąć pod uwagę, że nie zawsze inny uczestnik ruchu zachowa się w sposób oczekiwany i zgodny z przepisami ruchu drogowego. Wszystkie te uwarunkowania wpływają na konieczność przetwarzania dużej ilości danych i tym samym większe zapotrzebowanie na moc obliczeniową. Obecne rozwiązania zakładają również wykorzystywanie łączы bezprzewodowych do wymiany danych z chmurą, obiektami stacjonarnymi (znaczniki RFID, mikrokontrolery, obiekty typu „smart dust”) oraz innymi pojazdami. W ten sposób pojazd autonomiczny staje się częścią Internetu Rzeczy [36]. Jak dotąd autonomiczne samochody znajdują się w fazie testów, zaś większość rozwiązań, takich jak rozpoznawanie znaków drogowych, asystent parkowania itp. jest implementowana do klasycznych pojazdów, które stanowią swoisty „poligon testowy” dla nowych technologii. Doniesienia prasowe wspominają o stosowaniu ograniczonej autonomii we współczesnych pojazdach, np. Mercedes klasy E ma możliwość korzystania w dużym stopniu z jazdy autonomicznej do 60 km/h, przy wspomaganii kierowcy nawet do 210 km/h [37]. W ubiegłym roku dokonano również udanej próby związanej z eksploatacją autonomicznych pojazdów ciężarowych. W teście wzięło udział kilku producentów ciężarówek: z trzech miejsc w Europie wysłano pojazdy do Rotterdamu. Samochody korzystały z trybu autonomicznego na autostradach i drogach szybkiego ruchu, w pozostałych przypadkach kierownicę przejmował człowiek [38].

W lipcu 2016 roku, Intel podpisał umowę z BMW o współpracy nad pojazdem autonomicznym nowej generacji. Celem jest wypracowanie branżowego standardu systemów jazdy autonomicznej i zaprezentowanie wyników prac i nowego pojazdu w roku 2021 [39]. Obecnie przeszkodą do wprowadzenia do ruchu drogowego pojazdów autonomicznych na większą skalę jest przede wszystkim brak uregulowań prawnych, dotyczących m.in. odpowiedzialności za szkody. W tej sytuacji trudno jest wyrokować, czy samochody autonomiczne wpłyną pozytywnie na ograniczenie liczby zdarzeń drogowych. Zwolennicy tej technologii upatrują jednak szansę w możliwości obsługi takich samochodów przez osoby nie posiadające prawa jazdy lub przez osoby niepełnosprawne, które przez to staną się bardziej niezależne od innych środków transportu.

4.2.2. Roboty społeczne

Robot społeczny to najczęściej robot mobilny, zaprojektowany w taki sposób, by mógł wejść w interakcję z użytkownikiem lub użytkownikami, używając do tego celu elektronicznych „zmysłów” w postaci różnego rodzaju czujników, ekranów dotykowych czy systemów rozpoznawania i generowania mowy. Pierwszym, godnym odnotowania przykładem jest Aibo – produkowany przez firmę „Sony” niewielki robot o wyglądzie przypominającym psa. Masahiro Fujita, jeden z ekspertów biorących udział w pracach nad prototypem Aibo, w publikacji [40] stwierdził że głównym celem było zbudowanie robota do celów rozrywkowych, takiego który swoimi możliwościami

ciami przyciągnąłby uwagę potencjalnego klienta. Wyraził również pogląd, że zupełnie nowy segment rynku robotów służących rozrywce jest możliwy do zrealizowania w niedalekiej przyszłości. Tymczasem, mimo że mija dwadzieścia lat od czasu prac nad prototypem Aibo, rynek robotów społecznych wciąż jest w fazie bardzo wczesnego rozwoju. Od czasu do czasu pojawiają się rozwiązania robotów towarzyszących, takie jak Buddy (Blue Frog Robotics), Miko (Emotix) czy Zenbo (Asus), których prezentacja często wygląda obiecująco, jednak trudno mówić o bieżącej sprzedaży i dobrej dostępności. Na rynku wciąż są dostępne interaktywne, zrobotyzowane zabawki, które są mniej lub bardziej udaną kontynuacją idei Aibo, jednak trudno postrzegać je w roli robotów towarzyszących czy opiekuńczych. Zagadnienie realizowania przez maszynę funkcji społecznych jest jednak częstym tematem wielu prac naukowych i warto przyrzeć się niektórym, wybranym aspektom.

W pracy [41] autorzy dyskutują nad możliwością wykorzystania robotów społecznych w terapii autyzmu u dzieci. Postawiona teza, że tego typu robot będzie dobrym narzędziem terapii, jest poparta między innymi następującymi argumentami:

- Pomoc we wczesnej diagnostyce autyzmu: robot poprzez wykonywanie ruchów, błyskanie kolorowymi światłami przyciąga uwagę dziecka, pomaga obserwować wodzenie wzrokiem za przedmiotem; ponadto powtarzalność ruchów i czynności jest jedną z cech robotów – obserwacja reakcji dziecka może być prowadzona przez dłuższy czas, bez zmęczenia „terapeuty”,
- Dzieci autystyczne często wybierają zabawę w izolacji – robot jest zabawką, a więc będzie łatwiejszy do zaakceptowania od żywej osoby,
- Robot i jego program może być dostosowany do potrzeb dziecka, szczególnie gdy występują problemy z akceptacją pewnych cech wyglądu terapeuty,
- Robot jest mniej skomplikowany od istoty ludzkiej, a więc komunikacja również jest prosta i pozbawiona kanału niewerbalnego, którego interpretacja może sprawiać dziecku problemy.

Pomimo trafnej argumentacji, pozwalającej zastanowić się nad przyszłością robotów społecznych jako narzędzi terapii, Borenstein i Pearson [42] zwracają uwagę na kwestię dłuższej interakcji dziecko-robot w kontekście wpływu na rozwój osobowy dziecka. Argumentują to m. in. faktem zaistnienia więzi pomiędzy dzieckiem i maszyną, która z kolei wyposażona jest w pewien rodzaj sztucznej „osobowości”.

Kolejny, ciekawy eksperyment przeprowadzili Odetti i in. [43]. Bazując na udokumentowanej naukowo metodzie terapii osób z demencją czy chorobą Alzheimera, która jest przeprowadzana z udziałem zwierząt, zaproponowali zastąpienie zwierzęcia zoomorficznym robotem. Argumentem przemawiającym za takim rozwiązaniem był fakt zakazu trzymania zwierząt w domach opieki, a ponadto przypuszczenie że oprócz stymulacji emocjonalnej można zrealizować stymulację kognitywną. Za robota testowego posłużył „pies” Aibo. Wyniki eksperymentu nie były jednak jednoznaczne, między innymi ze względu na fakt że niektórzy pacjenci nie rozumieli z czym mają do czynienia.

Warto również wspomnieć o jeszcze jednej ciekawej publikacji. Dautenhahn [44] rozpatruje zagadnienie dotyczące posiadania robota towarzyszącego, który jest „skrojony na miarę” – odpowiednio do potrzeb użytkownika. W swoich rozważaniach nawiązuje do procesu socjalizacji psów, stwierdzając że to właściciel odpowiada za dobór i wychowanie szczeniaka, wpojenie pewnych reguł, tak aby relacja człowiek-pies pozostawała niezakłócona. Na tej podstawie wysuwa postulat o potrzebie „socjalizacji” robota towarzyszącego. Zaproponowano aby przebiegała ona w trzech etapach: na poziomie programowania (baza wiedzy na temat interakcji człowieka i robota), uczenie w laboratorium oraz „socjalizacja” robota przez użytkownika w środowisku jego działania. W podobnym tonie wypowiada się również Lakatos [45], stwierdzając że model interakcji człowiek-pies będzie prostszy do implementacji w robotyce społecznej, a jednocześnie wystarczający do nawiązania relacji.

Podsumowując, robotyka społeczna wciąż nie osiągnęła znaczącego poziomu rozwoju i nie jest szeroko stosowana w codziennym życiu. Charakterystyczny dla tej dziedziny jest jednak powrót do kształtów humanoidalnych czy zoomorficznych, na podobieństwo wyobrażeń i konstrukcji z początku XX wieku. Można przypuszczać, że jednym z powodów takiego działania jest chęć zmiany bezosobowej relacji człowiek-maszyna w bardziej osobistą, ludzką formę.

5. Współczesne technologie a społeczne wyzwania

Dynamiczny rozwój współczesnego społeczeństwa skłania do stawiania sobie pytań o przyszłość, zarówno w kontekście korzystania z naturalnych zasobów Ziemi, jak i miejsca człowieka w społeczeństwie. Ten drugi problem wydaje się godny rozważenia w kontekście postępującej automatyzacji i zastępowania pracy ludzi maszynami czy systemami informatycznymi. W dalszej części zostaną omówione dwa istotne aspekty przemian społecznych w odniesieniu do relacji człowiek-maszyna.

5.1. Człowiek kontra maszyna – jak postęp techniczny, automatyzacja i robotyzacja wpływa na rynek pracy

Rynek pracy jest ściśle związany z postępowaniem technicznym. Bezpośrednim dowodem na to jest fakt zanikania pewnych zawodów. Nie trzeba sięgać do opracowań statystycznych czy naukowych, by zobaczyć jak na przestrzeni ostatnich trzech dekad zmieniła się liczba zakładów szewskich czy krawieckich w wielu miastach. Masowa produkcja odzieży i obuwia, wkroczenie wielkich firm na rynek, zakupy w sklepach wielkopowierzchniowych czy internetowych zmieniły poglądy klientów. Dostępność ubrań czy obuwia sprawia, że nie ma potrzeby ich naprawiania. Podobnie zmalała liczba punktów naprawy sprzętu RTV czy AGD, gdyż wiele urządzeń wyposażone w bardzo precyzyjne układy mechaniczne, jednocześnie stosując wielki stopień miniaturyzacji i scalenia w odniesieniu do układów elektronicznych. Naprawa takiego sprzętu – nie dość że trudna – często okazuje się być nieopłacalna. Do rzadkich profesji należy również zduństwo, a to ze względu na postęp technologiczny, jaki dokonał się w dziedzinie ogrzewania domów czy mieszkań.

Nad dyskusję o zanikających zawodach, wybija się głos dotyczący wpływu postępującej automatyzacji na kształtowanie się bezrobocia w społeczeństwie. Niewątpliwie, większość produkcji jest obecnie zautomatyzowana, a rola człowieka ogranicza się do nadzoru i kontroli maszyny. Mechanizacja a następnie automatyzacja zakładów przemysłowych miała na celu nie tylko zwiększenie wydajności produkcji, ale również uniezależnienie samego wytwarzania i jakości wyrobów od stanu fizycznego pracownika (samopoczucie, zmęczenie, praca w godzinach nocnych, konieczność zapewnienia przerw na posiłek czy potrzeby fizjologiczne itp.). Zastosowanie robotów zapewniło zwiększenie precyzji i powtarzalności czynności, odciażyło też pracowników od konieczności pracy w warunkach uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia. Wydawać by się mogło, że taki kierunek postępu w przemyśle jest ze wszech miar słuszny, jednak jest on kwestionowany przez samych pracowników, którzy obawiają się o swoje miejsca pracy. Podobne głosy podnoszą się w kwestii wprowadzenia autonomicznych pojazdów, w tym ciężarówek, gdyż praca kierowcy stanowi obecnie źródło utrzymania wielu osób.

Nie sposób tu przytoczyć wszystkich stanowisk, źródeł i analiz, gdyż zagrożenie bezrobociem spowodowanym przez maszyny jest nośnym tematem zarówno w dziedzinie mediów jak i nauki. Warto jednak wspomnieć, że poza alarmistycznymi w tonie opracowaniami zdarzają się głosy rozsądku, czy propozycje rozwiązania problemu. Andrew McAfee, w swoich wystąpieniach na konferencjach TED, zwrócił uwagę że owszem, automatyzacja i systemy informatyczne zabierają pracę ludziom, ale dzieje się to w sposób powolny, pozwalający na dyskusję i wypracowanie scenariuszy na przyszłość. Wskazał ponadto, że w kwestii dóbr materialnych siła wytwórcza i nabywczą są ze sobą silnie powiązane – innymi słowy ktoś musi kupować rzeczy wytwarzane przez maszyny, bo inaczej wytwarzanie nie ma sensu (roboty nie kupią wytworzonych przez siebie dóbr). Podkreślił również, jak ważnym dobrem jest dla człowieka możliwość pracy – zajęcia samego w sobie, nie tylko w kontekście zarabiania pieniędzy, dlatego też wyraził nadzieję, że społeczeństwo poradzi sobie z tym wyzwaniem, bardziej skupiając się na innowacyjności, wymyślaniu nowych rzeczy czy pomocy mniej rozwiniętym obszarom świata [46-47]. Inne, nieco utopijne podejście do rozwiązania problemu zaproponował Bill Gates, optując za wprowadzeniem podatku od automatyzacji [48]. Podobny wniosek był również postawiony na forum Parlamentu Europejskiego, na posiedzeniu poświęconemu omówieniu potrzeby stworzenia prawa dla robotów [49].

Automatyzacja, robotyzacja i powszechność systemów informatycznych ponownie wywołała dyskusję o przyszłości społeczeństwa, utrzymaną często w tonie, jaki prezentuje wspomniany już dramat Karela Čapka „R.U.R.”. Biorąc pod uwagę utopijne lub dystopijne scenariusze, nakreślane przez różnych ekspertów, naukowców i wizjonerów, należy przyjąć że problem przejmowania miejsc pracy przez maszyny jest jednym z większych wyzwań stojących przed współczesnym społeczeństwem.

5.2. Zagadnienia etyczne a decyzje podejmowane przez sztuczną inteligencję

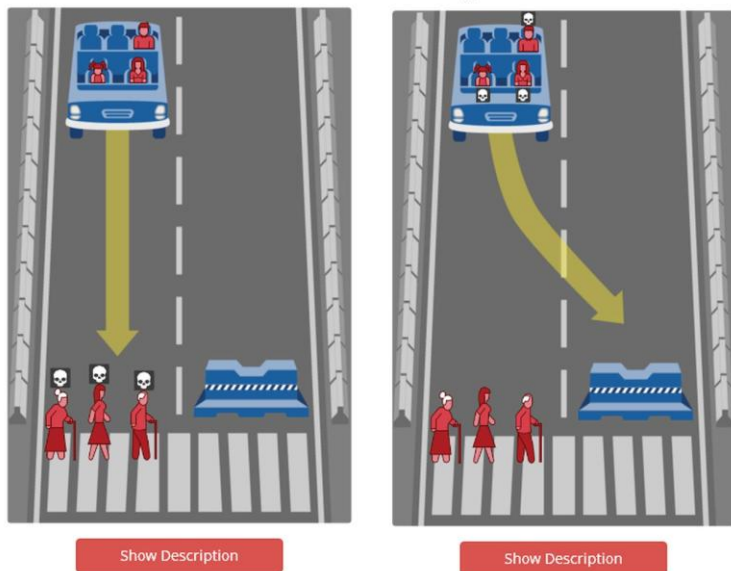
Dotychczas podstawowymi regułami funkcjonowania automatycznych systemów sterowania maszyn były zdefiniowane przez Asimova prawa robotyki. Mówiąc najogólniej, dobro człowieka – w tym jego życie i zdrowie – jest najwyższym priorytetem, a robot przez swoje działanie lub zaniechanie działania nie może dopuścić by człowiekowi stała się krzywda. Okoliczności zmieniły się diametralnie, gdy na drogi wyjechały pierwsze autonomiczne samochody. Można sobie wyobrazić sytuację, w której na drodze nagle pojawia się człowiek (np. dziecko, które wtargnęło na jezdnię za piłką), a samochód nie ma szans uniknięcia kolizji czy to z pieszym, czy z inną przeszkodą (np. zaparkowanym pojazdem). System sterowania ma więc do wyboru dwie możliwości: kolizja z pieszym (i ochrona pasażera) lub kolizja z przeszkodą (i ochrona pieszego). Jak widać, każde z działań doprowadzi do poszkodowania człowieka: w pierwszym przypadku ucierpi pieszy, w drugim pasażer. Można również założyć trzeci scenariusz, w którym komputer będzie traktował obie strony solidarnie, starając się zminimalizować szkody, ale nadal ludzie nie wyjdą z tej sytuacji bez szwanku. W tej dyskusji szeroko cytowano wypowiedź przedstawiciela firmy Mercedes-Benz, który oświadczył że priorytetem w takich sytuacjach będzie ochrona pasażerów autonomicznego samochodu. Firma przesłała później oświadczenie, w którym stwierdziła że słowa zostały opacznie zrozumiane i zacytowane oraz że „ani programista ani automatyczny system nie ma prawa decydować o wartości ludzkiego życia” [50].

Postawiony jest rozwinięciem znanego z etyki „dylematu wagonika”, opisanego obszernie w [51]. W tym myślowym eksperymencie, osoba podejmująca decyzję ma możliwość przestawienia zwrotnicy, tak aby wagonik pojechał jednym z torów, na których znajdują się ludzie. Czy zatem wybrać tor na którym znajduje się jedna osoba, czy też inny na którym znajduje się kilka osób? A jeśli tych kilka osób jest złoźcynami? To tylko wybrane dylematy, przed którymi stoi osoba przedstawiająca zwrotnicę. Problemem jest nie tylko wartościowanie czy minimalizowanie strat, ale przede wszystkim odpowiedź na pytanie czy ludzkie życie powinno podlegać takim rozważaniom.

Przedstawiony problem stał się przedmiotem badań naukowych, których przykładem jest opracowanie [52] oraz funkcjonująca w domenie Massachusetts Institute of Technology strona „Moral Machine” (por. Rysunek 5). W przypadku „Moral Machine”, użytkownik ma do czynienia z różnymi, generowanymi przez komputer scenariuszami zachowania się samochodu autonomicznego. Każda para obrazków przedstawia dwa możliwe rozwiązania tej samej sytuacji, przy czym do dyspozycji są przyciski „Show Description”, dzięki którym można uzyskać dokładny opis każdego z przedstawionych rozwiązań. Jedna seria składa się z kilkunastu sytuacji, po których następuje krótkie podsumowanie wyborów użytkownika. Dane mogą być gromadzone przez system i wykorzystane w dalszych badaniach nad maszynową inteligencją i wyborami, których musi ona dokonać.

W przypadku opisanych badań, pojawiają się dodatkowe problemy etyczne. Po pierwsze należy przypuszczać, że odpowiedzi użytkowników nie zawsze będą zgodne z ich zachowaniem w momencie zaistnienia prezentowanej sytuacji w rzeczywistości, nie można również wykluczyć aktów celowego zaburzania wyników testu. Drugi problem dotyczy wykorzystania zgromadzonych danych na etapie implementacji algorytmów w systemie sterowania pojazdem – pojawia się tu kwestia rozstrzygnięcia o życiu lub śmierci uczestników zdarzenia drogowego i wzięcia odpowiedzialności za taką a nie inną interpretację, która będzie częścią bazy wiedzy.

What should the self-driving car do?



Rysunek 5. Przykładowa sytuacja drogową z dwoma możliwymi scenariuszami. Ekran z serwisu „Moral Machine” [źródło: Moral Machine, <http://moralmachine.mit.edu/>]

Opisany na przykładzie autonomicznego samochodu problem maszynowego rozstrzygnięcia zagadnień etycznych, należy do jednych istotniejszych wyzwań postępu technologicznego, z którym inżynierowie będą mierzyć się już w niedalekiej przyszłości. To zagadnienie pokazuje, jak istotne jest poczynienie niezbędnych zmian w prawie i wprowadzenie nowych uregulowań, związanych w relacją człowiek-maszyna.

6. Podsumowanie

Na tle postępu technicznego i cywilizacyjnego coraz bardziej widoczna jest relacja pomiędzy człowiekiem a maszyną. Współczesny świat staje przed nowymi problemami, które są bezprecedensowe pod względem kulturowym, prawnym i etycznym. Celem niniejszego opracowania było zasygnalizowanie problemów, jakie niesie coraz większy udział automatycznie sterowanych maszyn i systemów komputerowych w życiu przeciętnego człowieka – problemów ujętych w kontekście zagrożeń wynika-

jących ze niewłaściwego użycia danej technologii (np. cyberzagrożenia), szans rozumianych jako poprawa komfortu życia oraz wyzwań, zarówno natury etycznej (w kontekście decyzji podejmowanych przez sztuczną inteligencję), jak i społecznej. Przedstawione w opracowaniu przykłady, dotyczyły głównie postępu technicznego, lecz należy zauważyć że nie da się żadnej dziedziny techniki rozpatrywać w oderwaniu od jej oddziaływania społecznego. Dowodzi tego cytowana literatura, pochodząca z różnych źródeł naukowych, literatury czy doniesień medialnych. Można zatem stwierdzić, że zarówno sprawcą jak i odbiorcą postępu technicznego jest człowiek i tylko od niego zależy czy postęp będzie służył człowiekowi czy też człowiek stanie się niewolnikiem postępu.

Literatura

1. Arystoteles *Polityka*, (tłum. L. Piotrowicz). [w:] Tegoż *Dzieła* wszystkie, t.I (2003), Warszawa.
2. Čapek K. *R.U.R.*, e-book, online: <https://web2.mlp.cz/koweb/00/03/34/75/81/rur.pdf>, dostęp 2 lipca 2017.
3. Asimov I. *I, Robot*, Doubleday & Company, New York (1950).
4. Clarke R. *Asimov's laws of robotics: implications for information technology-Part I*, Computer (Long. Beach. Calif), 26(12) (1993), s. 53-61.
5. Anderson S.L. *Asimov's "three laws of robotics" and machine metaethics*, AI & Society, 22(4) (2008), s. 477-93.
6. Boden M., Bryson J., Caldwell D., Dautenhahn K., Edwards L., Kember S., Newman P., Parry V., Pegman G., Rodden T., Sorrell T., Wallis M., Whitby B., Winfield A. *Principles of robotics: regulating robots in the real world*, Connection Science, 29(2) (2017) s. 124-129.
7. Iosa M., Morone G., Cherubini A., Paolucci S. *The Three Laws of Neurorobotics: A Review on What Neurorehabilitation Robots Should Do for Patients and Clinicians*, Journal of Medical and Biological Engineering, 36(1) (2016).
8. Fracaroli Nunes M., Lee Park C. *Caught red-handed: the cost of the Volkswagen Dieselgate*, Journal of Global Responsibility, 7(2) (2016), s.288-302.
9. Bovens L. *The Ethics of Dieselgate*, Midwest Studies In Philosophy, 40 (1) (2016) s. 262-283.
10. *Samsung Finally Reveals Why the Galaxy Note 7 Kept Exploding*, online: <https://www.wired.com/2017/01/why-the-samsung-galaxy-note-7-kept-exploding/>, dostęp 2 lipca 2017.
11. *Samsung Explains Note 7 Battery Explosions, And Turns Crisis Into Opportunity*, online: <https://www.forbes.com/sites/maribellopez/2017/01/22/samsung-reveals-cause-of-note-7-issue-turns-crisis-into-opportunity/>, dostęp 2 lipca 2017.
12. Kim Y., Kim M., Kim W., *Effect of the Fukushima nuclear disaster on global public acceptance of nuclear energy*, Energy Policy 61 (2013), s. 822-828.
13. Mankowski P.J., Kanevsky J., Bakirtzian P., Cugno S., *Cellular phone collateral damage: A review of burns associated with lithium battery powered mobile devices*, Burns 42(4) (2016) s. e61-e64.
14. Metzger T. *Blood and volts : Edison, Tesla, and the electric chair*, Autonomedia, 1996.
15. Holodny E, *Thomas Edison secretly financed the first electric chair to destroy his rival*, Business Insider, 9, online: <http://businessinsider.com/edison-financed-the-electric-chair-2014-7>, dostęp 12 lipca 2017.

16. Klein M. *The Power Makers: Steam, Electricity, and the Men Who Invented Modern America*, Bloomsbury Publishing USA (2010).
17. Alleman J.E., Mossman B.T. *Asbestos revisited*, *Scientific American*, 277 (1) (1997), s. 54-57.
18. Dz. U. 1997 nr 101 poz. 628.
19. Hodgson J. T., Darnton A. *The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure*, *The Annals of Occupational Hygiene*, 44 (8) (2000), s. 565-601.
20. *The Real Story of Stuxnet - IEEE Spectrum*, online: <http://spectrum.ieee.org/telecom/security/the-real-story-of-stuxnet>, dostęp 12 lipca 2017.
21. Trautman L. J., Ormerod P. C. *Industrial Cyber Vulnerabilities: Lessons from Stuxnet and the Internet of Things*, (2017), online: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2982629, dostęp 12 lipca 2017.
22. *4 Unlikely Ways to Stop The Ransomware Explosion*, online: <https://safeandsavvy.f-secure.com/2017/04/25/4-unlikely-ways-to-stop-the-ransomware-explosion/>, dostęp 21 lipca 2017.
23. *McAfee Labs Threat Report, December 2016*, online: <https://www.mcafee.com/hk/resources/reports/rp-quarterly-threats-dec-2016.pdf>, dostęp 21 lipca 2017.
24. *Cyber-attack was about data and not money, say experts*, BBC News. 29 czerwca 2017, online: <http://www.bbc.com/news/technology-40442578>, dostęp 30 czerwca 2017.
25. Formby D., Durbha S., Beyah R. *Out of control: Ransomware for industrial control systems*, (2017), online: <http://www.cap.gatech.edu/plcransomware.pdf>, dostęp 21 lipca 2017
26. Nowicki R. *Problemy bezpieczeństwa cybernetycznego w zakresie stosowania systemów nadzoru stanu technicznego majątku produkcyjnego*. *Napędy i Sterowanie*, 18 (7/8) (2016), s.106-116.
27. Schellekens M. *Car hacking: Navigating the regulatory landscape*, *Computer Law & Security Review*, 32(2) (2016), s. 307–315.
28. Jafarnejad S., Codeca L., Bronzi W., Frank R., Engel T. *A Car Hacking Experiment: When Connectivity Meets Vulnerability*, 2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (2015), s. 1-6.
29. Ring T. *Connected cars – the next target for hackers*. *Network Security*, (11) (2015), s. 11-16.
30. Höller J., Tsiatsis V., Mulligan C., Karnouskos S., Avesand S., Boyle D., *M2M to IoT – The Vision*. In *From Machine-To-Machine to the Internet of Things*, [w:] *From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence 1st Edition*, Academic Press (2014) s. 9-37
31. Chan M., Hariton C., Ringear P., Campo E. *Smart house automation system for the elderly and the disabled*, [w:] *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century*, Vol. 2 (1995), s. 1586-1589
32. Stefanov D. H., Bien Z., Bang W.-C., *The Smart House for Older Persons and Persons With Physical Disabilities: Structure, Technology Arrangements, and Perspectives*, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 12(2) (2004), s. 228-250.
33. Das R., Kayapınar M., Netas Y. *A Survey on the Internet of Things Solutions for the Elderly and Disabled: Applications, Prospects, and Challenges*, *International Journal of Computer Networks and Applications*, 4(3) (2017), s. 84-92.
34. Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann, M. *Industry 4.0*, *Business & Information Systems Engineering*, 6(4) (2014), s. 239-242.
35. Shrouf F., Ordieres J., Miragliotta G. *Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm*, [w:] *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, (2014), s. 697-701.

36. Gerla M., Lee E.-K., Pau G., Lee U. *Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds*, [w:] 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), (2014), s. 241-246.
37. Burchard P., *Samochody Autonomiczne – czy taka będzie przyszłość aut?* online: <http://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/samochody-autonomiczne-czy-taka-bedzie-przyszlosc-aut/vt7xl6>, dostęp 12 lipca 2017.
38. *Autonomiczne ciężarówki zrewolucjonizują transport?* online: <http://www.polskieradio.pl/42/5107/Artykul/1629609,Autonomiczne-ciezarowki-zrewolucjonizuja-transport>, dostęp 12 lipca 2017.
39. *Firma Intel toruje drogę samochodom autonomicznym BMW iNEXT, które mają trafić na rynek w 2021 roku*, online: <https://www.intel.pl/content/www/pl/pl/it-managers/autonomous-cars.html>, dostęp 12 lipca 2017.
40. Fujita M., Kitano H. *Development of an Autonomous Quadruped Robot for Robot Entertainment*, *Autonomous Robots*, 5 (1998), s. 7-18.
41. Cabibihan J.-J., Javed H., Ang M., Aljunied S. M. *Why Robots? A Survey on the Roles and Benefits of Social Robots in the Therapy of Children with Autism*, *International Journal of Social Robotics*, 5(4) (2013), s. 593-618.
42. Borenstein J., Pearson Y. *Companion Robots and the Emotional Development of Children*, *Law, Innovation and Technology*, 5(2) (2013), s. 172-189.
43. Odetti L., Anerdi G., Barbieri M. P., Mazzei D., Rizza E., Dario P., Rodriguez G., Micera S. *Preliminary experiments on the acceptability of animaloid companion robots by older people with early dementia*, [w:] 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, (2007), s. 1816-1819.
44. Dautenhahn K. *Robots we like to live with?! - a developmental perspective on a personalized, life-long robot companion*, [w:] RO-MAN 2004, 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (2004) s. 17-22.
45. Lakatos G. *Dogs as Behavior Models for Companion Robots: How can Human-Dog Interactions Assist Social Robotics?*, *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, wersja przygotowana do publikacji, DOI: 10.1109/TCDS.2016.2552244
46. McAfee A. *What will future jobs look like?* Online: https://www.ted.com/talks/andrew_mcafee_what_will_future_jobs_look_like/transcript, dostęp 12 lipca 2017.
47. McAfee A. *Are droids taking our jobs?* Online: https://www.ted.com/talks/andrew_mcafee_are_droids_taking_our_jobs/transcript, dostęp 12 lipca 2017.
48. *The robot that takes your job should pay taxes, says Bill Gates*, online: <https://qz.com/911968/bill-gates-the-robot-that-takes-your-job-should-pay-taxes/>, dostęp 12 lipca 2017.
49. *Powstanie prawo dla robotów w UE? Parlament Europejski robi kolejny krok*, online: <http://di.com.pl/powstanie-prawo-dla-robotow-w-ue-parlament-europejski-robi-kolejny-krok-56537>, dostęp 12 lipca 2017
50. *Mercedes-Benz's Self-Driving Cars Would Choose Passenger Lives Over Bystanders*, online: <http://fortune.com/2016/10/15/mercedes-self-driving-car-ethics/>, dostęp 12 lipca 2017.
51. Miller G. *The Roots of Morality*, *Science*, 320(5877) (2008), s. 734-737.

52. Bonnefon J.-F., Shariff A., Rahwan I. *Autonomous Vehicles Need Experimental Ethics: Are We Ready for Utilitarian Cars?* (2015), Online: <https://arxiv.org/pdf/1510.03346v1.pdf>, dostęp 12 lipca 2017.

Człowiek i maszyna – szanse, zagrożenia i wyzwania w kontekście współczesnych technologii

Streszczenie

Trudno wyobrazić sobie współczesny świat bez wszystkich osiągnięć techniki, szczególnie tych będących wynikiem cywilizacyjnego postępu ostatnich lat. Trend rozwoju technologii odchodzi od modelu maszyny jako wyłącznie narzędzia do realizacji określonych celów, ale stawia na relację pomiędzy człowiekiem i maszyną. Takie podejście, poza korzyściami w postaci poprawy standardu życia czy ułatwień w pracy, niesie ze sobą również zagrożenia i wyzwania. Celem niniejszego opracowania jest dokonanie możliwie obiektywnej oceny współczesnych technologii w odniesieniu do ich wpływu na kształt współczesnego społeczeństwa

Słowa kluczowe: technologie informacyjne, robotyka, sztuczna inteligencja, Internet Rzeczy

Man and machine – chances, threats and challenges in the context of modern technologies

Abstract

It is difficult to imagine the modern world without all the technological advances, especially without the ones being a result of the civilization advance of recent years. The trend of technology development is to abandon regarding the machine as a tool for accomplishing specific goals, but it is about relation between man and machine. Such approach, besides the benefits, like improving the standard of living or making the work easier, also carries risks and challenges. The purpose of this paper is to make the objective assessment of modern technologies in relation to their impact on the contemporary society.

Keywords: information technology, robotics, artificial intelligence, Internet of Things

Czy samochód „autonomiczny” to samochód „bezpieczny”?

1. Wstęp

Rozwój nowoczesnych technologii, takich jak elektronika, automatyka, robotyka i informatyka, radykalnie zmienia otaczający nas świat. Wiele obszarów życia na przestrzeni dziesięcioleci całkowicie zmieniło swoje oblicze. Najlepszym przykładem jest tutaj transport. W ciągu 130 lat samochód przeobraził się z „zabawki” dla żądnych wrażeń przedstawicieli wyższych sfer w urządzenie, bez którego nie wyobrażamy sobie codziennego funkcjonowania. Praktycznie bez większego problemu możemy już teraz przemieścić się lub jakiś ładunek do dowolnego punktu na naszym globie w stosunkowo krótkim czasie, przy zachowaniu bezpieczeństwa i komfortu podróżowania. Jednak, czy taki stan rzeczy w pełni nas zadowala? Czy nie oczekujemy czegoś więcej?

Nasz styl życia, dążenie do załatwienia w jak najkrótszym czasie, jak największej ilości spraw, możliwość zachowania ciągłości komunikacji z innymi, wymusza na producentach pojazdów (i nie tylko) poszukiwania rozwiązań, które pozwolą zaspokoić nasze potrzeby i oczekiwania. A są one bardzo wysokie.

Przez ponad sto lat firmy motoryzacyjne opracowywały pojazdy coraz bardziej zaawansowane technologicznie, coraz bardziej ekologiczne, a co najważniejsze bezpieczniejsze i tańsze. Jednak dzisiejsza motoryzacja posiada wciąż pewne niedoskonałości, które staramy się przewyżczać stosując w pojazdach najnowsze rozwiązania z dziedziny elektroniki, automatyki, informatyki i komunikacji. Dzięki tym technologiom udało się w ostatnich latach wprowadzić w życie rewolucyjny pomysł samochodu autonomicznego (ang. autonomous vehicle, AV, „self-driving” car).

Chociaż pomysł samochodu „bez kierowcy” jest obecny w motoryzacji od bardzo dawna, to jednak najpierw ograniczone możliwości technologiczne, a później wygórowane koszty blokowały jego wprowadzenie w życie [1]. Jednakże widać, że w ostatnich latach przemysł motoryzacyjny poczynił znaczne postępy w skomputeryzowaniu tego, co do tej pory było wyłącznie ludzką domeną – kierowanie pojazdem. Nowe samochody w coraz większym stopniu oferują takie funkcje, jak adaptacyjne sterowanie tempomatem i systemy wspomagania parkowania, które pozwalają samochodom samodzielnie lub prawie samodzielnie precyzyjnie ustawiać pojazd na miejscu parkingowym. Niektóre firmy, widząc potencjalne korzyści, wyłożyły znaczne środki finansowe i przyspieszyły badania w tym obszarze, co w efekcie dało kilka udanych prototypów pojazdów, które mogą poruszać się po autostradach i ulicach miast niemalże bez bezpośredniego udziału człowieka [2].

¹ tomasz.widerski@p.lodz.pl, Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Politechnika Łódzka, www.dsod.pl

Pojazdy autonomiczne mogą radykalnie zmienić postrzeganie całego transportu jako takiego. Producenci prototypów, które są już testowane w wielu zakątkach świata, wskazują jednoznacznie na korzyści jakie przyniesie nam powszechne użytkowanie tego typu samochodów [3]. Radykalne ograniczenie kolizji i wypadków drogowych, zapewnienie mobilności osobom starszym i niepełnosprawnym, większe udrożnienie ruchu drogowego, oszczędności zużycia paliwa i ograniczenie emisji substancji szkodliwych – to tylko najważniejsze z obszarów, w jakich należy upatrywać pozytywnych skutków korzystania z pojazdów autonomicznych [1]. Dodatkowo należy jeszcze zauważyć, że pojazdy te również pozwalają na szerokie wprowadzenie usług transportowych „na żądanie”, a przez to bardziej ekonomiczne i ekologiczne wykorzystanie prywatnych samochodów. Wpłyne to oczywiście w dalszej perspektywie na infrastrukturę drogową, zapotrzebowanie na parkingi, mobilność społeczeństwa, postrzeganie podróży, transport samochodowy, logistykę i inne [4].

Pomimo dużego zainteresowania pojazdami autonomicznymi, ich gwałtowny rozwój i dostępność na rynku nie jest sprawą oczywistą. Oprócz wyzwań związanych z zaawansowaną technologią, należy mieć na uwadze również wysokie koszty produkcji masowej oraz przekonanie użytkowników do celowości zakupu tego typu pojazdów. Ponadto gdzieś na marginesie problemów technicznych i ekonomicznych, aczkolwiek nie mniej istotne, pozostają kwestie dotyczące prawodawstwa, zwłaszcza związanego z ubezpieczeniami i licencjonowaniem, odpowiedzialności cywilnej, zachowania prywatności, szeroko rozumianego bezpieczeństwa (zwłaszcza cyberbezpieczeństwa) i norm etycznych [1, 2, 4]. Pomimo tej listy pytań i wątpliwości wydaje się, że jednak korzyści, jakie dają pojazdy autonomiczne przewyższają ich wady i problemy jakie mogą przynieść.

Wysiłki włożone przez różne firmy, mniej lub bardziej związane z motoryzacją, w opracowanie udanego samochodu autonomicznego, spowodowały, że co raz częściej mówi się o perspektywie lat 2020-2025 jako okresie, w którym pojawią się w pełni użytkowe modele dostępne komercyjnie [1, 5]. Co więcej, niektórzy eksperci przewidują, że w połowie XXI w. pojazdy autonomiczne będą stanowiły 40-60% wszystkich sprzedanych i użytkowanych pojazdów [6]. Stąd pewne zaniepokojenie i pośpiech wśród ciał ustawodawczych oraz decyzyjnych związane z ustaleniem norm prawnych dotyczących wszelkich aspektów użytkowania pojazdów typu „self-driving”. Jak widać, bardzo istotną sprawą jest zrozumienie i przygotowanie się do wyzwań związanych z nadchodzącą „rewolucją” transportową.

Jak już wspomniano wcześniej powszechne użytkowanie pojazdów autonomicznych może przynieść wiele pozytywnych, jak np. podwyższenie bezpieczeństwa ruchu drogowego, obniżenie kosztów transportu, czy znaczne podwyższenie czynnika ekologicznego ruchu samochodowego. Dodatkowo podkreśla się też zaspokojenie potrzeb starzejącej się populacji w krajach rozwiniętych, a zwłaszcza poprawę mobilności osób niepełnosprawnych i starszych, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów transportu medycznego. Szacuje się, że bezpośredni zysk społeczno-socjalny, powstały w wyniku powszechnego dostępu technologii samochodów autonomicznych, będzie wynosić od 0,2 do 1,9 biliona dolarów rocznie do roku 2025 [2, 5]. Takie dane

przemawiają wprost za zwiększonym wysiłkiem nad pracami mającymi na celu powszechny dostęp do tanich i bezpiecznych pojazdów typu „self-driving”.

Biorąc powyższe pod uwagę, rozważając technologię pojazdów autonomicznych należy mieć na uwadze bardzo szeroko pojętą interdyscyplinarność problemu. Dotyka on, bezpośrednio lub pośrednio, takich dziedzin jak: transport, elektronika, komunikacja i łączność, technologia informacyjna, oprogramowanie i sprzęt komputerowy, logistyka, prawo, a nawet etyka i filozofia [2]. Należy tu podkreślić bardzo istotną rolę łączności i przetwarzania danych, gdyż przestrzeń w jakiej będą funkcjonować pojazdy AV wymaga niewyobrażalnej ilości danych, jaka będzie przesyłana pomiędzy poszczególnymi elementami całego systemu komunikacyjnego [7]. Widać z tego wyraźnie, że dotychczasowe podejście do pojazdu jako takiego musi ulec zmianie i należy jego funkcjonalność rozpatrywać w znacznie szerszym kontekście niż dotychczas [8]. Nie oznacza to, że przeciętny użytkownik musi sam zastanawiać się nad wszelkimi aspektami związanymi z samochodami autonomicznymi. Wręcz przeciwnie. Sama idea takich pojazdów wskazuje, że właściciele, czy osoby korzystające z nich w danym momencie, podejmują jedynie decyzję o celu podróży, a cała reszta zostaje scedowana na inne czynniki. I tu rodzi się pytanie, czy wsiadając do samochodu autonomicznego możemy mieć pewność, że przemieścimy się bezpiecznie z punktu A do punktu B? Wsiadając do taksówki, czy autobusu, domyślnie w pełni ufamy kierowcy, jego doświadczeniu, znajomości przepisów drogowych, umiejętności podejmowania decyzji w trudnych sytuacjach i w końcu znajomości topografii terenu w jakim się porusza. Czy można myśleć tak samo wsiadając do samochodu „self-driving”? Czy ta maszyna będzie bardziej „godna zaufania”, niż kierowca, który jednego dnia jest w doskonałej kondycji psychofizycznej, a innego ma tzw. gorszy dzień? Czy właściciel może traktować taki samochód jeszcze jako swoją własność, skoro ma bardzo ograniczone możliwości decydowania o tym, jak on jedzie? I w końcu, czy komputery, które sterują działaniem „mojego” samochodu, będą realizowały tylko moją wolę, czy może ktoś nieuprawniony będzie miał wpływ na ich pracę i pośrednio również na moje życie?

Jak widać pytań można postawić wiele i trudno znaleźć na nie odpowiedź. Dodatkowo, są to pytania w większości skierowane nie do użytkowników samochodów, ale do ustawodawców i ośrodków decydujących o regulacjach prawnych i przepisach. Wydaje się, że sprawy techniczne w aspekcie pojazdów autonomicznych schodzą na plan dalszy, gdyż w większości wypadków są one tematem prac badawczych od dłuższego czasu i w mniejszym lub większym stopniu, zostały już opracowane. Dużo ważniejszym problemem na dziś jest stworzenie i unormowanie całego systemu transportu, w którym coraz większą rolę będą odgrywały samochody „self-driving”.

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie m.in. najważniejszych problemów w obszarze transportu i ruchu drogowego, z jakimi przyjdzie się nam zmierzyć w niedługim czasie. Logistyka i transport drogowy, bezpieczeństwo ruchu drogowego, zużycie paliwa i emisja zanieczyszczeń, opłaty drogowe i zapotrzebowanie na parkingi, a nawet planowanie użytkowania gruntów i cyberprzestępczość – to tylko najważniejsze dziedziny, w których już teraz trzeba uwzględniać regulacje prawne, aby

za kilka, czy kilkanaście lat na drogach nie zapanował chaos. Będą one szerzej omówione w kolejnych rozdziałach. Ponadto podjęte zostaną tematy związane bezpośrednio z aspektami technicznymi funkcjonowania pojazdów autonomicznych, jak poziomy automatyzacji pojazdów i podstawy działania, technologia monitorowania przestrzeni na drodze, komunikacja i łączność mobilna, planowanie tras przejazdów, itp. Przedstawione zostaną także wady i zalety szerokiego wprowadzenia technologii pojazdów autonomicznych w życie, zarówno w obszarach bezpośrednio związanych z ruchem drogowym, jak i w szerokim aspekcie społecznym. Zaprezentowany zostanie również potencjalny wpływ użytkowania samochodów AV w okresie krótko- i długoterminowym.

2. Samochód autonomiczny – krótka historia pomysłu

2.1. Początki

Pojazdy autonomiczne prezentowane są dzisiaj jako najnowocześniejsze produkty przemysłu motoryzacyjnego. Aż trudno uwierzyć, że pierwsze pomysły samochodów „bez kierowcy” sięgają lat 20. i 30. XX w. [9]. Stan ówczesnej techniki motoryzacyjnej nie pozwalał, na wdrożenie ich w życie, jednakże sama idea pozostała i zaprzętała głowę inżynierów przez całe dziesięciolecia. W latach 50. ubiegłego wieku dało się zauważyć, że firmy samochodowe próbują sprawdzać, czy koncepcja „self-driving car” jest realna. Sprowadzało się to do pierwszych, niezbyt udanych prób automatycznych systemów sterowania pojazdem oraz ruchem na autostradach [9]. Dopiero w latach 80., dzięki rozwojowi technik komputerowych i mikroprocesorowych, udało się rozpocząć zaawansowane badania nad pojazdami autonomicznymi i zautomatyzowanymi systemami kontroli ruchu na autostradach [2, 9, 10]. Od tego momentu można mówić o rozwoju pojazdów półautomatycznych i autonomicznych. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że badania te były prowadzone głównie w Niemczech i USA, co nie powinno dziwić, gdyż te dwa państwa w tym czasie plasowały się w czołówce krajów najsilniej rozwiniętych pod kątem motoryzacji [2, 4]. W tym czasie ośrodki badawcze (uniwersyteckie i branżowe) poważnie zajęły się automatyzacją szeroko rozumianego transportu. Szybko udało się zauważyć dwa główne nurty prac: rozwój automatycznych systemów autostradowych, w których ruch pojazdów w znacznym stopniu był uzależniony od infrastruktury drogowej oraz, niejako w oderwaniu od pierwszej koncepcji, opracowanie półautonomicznych i autonomicznych pojazdów, które tylko w niewielkim stopniu były związane z drogą [4].

Efekty pierwszego nurtu można było zobaczyć w 1997r., kiedy to w Kalifornii niedaleko San Diego odbył się pokaz systemu opracowanego w ramach programu DEMO 97 skierowanego do przewoźników i administratorów autostrad. System pozwalał na prowadzenie ośmiu pojazdów AV po autostradzie za pomocą magnesów wbudowanych w jej powierzchnię i był wspomagany przez komunikację pomiędzy pojazdami [4,11].

Przykładem drugiego kierunku badań jest pojazd opracowany w latach 1986-2003 przez zespół Ernsta Dickmannsa z Bundeswehr University Munich (Niemcy), który

poruszał się w ruchu miejskim i po autostradach z prędkością do 100km/h bez udziału kierowcy. Był on częścią europejskiego projektu Eureka PROMETHEUS. Należy tu jeszcze wspomnieć o projekcie ARGO powstałego w kooperacji Uniwersytetu w Parmie i Pavii (Włochy) oraz rezultatach prac prowadzonych w Carnegie Mellon University (USA), które zaowocowały powstaniem serii pojazdów NAVLAB. Oba pojazdy, zarówno włoski, jak i amerykański, ponad 90% czasu jazdy prowadzone były autonomicznie [4, 9].

Tak naprawdę dopiero na przełomie wieków wprowadzenie do samochodów na szeroką skalę mikroprocesorowych systemów sterowania silnikiem, kontroli przestrzeni wokół pojazdu oraz bezpieczeństwa, zwłaszcza czynnego, a także sieci teleinformatycznych i bezprzewodowych komunikacyjnych pozwoliło na znaczne rozwinięcie badań, które w efekcie miały dać w pełni użyteczny samochód autonomiczny. Aby jeszcze bardziej przyspieszyć prace w tym obszarze amerykańska Agencja ds. Zaawansowanych Projektów Badawczych (DARPA) zorganizowała zawody dla pojazdów AV „Grand Challenges”, w których nagrodą był 1 milion dolarów. Pierwszy wyścig terenowy na odcinku 150 km odbył się w 2004 r. Niestety, żaden pojazd nie przejechał zadanego dystansu, a najlepszy zakończył jazdę na 7 mili. Rok później konkurs powtórzono. Nagroda wzrosła do 2 milionów dolarów. Wyścig ukończyło 5 zespołów, z czego najszybszy dojechał do mety po 7 godzinach.

W 2007 r. odbył się trzeci wyścig, nazwany „Urban Challenge”. Jak sama nazwa wskazuje, pojazdy ścigały się w terenie miejskim na trasie o długości niecałych 100 km (60 mil), przy normalnym ruchu ulicznym i przy założeniu, że nie zostaną przekroczone przepisy ruchu drogowego. Sześć zespołów dojechało do mety, a trzy zakończyły wyścig w ciągu 4,5 godziny [2, 4, 12].

2.2. Pojazdy autonomiczne dziś

Wyzwania postawione w wyścigu „Grand Challenge” pokazały kierunek rozwoju pojazdów autonomicznych. Pokazały też jakie problemy zostały jeszcze do rozwiązania. Zwłaszcza ostatni konkurs „Urban Challenge” uzmysłowił naukowcom i projektantom, że trzeba zdecydowanie przyspieszyć i poszerzyć badania nad czujnikami, systemami wykrywania i reagowania na zachowania innych uczestników ruchu drogowego oraz algorytmami obliczeniowymi, które umożliwiają nawigowanie pojazdem i przestrzeganie przepisów drogowych. Dziś, prace nad pojazdami autonomicznymi prowadzi wiele koncernów samochodowych, również w kooperacji z ośrodkami uniwersyteckimi, ale również takie firmy jak np. Google, czy Apple. Zwłaszcza inicjatywa firmy Google pod nazwą „Driverless Car” dobitnie pokazała, że samochód autonomiczny, to nie odległa przyszłość, ale produkt, z którego zaraz będziemy korzystać. Wystarczy go tylko trochę udoskonalić.

Program „Driverless Car” finansowany przez Google rozpoczął się wkrótce po „Urban Challenge” i wykorzystał talenty inżynierów i badaczy z kilku zespołów uczestniczących w tym konkursie. W kolejnych latach Google opracował i przetestował flotę samochodów oraz zainicjował kampanie demonstrujące zastosowania tej technologii. W 2015 r. flota samochodów autonomicznych opracowanych przez

Google przejechała ponad milion kilometrów, podczas których zarejestrowano tylko 14 niewielkich wypadków drogowych. Co więcej, żaden z tych wypadków nie był spowodowany przez pojazd AV [13,14]. Należy jednak zaznaczyć, że w lutym 2016 r. zdarzył się wypadek, który był spowodowany przez samochód Google [15].

Google nie jest jedyną firmą, która przeznaczą znaczne środki na prace związane z pojazdami autonomicznymi. Także m.in. BMW, Cadillac, Ford, GM, Mercedes-Benz, Nissan, Tesla, Toyota, Volkswagen/AUDI i Volvo testują swoje prototypy samochodów typu „self-driving”. Warto tu podkreślić zaangażowanie koncernu VW/AUDI, który jako pierwszy na świecie producent samochodów, otrzymał od władz stanu Nevada w 2013 r. zezwolenie na wprowadzenie autonomicznego samochodu do ruchu po drogach publicznych, a model Audi RS 7 „*Piloted Driving Concept*” bez problemu prowadzi samodzielną jazdę z prędkością ponad 200 km/h [16]. Dodatkowo, należy zaznaczyć, że pojazdy autonomiczne są coraz częściej opracowywane pod kątem wykorzystania w wojsku, górnictwie, rolnictwie, czy innych sektorach gospodarki i to nie tylko osobowe, ale i ciężarowe. Świadczy to dobitnie, że samochody AV posiadają duże możliwości i mogą w niedalekiej przyszłości sukcesywnie zastępować tradycyjne pojazdy.

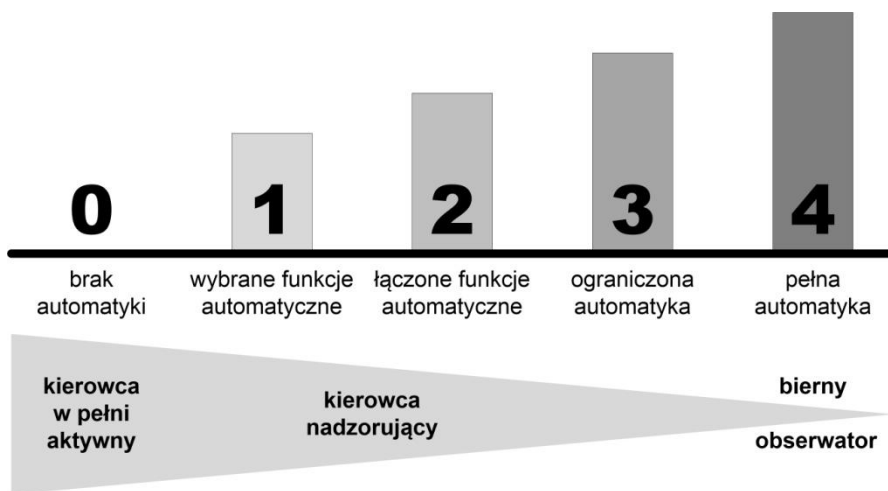
3. Pięć poziomów automatyzacji pojazdów

Amerykańska agencja NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) stworzyła pięciopoziomą hierarchię, zaprezentowaną również na rysunku 1, która w pełni klasyfikuje automatykę pojazdów [8,17]:

- Poziom 0 (brak automatyki): Kierowca ma w swojej wyłącznej dyspozycji wszystkie funkcje pojazdu (przyspieszanie, hamowanie, kontrola toru jazdy, itp.) i tylko on jest odpowiedzialny za monitorowanie drogi i bezpiecznej eksploatacji pojazdu,
- Poziom 1 (automatyka specyficzna dla konkretnych funkcji): Automatyzacja na tym poziomie obejmuje jedną lub więcej funkcji; działają one niezależnie od siebie. Kierowca ma całkowitą kontrolę nad pojazdem i tylko on jest odpowiedzialny za bezpieczeństwo. Systemy automatyczne tylko w niektórych, założonych wypadkach mogą przejąć kontrolę nad konkretnym systemem wspomagając kierowcę w zwykłych warunkach drogowych lub w sytuacjach potencjalnie niebezpiecznych. Przykładem może być system wspomagania hamowania, stabilizacji toru jazdy ESP, czy automatycznej kontroli prędkości ACC,
- Poziom 2 (połączona automatyzacja funkcji): Poziom ten obejmuje automatyzację co najmniej dwóch podstawowych funkcji sterujących w celu odciążenia kierowcy (kierowca oddaje częściowo kontrolę nad funkcjami pojazdu). Kierowca jest nadal odpowiedzialny za monitorowanie przestrzeni wokół pojazdu i musi być gotowy w każdej chwili przejąć z powrotem kontrolę nad zautomatyzowanymi funkcjami pojazdu. Przykładem takich systemów mogą być adaptacyjny tempomat i system utrzymania pojazdu w pasie ruchu,

- Poziom 3 (ograniczona autonomiczność pojazdu): W pewnych warunkach drogowych lub środowiskowych systemy automatyczne mogą przejąć od kierowcy pełną kontrolę nad wszystkimi ważnymi funkcjami pojazdu (kontrola trakcji, bezpieczeństwo ruchu, monitorowanie przestrzeni poza pojazdem, przyspieszanie i hamowanie). Od kierowcy wymaga się okazjonalnego kontrolowania funkcji pojazdu, ale przy odpowiednio długim czasie przejęcia kontroli,
- Poziom 4 (pojazd w pełni autonomiczny): Pojazd jest zaprojektowany tak, aby w pełni monitorował warunki drogowe i mógł samodzielnie wykonywać wszystkie czynności związane z jazdą na całej trasie przy zachowaniu pełnej kontroli nad wszystkimi funkcjami i bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Kierowca ma jedynie określić cel podróży i nie będzie mógł przejąć kontroli nad samochodem przez cały okres jazdy. Automatyzacja wszelkich funkcji w pojeździe działa niezależnie od tego, czy przewozi on ludzi czy nie.

Niekiedy w literaturze wymieniany jest jeszcze poziom 5, który jest właściwie niewielkim rozwinięciem poziomu 4 [8, 18]. Obejmuje on pojazdy w pełni autonomiczne, które oferują usługi typu „taxi” oraz potrafią samodzielnie wytyczać trasę przejazdu na podstawie komunikacji pomiędzy pojazdami. Jak wspomniano wcześniej, w większości publikacji poziom ten jest tożsamy z poziomem czwartym.



Rysunek 1. Poziomy automatyzacji samochodów (opracowanie własne na podstawie [8])

4. Jak działa samochód autonomiczny?

Najogólniej rzez ujmując, można stwierdzić, że pojazdy autonomiczne działają w oparciu o trój etapowy algorytm znany z robotyki – „sense-plan-act” (w wolnym tłumaczeniu „odczuwanie – planowanie – działanie”) [8, 19, 20]. Najistotniejszym etapem jest kontrola przestrzeni wokół pojazdu – tej najbliższej oraz tej dalekiej,

niekiedy oddalonej o kilkaset metrów. I tutaj pojawia się duże wyzwanie dla systemów elektronicznych polegające na spostrzeżeniu i zrozumieniu złożonego i dynamicznie zmieniającego się środowiska jazdy [1, 8]. Aby zrealizować to zadanie pojazdy AV są wyposażone w wiele czujników, kamer, radarów itp. pobierających informacje z otoczenia. Służą one jako dane wejściowe dla systemów mikroprocesorowych, które w oparciu o zaimplementowane oprogramowanie opracowuje adekwatny w danej sytuacji sposób działania, taki jak przyspieszenie, hamowanie, zmiana pasa ruchu i wyprzedzanie, itp. Aby przestrzeń wokół pojazdu oraz wszystko co się dzieje na drodze było dokładnie monitorowane, stosuje się kombinację technologii radarowych, nadzoru wideo (kamery mono- i stereoskopowe), a nawet laserowych (system LIDAR) [2, 4, 8, 21-23].

Samochody autonomiczne nie byłyby w stanie poruszać się samodzielnie, jedynie w oparciu o informacje pobierane z zamontowanych w nich sensorów. Potrzebne są jeszcze dane, które można pozyskać jedynie od operatorów lokalnych, czy nawet globalnych, które są najczęściej związane z pozycjonowaniem pojazdu, czy pozyskiwaniem informacji o aktualnym stanie ruchu drogowego na danym odcinku trasy. Dlatego tak istotnym czynnikiem w pojazdach AV jest tzw. telematyka, czyli wszystkie systemy ich komunikacji z szeroko pojętym otoczeniem. W kolejnych podrozdziałach omówione zostaną pokrótce najważniejsze elementy układu sensorycznego samochodów autonomicznych oraz systemy komunikacyjne umożliwiające wymianę danych z infrastrukturą drogową.

4.1. Sensoryka i monitoring w pojazdach autonomicznych

4.1.1. Kamery wizyjne

Systemy oparte na kamerach wizyjnych są powszechnie dostępne i relatywnie tanie, dzięki czemu można w nie zaopatrzyć pojazd i dostarczyć dużą ilość danych do systemów monitorowania drogi, nawet na znaczne odległości. Kamery pozwalają „zobaczyć” systemom elektronicznym to, co kierowca widzi podczas prowadzenia samochodu. Co więcej, jeżeli zwiększyć ilość kamer i skierować je tak, aby kontrolowały przestrzeń z każdej strony pojazdu, można zebrać w danym momencie nieporównywalnie więcej danych niż kierowca, który może patrzeć tylko w jedną stronę. Niedoskonałością systemu jest czas, jaki jest potrzebny na interpretację dostarczonych informacji. Proces ten jest nazywany przetwarzaniem obrazów i stanowi bardzo szybko rozwijający się obszar badawczy [24]. Niestety, jak do tej pory ludzkie możliwości przetwarzania i interpretacji danych wizualnych, są dużo bardziej wydajne niż to, co nam oferują systemy elektroniczne oparte na kamerach i mikroprocesorach. [4, 24, 25]. Wadą systemów wizyjnych jest także konieczność stałej kalibracji kamer w zależności od panujących warunków drogowych i pogodowych [26, 27].

4.1.2. System LIDAR

System LIDAR (ang. *Light Detection And Ranging*) jest urządzeniem, które działa na zasadzie podobnej do radaru, jednak zamiast fal radiowych używa znacznie krótszych fal świetlnych. Źródłem światła jest laser, który oświetla obiekt. Następnie

za pomocą fotodetektora układ mikroprocesorowy analizuje odbite światło i czas odbicia. Aby uzyskać wizualizację 3D otoczenia, konieczne jest zastosowanie zestawu laserów sprzężonych i zsynchronizowanych z szybkimi lustrami [28-30]. Głównymi ograniczeniami systemu jest słabe pokrycie drogi wiązką światła (ok. $16^\circ \times 4^\circ$) oraz niedostateczny zasięg (max. 250 m, zazwyczaj 100-150 m). Braki w zasięgu, wynikające z mniejszej długości fali, system LIDAR nadrobiła znacznie większą rozdzielczością w porównaniu do tradycyjnych radarów.

Następną wadą LIDARa jest kwestia refleksji światła. Działanie lasera jest dość silnie uzależnione od powierzchni, od której odbija się promień i materiału z jakiego jest zrobiony obiekt. Stąd mylne wskazania wynikające np. z czystości karoserii lub warunków pogodowych. Dodatkowym problemem jest konieczność odsłonięcia źródła wiązki laserowej, co naraża urządzenie na niekorzystny wpływ warunków atmosferycznych i uszkodzenia mechaniczne.

Pomimo, że koszt systemu LIDAR jest aktualnie wysoki, to ma on tendencję spadkową. Najnowsze modele są oferowane w cenie poniżej 500 \$ i oferują coraz lepsze parametry [31].

4.1.3. Radar tradycyjny

Urządzenia radarowe wykorzystywane w pojazdach działają w taki sam sposób, jak te, które kojarzymy z innych dziedzin gospodarki (wojsko, lotnictwo, marynarka, itp.). Element mikrofalowy wysyła wiązkę fali elektromagnetycznej wysokiej częstotliwości (fale radiowe) i po jej odbiciu przechwytuje ją, mierząc czas pomiędzy wysłaniem impulsu, a jego odebraniem. Zaletą systemów radarowych jest daleki zasięg (zazwyczaj do 200 m) i szerokie pokrycie drogi wiązką wysyłanych fal, niezależność działania od warunków atmosferycznych oraz niezakłócanie się wzajemnie różnych systemów. Dzięki tym właściwościom są one powszechnie wykorzystywane w systemach adaptacyjnej regulacji prędkości ACC [8, 32, 33].

Wadą radaru jest ograniczenie w detekcji wykrywanego obiektu. Pracuje on najlepiej, gdy wiązka radarowa odbija się od przedmiotów metalowych, np. od karoserii pojazdów. Większym problemem jest np. wykrycie poruszającego się pieszego [34]. Jednak doniesienia literaturowe wskazują, że problem ten jest wciąż rozpatrywany i wraz z upływem lat pojawiają się coraz doskonalsze konstrukcje [33, 35].

4.1.4. Systemy ultradźwiękowe

Systemy ultradźwiękowe, to systemy wykrywania w oparciu o transmisję i odbiór fali dźwiękowej w paśmie już niesłyszalnym dla człowieka (powyżej 20 kHz). Sama zasada działania jest podobna do działania urządzeń radarowych. Systemy wykorzystujące czujniki ultradźwiękowe zapewniają dokładną kontrolę w bliskiej odległości od pojazdu (do 10 m), dzięki czemu znajdują powszechne zastosowanie w systemach wspomagania parkowania. Ich niezaprzeczalną zaletą jest niski koszt i stosunkowo bezawaryjne działanie [4, 36-38].

4.1.5. Podczerwień

Czujniki podczerwieni są głównie wykorzystywane w systemach „night vision”, które pozwalają na wykrywanie obiektów będących poza zasięgiem strumienia światła i niewidocznych dla ludzkiego oka po zapadnięciu zmroku [39-42]. Niekiedy stosuje się je również w systemach LDW (Lane Departure Warning) do wykrywania znaczników pasów ruchu [43].

4.1.6. System GPS

System GPS (ang. *Global Positioning System*) odgrywa dużą rolę w naszym życiu codziennym, w szczególności zaś w szeroko pojętym transporcie. Jego zadaniem jest podanie z zadaną dokładnością pozycji danego obiektu na kuli ziemskiej. Cały system działa na zasadzie triangulacji, czyli pomiarze odległości odbiornika związanego z obiektem namierzonym od min. 4 z 24 satelitów krążących wokół Ziemi. W obszarze motoryzacji, odczytane współrzędne są kojarzone z mapami cyfrowymi, dzięki którym, kierowcy mogą w trakcie jazdy lokalizować się w terenie i korzystać z nawigacji elektronicznej [44-47].

Pomimo bardzo dużych nakładów finansowych oraz wszelkich starań aby system był jak najbardziej dokładny, błędy w pozycjonowaniu wciąż się zdarzają i dochodzą nawet do kilkunastu metrów [45]. Biorąc pod uwagę dzisiejsze oczekiwania systemów transportowych, a zwłaszcza rozwój pojazdów autonomicznych są to wielkości niedopuszczalne. Ponadto należy zauważyć, że niedokładność lokalizacji mocno wzrasta, gdy odbiornik (obiekt) znajduje się w terenie silnie zurbanizowanym, gdzie wysokie budynki nie pozwalają „widzieć” wystarczającej liczby satelitów [48-50].

4.1.7. System INS

Następną metodą wyznaczania pozycji pojazdu jest nawigacja inercjalna INS (ang. *Inertial navigation systems*). Jest to metoda wyznaczania pozycji, polegająca na zliczaniu zmian położenia obiektu w przestrzeni, od punktu początkowego, przez pomiar parametrów ruchu (przyspieszenie, czas i zmiana kierunku ruchu), w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach za pomocą przyspieszeniomierzy i żyroskopów. Sygnał podawany z czujników zostaje scałkowany przy uwzględnieniu wartości początkowych w wyniku czego uzyskuje się aktualne wartości współrzędnych geograficznych [51, 52]. Zaletą systemu INS względem np. GPS, jest niezależność od sygnałów zewnętrznych. Aby zmniejszyć błędy pozycjonowania najczęściej pracuje on jednocześnie z systemem GPS [53, 54].

Powyższa lista systemów monitorujących położenie i przestrzeń wokół pojazdu prezentuje jedynie najpopularniejsze rozwiązania. Należy pamiętać, że nie jest ona zamknięta, a ośrodki badawcze pracujące na rzecz przemysłu motoryzacyjnego wciąż proponują nowe rozwiązania. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, iż duża część wysiłków inżynierów i naukowców jest skierowana na ulepszenie istniejących już systemów. Błędy i niedoskonałości wymienionych powyżej czujników są najczęściej weryfikowane przez inne urządzenia realizujące takie same zadania, ale pracujące na innych zasadach lub korzystające z innych zestawów sensorów. Doskonałym

przykładem jest tutaj integracja systemu GPS i INS, która daje w rezultacie bardzo dokładną wiedzę o lokalizacji pojazdu.

Patrząc na powyższą listę, widać wyraźnie, że pojazd autonomiczny musi być zaopatrzony w szereg systemów, które w tradycyjnym samochodzie są tylko dodatkiem poprawiającym komfort jazdy. Na szczęście poszczególne komponenty sukcesywnie obniżają swoją cenę przez co, nawet przy tak dużej liczbie podzespołów zawierających najnowocześniejsze rozwiązania z dziedziny elektroniki, automatyki i informatyki, cena finalnego produktu w postaci pojazdu autonomicznego nie jest zatrważająco wysoka. Na rysunku 2 przedstawiono typowy samochód typu „self-driving” wyposażony w komplet czujników, kamer i innych urządzeń kontrolujących przestrzeń wokół niego.



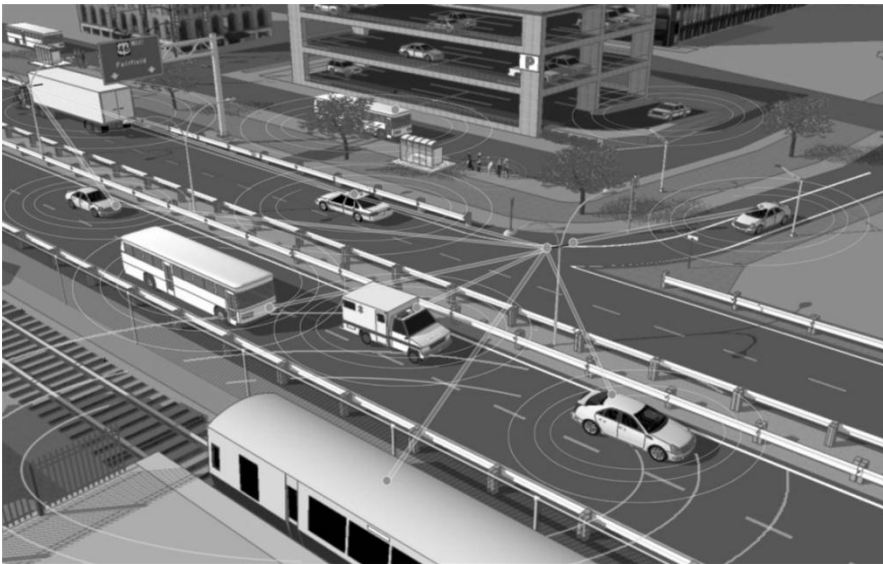
Rysunek 2. Zestaw sensorów zamontowanych na samochodzie autonomicznym (opracowanie własne, zdjęcie: uber.com)

4.2. Rola telematyki i łączności w pojazdach AV

Wszystkie systemy opisane pokrótce w poprzednim podrozdziale, pomimo swoich zalet, mogą podawać błędne sygnały wyjściowe pod wpływem czynników środowiskowych, czy chwilowych zaburzeń w otoczeniu pojazdu. Aby wzmocnić kontrolę poprawności działania systemów monitorujących i umożliwić bieżące dopasowanie tych bloków do zmiennych warunków jazdy, pojawiła się koncepcja wykorzystania wymiany danych pomiędzy samochodami V2V (ang. *Vehicle-to-Vehicle*) oraz pomiędzy pojazdem, a szeroko pojętą infrastrukturą drogową V2I/I2V (ang. *Vehicle-to-Infrastructure, Infrastructure-to-Vehicle*), dzięki czemu znacznie ogranicza się margines błędów [55-57]. Ponieważ obecnie, komunikacja opiera się na wielu standardach, ośrodki badawcze prowadzą wiele projektów, które mają odpowiedzieć na pytanie, jaki standard jest najlepszy lub jak należy łączyć różne systemy, aby uzyskać najlepszy efekt [7].

Należy w tym miejscu wyraźnie powiedzieć, że systemy telekomunikacyjne nie pojawiły się w pojazdach wraz z koncepcją pojazdów „self-driving”. Zarówno w USA jak i w Europie dużo wcześniej pojawiły się programy badawcze dotyczące wymiany danych w trybie V2V, czy V2I/I2V, które aktualnie określane są ogólnie jako „Connected Car” (USA) lub „Cooperative Intelligent Transport Studies” [58, 59]. Sama idea jest związana z rozbudową układów bezpieczeństwa czynnego i telematyki w samochodach. Jako przykład można tu podać systemy nawigacyjne, powiadamiania wypadkowego, czy wczesnego ostrzegania.

Warto wspomnieć, że w celu lepszego wykorzystania informacji komunikacja V2V i V2I/I2V nie powinna skupiać się jedynie na pojazdach AV. Szeroko pojęty system łączności musi włączać w swoje struktury również pojazdy nie będące autonomicznymi, jeżeli tylko korzystają one z urządzeń zaliczanych do grupy „infotainment”. Pozwoli to na bardziej wydajne i szybsze wykorzystanie przekazu informacji oraz poprawę bezpieczeństwa związanego z cyberprzestrzenią. Całość systemu została symbolicznie przedstawiona na rysunku 3.



Rysunek 3. Kompleksowy system łączności V2V oraz V2I/I2V [60]

Rozwój koncepcji przekazywania danych pomiędzy pojazdami oraz między pojazdem i infrastrukturą drogową, a co za tym idzie rozbudowa systemów teleinformatycznych pod wieloma względami, będzie miała coraz większe znaczenie w przyszłości, w szczególności w odniesieniu do pojazdów autonomicznych. Prognoza ta jest bardzo realna z kilku powodów, które zostaną przedstawione poniżej.

Po pierwsze, idea jazdy autonomicznej opiera się na szczegółowej znajomości przestrzeni i topografii terenu w jakim się porusza pojazd, a to wymaga nieustannego aktualizowania wiedzy w tym temacie. I właśnie w aktualności map, według których

pojazd lokalizuje się w terenie, tkwi największy problem. Wydaje się, że rozwiązanie znalazła firma Google, która w ramach prac na samochodem „self-driving” zakupiła spółkę Waze zajmującą się opracowywaniem map cyfrowych. Mapy mają być opracowywane pod kątem funkcjonowania samochodu autonomicznego i integrowane z systemami kontroli i monitoringu pojazdu. Ponadto mają one mieć możliwość aktualizowania się w czasie rzeczywistym z uwzględnieniem informacji pozyskiwanymi z innych pojazdów [61]. W ten sposób pokonany zostaje problem aktualności statycznej mapy cyfrowej, która niejednokrotnie już jest nieaktualna w momencie wgrania do systemu nawigacji. Aby lepiej zrozumieć ten problem, posłużmy się przykładem [4]. Załóżmy, że zator na drodze jest spowodowany awarią jakiegoś samochodu, wypadkiem lub robotami interwencyjnymi. Wszystkie te przypadki mają charakter chwilowy, czyli nie są uwzględnione na mapach statycznych, ale jednocześnie mogą poważnie ograniczyć przepustowość danego odcinka trasy. Kiedy sytuacja ta zostanie wykryta przez jeden samochód, informacja o tym fakcie będzie wprowadzona do systemu ogólnego i niemal natychmiast przekazana do każdego innego pojazdu, który ma możliwość jej odebrania i dzięki temu przeprowadzenia szybkiej modyfikacji planowanej trasy.

Po drugie, czynniki ustawodawcze, widząc potrzebę rozwoju pojazdów autonomicznych, a co za tym idzie komunikacji między pojazdami, przewidują wyodrębnienie pasm częstotliwości dedykowanych jedynie łączności bezpośredniej w trybie V2V i V2I/I2V. Pozwoliłoby to, po za skróceniem czasu przekazu danych, na ograniczenie błędów systemu monitorowania otoczenia pojazdu. W przypadku nieprawidłowego działania czujników zewnętrznych, można by pobierać informacje od czujników z pobliskich pojazdów i tym samym umożliwić dalszą jazdę.

Po trzecie, skoro pojazdy autonomiczne same dbają o swoją sprawność, trudno wymagać od właściciela, aby to on pamiętał o aktualizacjach oprogramowania swojego samochodu. Byłby to niepotrzebny krok w tył. Firmy motoryzacyjne chciałyby odejść od kosztownego i kłopotliwego modelu zapraszania klientów do warsztatów na akcje serwisowe lub wysyłania oprogramowania wraz z instrukcją postępowania, jak to ma miejsce teraz. Jednocześnie widać wyraźnie, że gwałtowny rozwój systemów elektronicznych w pojazdach będzie wymuszał takie sytuacje coraz częściej. Konieczność uaktualnienia oprogramowanie systemów pokładowych powoduje również skomplikowaną kwestię bezpiecznej komunikacji i przesyłania danych.

Po czwarte, należy zauważyć także jakie są oczekiwania potencjalnych nabywców pojazdów autonomicznych. Jak wskazują ankiety, ponad 64% użytkowników pojazdów chciałoby zachowania ciągłej komunikacji i możliwości komunikowania się za pomocą Internetu i dostępu do mediów społecznościowych [62]. Trudno jest, korzystając z tradycyjnego samochodu, pogodzić coraz intensywniejsze korzystanie z systemów „infotainment” z bezpieczną jazdą. Na szczęście technologia „self-driving” pozwala pogodzić te dwie potrzeby. Co więcej, potrzeba korzystania z udogodnień komunikacji bezprzewodowej może jeszcze bardziej zwiększyć apetyt konsumentów na pojazdy autonomiczne. Badania pokazują, że możliwość obejrzenia filmu czy napisania e-maila w czasie jazdy, to jedne z ważniejszych potrzeb jakimi kierują się

potencjalni nabywcy samochodów AV (poziom 3 i 4 automatyzacji) [4]. W tym zakresie oczekiwany jest efekt synergii: „infotainment” będzie wzmacniał chęć posiadania pojazdu autonomicznego, a z drugiej strony jego posiadanie będzie zachęcało do szerszego korzystania z „centrum rozrywki” w samochodzie.

Jednak zważając na te optymistyczne wizje wyłania się kilka problemów. Najważniejszy z nich to sprawa bezpieczeństwa przesyła danych i cyberprzestępczości. Wciąż brak silnego zapewnienia, że nasz samochód będzie wykonywał tylko nasze polecenia i że nikt nieuprawniony nie przejmie nad nim kontroli. Ta druga kwestia zostanie szerzej omówiona w dalszej części opracowania.

Drugim problemem jest kwestia wyboru technologii komunikacyjnej. Na dzień dzisiejszy nie ma jeszcze do końca opracowanej propozycji, co do systemu lub kombinacji wielu systemów, za pomocą których pojazdy będą komunikować się z Internetem oraz z innymi pojazdami i infrastrukturą transportową. Możliwości jest dużo, więc aby uporządkować wiedzę w tym temacie, poniżej zostaną omówione pokrótce technologie komunikacyjne wykorzystywane w pojazdach autonomicznych.

4.2.1. Komercyjne usługi komunikacji bezprzewodowej

Jedną z możliwości komunikowania samochodu AV z otoczeniem jest wykorzystanie usług oferowanych przez operatorów sieci telefonów komórkowych. Jest to rozwiązanie wygodne i tanie ze względu na powszechność i możliwość indywidualnego dopasowania oferty do klienta indywidualnego. Częstotliwości wykorzystywane w telefonii komórkowej GSM, 3G, 4G mieszczą się w zakresie do 3 GHz [63].

Aktualnie wielu producentów samochodów już korzysta z usług operatorów telefonii komórkowych wiążąc je bezpośrednio ze swoimi samochodami. Wystarczy tylko wspomnieć systemy telematyki General Motors OnStar, UConnect Chryslera, Ford’s Sync, czy CUE Cadillaca (systemy oferowane w pojazdach produkowanych na rynek amerykański). Są one wykorzystywane do komunikacji głosowej i transmisji danych, a ich działanie jest oparte najczęściej na smartfonie użytkownika lub zaimplementowanych w pojeździe modułach GSM [64, 65]. Pomysł wykorzystania smartfonów do komunikacji samochodu z otoczeniem wydaje się być najlepszym rozwiązaniem, gdyż właściciele wymieniają i aktualizują swoje telefony dużo częściej niż moduły GSM montowane w samochodach. Dzięki temu mogą oni na bieżąco wykorzystywać najnowsze nowinki techniczne branży komunikacyjnej, podczas gdy podzespoły z grupy telematycznej szybko się starzeją, a ich wymiana jest droga i kłopotliwa [65].

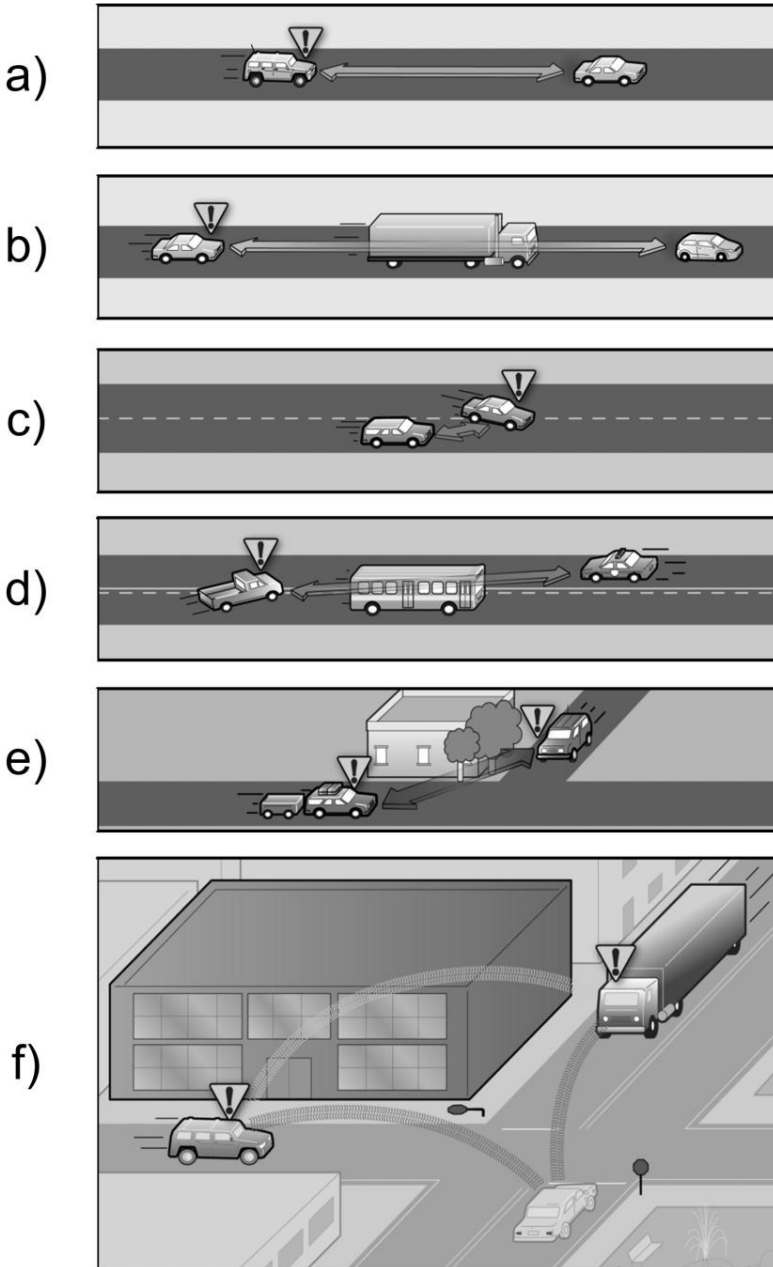
Niestety, wraz z pojawieniem się technologii LTE pojawił się problem związany z wykorzystaniem jednego telefonu w różnych krajach. Celem standardu LTE było zapewnienie większej przepustowości i szybkości transmisji danych. Aby zrealizować to zamierzenie musi on działać w odrębnej sieci niż standardy 2G i 3G. Korzysta on z wielu zakresów częstotliwości jednocześnie, z których każdy ma charakterystyczny numer i częstotliwość. W rezultacie telefony z jednego kraju mogą nie działać w innych krajach.

Nie zniechęca to jednak producentów pojazdów w wysiłkach, aby zaproponować kierowcom jak najbardziej doskonały system komunikacji głosowej i wymiany danych. Jako przykład można tu podać koncern GM i jego program OnStar mający na celu powszechne wprowadzenie do pojazdów technologii LTE, która ma przyspieszyć rozwój komunikacji V2I, zwiększając tym samym bezpieczeństwo jazdy oraz wygodę kierowców i pasażerów. Według GM, technologia LTE umożliwi także aktualizowanie nawigacji i systemów informacji drogowej w czasie rzeczywistym [66].

Drugim przykładem jest koncern VW/AUDI, który do pojazdów klasy *premium* montuje moduły wielofunkcyjne 3G/4G LTE pracujące w ramach programu „AUDI connect” i oferujące takie usługi, jak bezprzewodowy dostęp Wi-Fi w samochodzie, radio internetowe, serwisy drogowe oraz rozszerzony system nawigacyjny prezentujący rzeczywisty obraz terenu w jakim się porusza dany samochód [67, 68].

4.2.2. Dedykowana komunikacja bliskiego zasięgu (DSRC)

Technologia DSRC (ang. *Dedicated Short-Range Communication*) to usługa bezprzewodowa o stosunkowo krótkim zasięgu (mniej niż 1000 metrów), specjalnie stworzona jako system komunikacji bezprzewodowej umożliwiającej wymianę danych typu V2V i V2I/I2V [56, 57, 63, 69-74]. Wpisuje się ona idealnie w obszar systemów i urządzeń komunikacyjnych już montowanych w samochodach lub przygotowywanych do instalacji w niedalekiej przeszłości, zwany ogólnie „telematyką”. Opracowanie komunikacji DSRC miało na celu wsparcie systemów bezpieczeństwa czynnego, takich jak system ACC, wczesnego ostrzegania, czy „Pre-Safe”, które wykrywając sytuację potencjalnie niebezpieczną, „przygotowują” kierowcę i pasażerów do zderzenia. Dodatkowo, system ten może również realizować połączenia głosowe oraz przekazywać informacje związane z diagnostyką pojazdu [63]. Przykładowe możliwości wykorzystania łączności DSRC przedstawione zostały na rysunku 4.



Rysunek 4. Zastosowanie łączności V2V do wczesnego ostrzeżenia o niebezpieczeństwie: a) informacja o gwałtownym zmniejszeniu odległości pomiędzy pojazdami; b) informacja o możliwości gwałtownego hamowania; c) informacja o nagłej zmianie pasa ruchu sąsiedniego pojazdu; d) informacja o braku możliwości wykonania manewru wyprzedzania; e) informacja o pojazdach zbliżających się do skrzyżowania (brak kontaktu wzrokowego); f) informacja o możliwej kolizji ze względu na uszkodzenie znaku drogowego „STOP” [60]

Komunikacja DSRC leży u podstaw systemu przekazywania informacji V2V i V2I. Decyduje o tym szybkość wymiany danych, która jest większa od zwykłych połączeń za pomocą telefonii komórkowej. Jednakże i w tym obszarze pojawiają się problemy. Przede wszystkim widać, że brakuje aplikacji, które w pełni wykorzystywałyby możliwości połączeń DSRC. Ponadto, nie do końca wiadomo, czy system ten potraktować jako priorytetowy i przydzielić mu określone częstotliwości, czy pozwolić na dowolność w doborze pasma (nielicencjonowane wykorzystanie częstotliwości). Pierwsza opcja jest bardziej restrykcyjna i ograniczająca producentów, ale wydaje się gwarantować większe bezpieczeństwo. Druga daje większą swobodę przy projektowaniu i wykorzystaniu systemu, ale może dać większe problemy związane z zakłóceniami i nieautoryzowaną ingerencją w system.

4.2.3. Bluetooth

Technologia Bluetooth to standard technologii bezprzewodowej służący do wymiany danych na krótkich odcinkach przy wykorzystaniu transmisji w zakresie częstotliwości krótkofalowych pomiędzy urządzeniami zarówno stacjonarnymi, jak i mobilnymi. Urządzenia te w ilości kilku sztuk tworzą mikro-sieci zapewniające wysoki poziom bezpieczeństwa transmisji danych. Technologia ta pozwoliła na powszechne wprowadzenie telefonów komórkowych do pojazdów i sprzęgnięcia ich z nimi, co umożliwiło na swobodne korzystanie z usług GSM przy użyciu systemów telematycznych w pojeździe [63]. W Stanach Zjednoczonych i Europie Bluetooth działa w zakresie częstotliwości od 2400 do 2483,5 MHz, podzielonym na 79 kanałów o szerokości 1 MHz. Z kolei w Japonii zakres Bluetooth-a zaczyna się od 2472 a kończy na 2497 MHz. Chociaż jest on przede wszystkim używany w samochodach do rozszerzenia możliwości telefonów komórkowych, może on również służyć jako alternatywa dla DSRC, umożliwiając komunikację V2I lub V2V.

4.2.4. Wi-Fi

Wi-Fi to popularna technologia, która umożliwia bezprzewodową wymianę danych poza siecią komputerową, korzystając z zakresu fal radiowych. (przy użyciu widma radiowego) za pośrednictwem sieci komputerowej, w tym szybkich połączeń internetowych. Technologia ta w oczywisty sposób może również znaleźć zastosowanie w komunikacji V2V i V2I, ale pojawiają się problemy z przydziałem częstotliwości [63]. Wi-Fi jest chyba najintensywniej wykorzystywaną technologią połączeń bezprzewodowych, co zaczyna stanowić poważny problem w ostatnich latach – przepustowość kanałów transmisji zauważalnie spada. Propozycje przydzielenia nowych częstotliwości zbliżonych do 5 GHz dla Wi-Fi budzi obawy firm skupiających swoje wysiłki na systemie DSRC. Uwalnianie kolejnych częstotliwości w paśmie 5 GHz dla nielicencjonowanych użytkowników może utrudnić rozwój sieci DSRC [63,75].

4.3. Planowanie trasy

Aby nawigowanie pojazdu było rzeczywiście efektywne, wymagane jest przeprowadzenie symulacji ruchu pojazdów w sieci drogowej [2]. Można ją przeprowadzić

w skali mikro i makro. W mikro-symulacji brane są pod uwagę szczegółowe ruchy i zachowania poszczególnych pojazdów. Początkowe badania pojazdów 1-go i 2-go poziomu automatyzacji skłaniały do stosowania tego rodzaju analizy również w przypadku pojazdów autonomicznych [76-79]. Badania wykazały znaczą redukcję opóźnień w ruchu pojazdów [83-85]. Pojawiły się także propozycje o rozszerzenie tego modelu symulacyjnego, aby uwzględniał pojazdy AV [77, 86]. Niestety, symulacje w skali mikro, pomimo dostępnych mocy obliczeniowych komputerów, pozwalają brać pod uwagę ruch drogowy jedynie w części miasta, a nie w całości [2].

Zdecydowanie lepszym rozwiązaniem, do wytyczenia najlepszej trasy dla pojazdu AV, jest zastosowanie symulacji w skali makro. Uwzględnia ona obecność na drodze jednocześnie samochodów AV, czyli połączonych komunikacyjnie oraz pojazdów, które nie uczestniczą w przesyłaniu danych. W trakcie wykonywania symulacji najwygodniejszym założeniem jest przyjęcie modelu, w którym pojazdy nic nie wiedzą o sobie. Nie znają położenia innych aut, nie wiedzą jakimi trasami się poruszają, nie orientują się, jaki jest cel ich podróży. Odpowiada to typowej sytuacji drogowej, bez udziału samochodów autonomicznych. Jeżeli jednak pojazdy mogą komunikować się ze sobą i przysyłać sobie informacje o lokalizacji, wybranej trasie i celu podróży, to efektywność wyboru drogi wzrasta dwukrotnie, a pojazdy poruszają się szybciej i po krótszych trasach. Wykazano to zarówno teoretycznie, jak i empirycznie, co świadczy, że ruch „współpracujących” ze sobą pojazdów jest bardziej pożądanym, niż przypadku opisanym poprzednio [80, 81]. Skomunikowane samochody dostarczają do systemu w czasie rzeczywistym istotne dane, które mogą być odbierane przez centrum monitorowania ruchu, a następnie wysyłane do innych pojazdów w formie ostrzeżeń lub propozycji optymalnej trasy. Tym sposobem można osiągnąć większą przepustowość dróg i skrócić czasy przejazdu poszczególnych samochodów. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, iż w systemie, który uwzględnia w jednej przestrzeni samochody, które komunikują się z innymi, jak i te, które się nie komunikują, trzeba stosować mieszane wzorce ruchu, a to bardzo komplikuje proces obliczeniowy i powoduje, że system jest bardziej złożony.

Żeby problem nawigowania i wytyczania tras jeszcze bardziej zagmatwać, należy wspomnieć o paradoksie Braessa, który mówi, że wybudowanie nowej drogi może wydłużyć sumaryczny czas przejazdu a punktu A do B (skorzystanie z nowej drogi), względem czasu przejazdu w przypadku braku tej drogi [82]. Włączenie tego paradoksu w proces symulacji ruchu drogowego i wytyczania najlepszej trasy dla pojazdu AV jest niezmiernie istotne, z punktu widzenia równomiernego obciążania tras na danym terenie i zachowania zadowalającej przepustowości [2]. Jak widać, samochody autonomiczne również mogą się kierować zasadą „może i dalej, ale za to szybciej”.

5. Oczekiwane korzyści związane z użytkowaniem pojazdów „self-driving”

Transport, zwłaszcza w dzisiejszej formie, znacznie pomaga rozwijać i zbliżać społeczeństwa. Pozwala szybko i komfortowo przemieszczać się na bliższe i dalsze odległości. Dzięki temu zwiedzamy dalekie zakątki świata, prowadzimy handel i usługi, poznajemy się i rozumiemy coraz lepiej. Są to jego niezaprzeczalne zalety.

Niestety, wiąże się to ze znacznymi nakładami finansowymi jakie musimy ponieść w postaci zakupu paliwa, okresowego serwisowania pojazdów, opłat administracyjnych związanych z samym pojazdem (rejestracja) lub jego użytkowaniem (opłaty parkingowe, autostradowe, itp.), czy w końcu z kosztem biletów komunikacji publicznej, które zwane są ogólnie kosztami bezpośrednimi. Nie należy jednak zapominać o tzw. kosztach społecznych, które są wynikiem negatywnych skutków rozwoju środków transportu, takich jak zanieczyszczenie środowiska, wypadki komunikacyjne i związane z tym ludzkie tragedie, natężenie ruchu, szeroko pojęte bezpieczeństwo na drogach, itp.. Ośrodki naukowe, branżowe, czy badania rynku i opinii społecznych prezentują często wyniki badań dotyczących tych kosztów [87-92]. Należy pamiętać, że badania te odnoszą się głównie do pojazdów tradycyjnych, gdzie kierowca jest niezbędny.

W odniesieniu do wspomnianych powyżej kosztów, propozycja szerokiego wprowadzenia na rynek pojazdów autonomicznych, wydaje się być rozwiązaniem prawie że idealnym. Firmy prezentujące prototypy samochodów AV są przekonane, że ta technologia znacząco ograniczy lub nawet całkowicie zlikwiduje wiele z tych negatywnych aspektów transportu [93]. Ponadto, może ona dać dodatkowe korzyści, takie jak zwiększenie mobilności społeczeństwa, a nawet poprawę wykorzystania gruntów. Chociaż sceptycy wskazują na znaczące wady pojazdów autonomicznych, i trudno się z nimi nie zgodzić, powszechnie uważa się, że przewaga zalet jest nieporównywalna. W dalszej części tego rozdziału zostaną one pokrótce omówione, w kontekście konkretnych obszarów, w których upatruje się największe zmiany związane z użytkowaniem pojazdów AV.

5.1. Bezpieczeństwo i wypadkowość w ruchu drogowym

Temat bezpieczeństwa na drodze jest wszystkim dobrze znany od bardzo dawna. Niestety, statystyki, nie napawają optymizmem. Coroczne raporty prezentowane przez komisje Unii Europejskiej, czynniki rządowe odpowiedzialne za transport i infrastrukturę drogową, czy w końcu niezależne ośrodki badań społecznych pokazują, że rozwój motoryzacji niesie ze sobą gwałtownie narastającą liczbę zabitych i rannych w zdarzeniach drogowych. W Stanach Zjednoczonych w 2010 r. w wyniku wypadków komunikacyjnych zginęło blisko 33 tys. osób, ok. 3,9 mln zostało rannych, 24 mln pojazdów uległo całkowitemu lub częściowemu uszkodzeniu, a koszty strat sięgnęły poziomu 277 mld\$ [94]. Nie lepiej sytuacja wygląda w Europie. W 2015 r. 26 tys. osób straciło życie na drogach UE, a 135 tys. odniosło poważne obrażenia. Koszty społeczne zdarzeń drogowych szacuje się na co najmniej 100 mld euro [95]. W tych kwotach mieszczą się koszty leczenia, rehabilitacji, sądowe, administracyjne, obsługi miejsca zdarzenia i serwisowe, straty materialne i odszkodowania, czy wreszcie straty w miejscach pracy ofiar i spadek wydajności produkcji pracy. Wprawdzie zauważalny jest spadek liczby wypadków i ofiar śmiertelnych, porównywany rok do roku, ale i tak wciąż są to liczby zatrważające. Przykładowe statystyki prezentuje tabela 1. Warto zwrócić uwagę, że Polska w tym zestawieniu plasuje się niechlubnie w czołówce pod względem liczby ofiar.

Tabela 1. Liczba śmiertelnych ofiar wypadków drogowych na milion mieszkańców – dane statystyczne dla wybranych państw członkowskich UE za 2015 r. [95]

	2010	2014	2015	2014 - 2015	2010-2015
Szwecja	28	28	27	-2 %	0 %
Holandia	32	28	28	0 %	-12 %
Niemcy	45	42	43	3 %	-5 %
Francja	64	53	54	2 %	-13 %
Włochy	70	56	56	1 %	-17 %
Polska	102	84	77	-8 %	-25 %
Grecja	112	73	74	2 %	-36 %
Rumunia	117	91	95	4 %	-21 %
UE	63	51	51,5	1 %	-17 %

Źródło: [95]

Porównując wypadkowość i liczby ofiar w dłuższym okresie czasu można zauważyć ich wyraźny spadek [95]. Jest to na pewno spowodowane m.in. większą świadomością uczestników ruchu drogowego oraz różnymi kampaniami społecznymi, które mają nam przypomnieć o zachowaniu większego bezpieczeństwa na drodze. Jednakże należy zwrócić uwagę także na wpływ czynnika technicznego. Wszędzie poprawia się stan infrastruktury drogowej, ale zdecydowanie większy wpływ na poprawę bezpieczeństwa mają wszystkie układy i systemy elektroniczne jakie są montowane w pojazdach. Producenci od ponad 20 lat nie ustają w wysiłkach, aby swoje produkty zaopatrzyć w najnowocześniejsze podzespoły, które w dużej mierze mają na celu uniknięcie niebezpiecznych sytuacji oraz ochronę kierowcy i pasażera już w trakcie wypadku. Oferta jest bardzo szeroka: od układu ABSu i systemów wspomagania hamowania, do systemów ostrzegania, oświetlenia ledowego, czy nawet laserowego, poprzez układy ESP i stabilizacji nadwozia, a lista na tym się nie kończy [8, 96-102]. Można tu zadać pytanie, dlaczego koncerny samochodowe tak bardzo promują najnowsze rozwiązania? Czy chodzi tylko o zyski i wyróżnienie się na tle konkurencji? Wydaje się, że nie jest to jedyna intencja producentów. Chodzi o bardzo silne wsparcie kierowcy w trakcie jazdy. Elektronika działa zdecydowanie szybciej i bardziej precyzyjnie niż człowiek. Statystyki wypadków na całym świecie pokazują wyraźnie, że błędy ludzi stanowią największy odsetek przyczyn wypadków [94, 103-105]. W obliczu tych faktów pytanie nasuwa się samo: Czy nie należałoby wyeliminować ludzi z obszaru decyzyjności w ruchu drogowym, pozostawiając im jedynie rolę pasażerów?

Odpowiedź na powyższe pytanie brzmi jednoznacznie – tak. I tu zaczyna się rola dla pojazdów autonomicznych. Zawierają one w sobie wszystkie systemy wspomaganie kierowcy w czasie jazdy oraz najnowsze układy bezpieczeństwa czynnego i biernego, które przejęły z samochodów tradycyjnych. Badania wskazują, że pojazdy na poziomie 0, 1 lub 2 automatyzacji „uzbrojone” w reflektory adaptacyjne, układy

LWD, „asystenta martwego pola”, układ ACC i rozbudowane systemy „Pre-Safe” mogą ograniczyć liczbę wypadków nawet o jedną trzecią [96-101]. Jeżeli do tego dodać urządzenia do monitorowania otoczenia i pozycjonowania pojazdu w terenie, to otrzymujemy w pełni zautomatyzowany pojazd (poziom 3 lub 4), który potencjalnie może zapobiegać jeszcze większej ilości wypadków, jednocześnie oferując pełną funkcjonalność oraz eliminując opóźnienia i przestoje w trakcie jazdy [4].

5.2. Natężenie ruchu na drogach

W literaturze wymienia się najczęściej trzy czynniki, które opisują przewidywany wpływ pojazdów autonomicznych na natężenie ruchu drogowego [4]. Są to:

- zmniejszenie opóźnień w ruchu drogowym, które wynika z radykalnie zmniejszonej ilości kolizji i wypadków komunikacyjnych,
- zwiększenie przepustowości dróg i ulic,
- zmiany w ogólnej ilości przejechanych kilometrów w ciągu roku w odniesieniu do jednego pojazdu (ang. „vehicle-kilometer-traveled” VKT).

Oczekiwane ograniczenie wypadków drogowych, poprzez redukcje przestojów, „korków” i opóźnień na pewno zwiększyłyby niezawodność systemu transportowego. Należy zauważyć, że poglądy różnych autorów w tej kwestii są rozbieżne. Niektórzy spodziewają się tzw. „efektu odbicia” wieszcząc gwałtowny wzrost ilości pojazdów na drogach, a co za tym idzie większej ilości przejechanych kilometrów przez jeden samochód [6]. Tłumaczą ten efekt większymi możliwościami wykorzystania pojazdów oraz wzrostem liczby użytkowników/właścicieli pojazdów AV, którzy do tej pory nie mogli korzystać z pojazdów lub korzystali w sposób bardzo ograniczony. Temat ten zostanie szerzej omówiony w dalszej części rozdziału.

Ponadto na „efekt odbicia” mogą wpłynąć nowe możliwości samochodów autonomicznych, takie jak samodzielne parkowanie, czy zupełnie bezobsługowe, w pełni automatyczne tankowanie. W rezultacie chętniej będziemy „wysyłać” pojazdy w trasę, niezależnie czy będą one kogoś lub coś wiozły, czy będą jechać puste. Może to także w konsekwencji spowodować zmniejszenie liczby osób korzystających z transportu publicznego i zwiększoną ilość dalszych podróży [106, 107]. Agencja NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*, USA) przewiduje 10% wzrost pojazdów na drogach w wyniku szerokiego wejścia na rynek pojazdów autonomicznych, chociaż są to bardzo ostrożne szacunki, a optymiści dopowiadają, że tylko w początkowym okresie „rewolucji autonomicznej” [4, 106].

Zwiększenie przepustowości dróg może także wzrosnąć, jeżeli pojazdy AV będą powszechnie korzystały z tworzenia tzw. pociągów drogowych. Dziś to pojęcie jest kojarzone z zestawem połączonych mechanicznie ciężarówek z dużą ilością przyczep, ale nic nie stoi na przeszkodzie, aby takie zestawy łączyć „bezprzewodowo”, także w odniesieniu do samochodów osobowych i dostawczych. Dzisiejsza technologia zapewnia takie możliwości, choćby przy użyciu układów adaptacyjnej regulacji odległości ACC [54]. Jeżeli do tego dodać ciągły monitoring otoczenia i pełną kontrolę nad procesem hamowania i przyspieszania (co ma miejsce w pojazdach AV), to widać wyraźnie, że samochody „self-driving” bez trudu mogą poruszać się z dużą prędkością,

zachowując minimalne, nawet kilkudziesięciocentymetrowe odległości pomiędzy nimi, co jest niewykonalne w normalnym ruchu drogowym. Można do tego dodać jeszcze możliwość wpływania takiego „zestawu” drogowego na sterowanie ruchem i w rezultacie mamy jeszcze bardziej wzmocniony efekt zwiększenia przepustowości dróg – nawet do 5 razy [83-85, 108].

Niestety, samo tworzenie „pociągów drogowych” nie może odbywać się samodzielnym. Żeby efekt był zgodny z oczekiwaniami, trzeba będzie sygnalizować wcześniej chęć przemieszczania się z podaniem dokładnego celu podróży, co umożliwi przez system drogowo-transportowy włączenia nas do takiego zestawu drogowego. Niektórzy znawcy tematu proponują nawet utworzenie systemu rezerwacji, który w założeniach usprawni planowanie podróży i bardziej równomiernie rozłoży ruch uliczny i drogowy [83]. Czy taki system ma rację bytu, czy jest zbyt daleko idąca ingerencja w nasze życie – czas pokaże. Niemniej jednak, szacunki pokazują, że łączenie samochodów AV w zestawy drogowe może on usprawnić ruch uliczny 2-3 razy bardziej niż powszechne stosowanie sygnalizacji świetlnej, co będzie tym bardziej widoczne, im więcej pojazdów AV będzie poruszało się po drogach [84, 85]. W rezultacie można powiedzieć, że technologia AV będzie miała pozytywny wpływ na ograniczenie natężenia ruchu, z zastrzeżeniem, że należy się liczyć z początkowym wzrostem ilości pojazdów na drogach. Warto jednak podkreślić, że globalny wpływ samochodów autonomicznych na natężenie ruchu nie został jeszcze do końca zbadany.

5.3. Taksówka, wypożyczony, czy może własny samochód?

Technologie autonomiczne w motoryzacji są współbieżne z usługami typu TAXI, czy wypożyczaniem pojazdów. Niestety, głównie dla kierowców taksówek, jest to informacja niekorzystna, ponieważ sugeruje znaczną redukcję ich miejsc pracy. Pojazdy AV nie potrzebują kierowców, ich czasu i umiejętności, więc nie będą oni już potrzebni. Usługi taksówkarskie powinny stać się przez to zdecydowanie tańsze, co z kolei może zniechęcać do posiadania własnego samochodu. Z drugiej strony, skoro umiejętność i doświadczenie w kierowaniu pojazdem nie jest już kwestią kluczową, na pewno zapłacimy mniej za ubezpieczenie komunikacyjne w przypadku posiadania, czy wypożyczenia samochodu (to akurat zła informacja dla towarzystw ubezpieczeniowych). Jak widać, opracowanie jednego, wydawałoby się, rewolucyjnego wynalazku, przynoszącego na pierwszy rzut oka same korzyści, niesie ze sobą daleko idące konsekwencje, również te niekorzystne.

Korzystanie z pojazdów AV można porównać do współdzielenia pojazdów (ang. *Carsharing*) lub usług typu „samochód na żądanie” (ang. *E-hailing*), które stają się bardzo dynamicznie rozwijającym się biznesem. Jest to atrakcyjna wizja dla przedsiębiorców, którzy będą oferować usługi tego typu, korzystając z floty pojazdów autonomicznych [1]. Przykładem jest tutaj amerykańska (a może już globalna) firma Uber Technologies Inc., która jest twórcą genialnej w swoim założeniu aplikacji mobilnej „Uber”. Pozwala ona na zamawianie usług transportu samochodowego za pomocą smartfonu poprzez kojarzenie pasażerów z kierowcami korzystającymi z tej właśnie aplikacji [109]. W rezultacie gospodarstwa domowe mogą uznać, że pojazd

autonomiczny „na żądanie” jest wygodniejszy i zdecydowanie tańszy niż wynajęcie samochodu, czy skorzystanie z tradycyjnej taksówki, nie wspominając o posiadaniu własnego auta. Ponadto, biorąc pod uwagę fakt, że korzystanie z autonomicznej „taksówki” nie wiąże się z kosztami w postaci serwisowania, opłat parkingowych, czy administracyjnych, wizja kolosalnych oszczędności właściwie przekonuje każdego do nowego sposobu podróżowania.

Potencjalna popularność współdzielenia, czy wypożyczania na żądanie pojazdów AV pokazuje jeszcze jeden aspekt sprawy. Badania wskazują, że doprowadzi ona do obniżenia ilości przejechanych kilometrów na jeden samochód [110]. Co więcej, ilość pojazdów przypadających na jedno gospodarstwo domowe zmniejszy się nawet o 43% (z 2,1 do 1,2 pojazdu przypadającego na jedno gospodarstwo domowe) [111]. Niemniej jednak, jak wspomniano wcześniej, znaczne obniżenie kosztów podróży pozwoli na wzmoczone korzystanie z samochodów osobowych przez osoby o niższych dochodach. Będziemy mieli przez to więcej chętnych do skorzystania z jednego samochodu przy zmniejszonej liczbie pojazdów. W efekcie spowoduje to jego wzmoczone zużycie i przejechany dystans zwiększony nawet o 75% (11 661 do 20 406 mil przejechanych na pojazd rocznie – dane na rynek amerykański) [111]. Przytoczone dane nie uwzględniają trasy przejechanej w ramach powrotu pojazdu do stałego miejsca parkowania.

Podsumowując, można powiedzieć, że pojazdy autonomiczne mają duży potencjał do obniżania wielu kosztów związanych z podróżowaniem na krótsze i dłuższe dystanse, zwłaszcza jeżeli rozpatrywać użytkowanie samochodów prywatnych. Koszty te będą jeszcze niższe, jeżeli zwiększy się ilość oferowanych usług typu „samochód na żądanie” oraz „taksówek” autonomicznych. Jednak nie do końca wiadomo, jaki to będzie miało wpływ na sumaryczną ilość przejechanych kilometrów przez jeden pojazd rocznie.

5.4. Pojazdy autonomiczne, a pojazdy elektryczne

Troska o ochronę środowiska, ograniczone zasoby ropy naftowej na świecie oraz znaczne zwiększenie świadomości ekologicznej stały się motorem rozwoju pojazdów o napędzie elektrycznym (ang. *Electric Vehicle*, EV) i hybrydowym (ang. *Hybrid Vehicle*, HV). Jak wielkie możliwości widzą koncerny motoryzacyjne w tej technologii widać po wciąż pojawiających się nowych modelach pojazdów tzw. zero-emisyjnych (ang. *Zero-Emission-Vehicle*, ZEV), zawierających coraz bardziej udoskonalone napędy elektryczne i źródła zasilania [112, 113].

Pojazdy elektryczne mają jeden podstawowy mankament – ograniczony zasięg, który wynika z pojemności akumulatora wysokonapięciowego, będącego źródłem energii dla napędu, oraz braku dostatecznej ilości punktów szybkiego ładowania [114-116]. Na szczęście jest to problem, który z roku na rok staje się coraz mniejszy, za sprawą rozwijanej technologii związanej z napędami alternatywnymi i akumulatorami.

W tym kontekście widać, że samochody elektryczne sprawdzają się najlepiej tam, gdzie trasy do przebycia są stosunkowo krótkie i gdzie zależy nam na ograniczeniu emisji spalin, ze względu na ich natężenia. Czyli w miastach. A jeżeli tak, to dlaczego

by nie połączyć technologii pojazdów autonomicznych z samochodami elektrycznymi? Odpowiedź można znaleźć na ulicach wielu miast. Praktycznie wszystkie firmy wkraczające w obszar pojazdów autonomicznych od samego początku ogłaszają wykorzystanie w swoich produktach napędów elektrycznych. Dokładna lokalizacja pojazdu, zachowanie łączności on-line oraz możliwość nawigowania z uwzględnieniem wielu czynników, to wszystko sprawia, że problem zasięgu, czy odnalezienia punktu szybkiego ładowania przestaje istnieć. Flota pojazdów AV rozwiewa wszelkie obawy związane zasięgiem samochodu, dostępem do infrastruktury ładowania i zarządzaniem czasem ładowania [117, 118]. Firmy oferujące elektryczne pojazdy autonomiczne oceniają koszt przejechanej mili na porównywalny lub niższy od koszty przejechania takiego samego odcinka w przypadku użytkowania tradycyjnego samochodu, będącego własnością prywatną [119]. Najprawdopodobniej autonomiczne samochody elektryczne zawładną rynkiem wynajmu pojazdów, a dzięki nim koszty usług transportowych „na żądanie” obniżą się jeszcze bardziej.

5.5. Podatki za „korki”?

Jak wspomniano wcześniej, powszechna dostępność do pojazdów autonomicznych może zaowocować wzmożoną mobilnością społeczeństwa, czyli większą ilością pojazdów na drogach, a co za tym idzie zagęszczeniem ruchu drogowego i pogorszeniem przepustowości dróg („efekt odbicia”). Przewidując przyszłe problemy, niektóre ośrodki badawcze proponują wzmożenie prac na ruchem transportowym w skali mikro i makro, aby już teraz wnikliwie rozpoznać problem podróży i przygotować się na efekty wprowadzenia technologii autonomicznej w życie. [2] Przykładem może być tu propozycja naukowców z Uniwersytetu w Delft w Holandii złożona rządowi holenderskiemu dotycząca podjęcie działań mającymi na celu racjonalne zarządzanie zapotrzebowaniem na podróże lokalne [120].

Jedną z propozycji jest ustanowienie opłat administracyjnych za nadmierne zwiększanie ruchu drogowego. Pozwoliłoby to na równomierne obciążenie tras i ograniczało niepotrzebne przejazdy mieszkańców danego regionu. Z drugiej strony należy pamiętać, że takie rozwiązania można potraktować jako dodatkowe obciążenie podatkowe lub ograniczanie wolności osobistej. Problem ten jest wciąż wnikliwie rozpatrywany w celu znalezienia najlepszego rozwiązania [121]. Wysoki poziom technologii komunikacyjnych właściwy dla pojazdów AV może w znacznym stopniu uelastyczyć narzucone kwoty i usprawnić pobieranie opłat.

5.6. Czas to pieniądz

Z codziennych rozmów wynika, że większość kierowców uważa czas spędzony „za kółkiem” na dojazdach do pracy, domu, szkoły, sklepu, itp. za zmarnowany – ważniejszy jest cel podróży niż samo podróżowanie. Trudno znaleźć choć jedną osobę, która lubi stać w korkach lub nie narzeka z powodu opóźnień, czy poszukiwania miejsca do zaparkowania. Wynika z tego, że im jazda jest mniej płynna i pojawiają się opóźnienia, tym mniej przyjemności mamy z kierowania pojazdem. Dodatkowo statystyki pokazują, że stojąc w „korkach” marnujemy od 40 do nawet 80% średniego

wynagrodzenia miesięcznego w skali roku i zajmuje nam to od 4 do 9 godzin miesięcznie w zależności od miasta. Łączny koszt dla gospodarki Polski takich przestojów w 2015r. stanowił 0,19 proc. PKB Polski i wyniósł ok 3,3 mld złotych [122, 123].

Co moglibyśmy zrobić, gdyby jazda samochodem nas nie absorbowwała? Ile dałoby się zaoszczędzić, gdyby problem korków zniknął? Ile byśmy zyskali, gdyby czas podróży ograniczyć do minimum? Trudno podać szczegółowe odpowiedzi na tak postawione pytania, ale wszyscy czujemy, że ogólnie można je skwitować jednym słowem – dużo. A czy jest rozwiązanie tego problemu? Tak. Jest to samochód autonomiczny. Możliwości pojazdów AV zaprezentowane w pierwszych rozdziałach niniejszego artykułu wskazują wyraźnie, że szerokie wprowadzenie samochodów autonomicznych na rynek dałoby kolosalne oszczędności czasu i pieniędzy. Brak zatorów drogowych, likwidacja opóźnień, przewidywalny czas podróży graniczący z pewnością, uwolnienie się od przymusu ciągłej koncentracji i kontrolowania sytuacji na drodze – to tylko niektóre z korzyści użytkowania pojazdów AV [4, 106]. Czas spędzony na dojeździe do pracy bez problemu można wykorzystać na przejrzenie korespondencji, zaznajomienie się z raportami, czy chociażby na chwilę relaksu. A jeżeli nasz czas pracy możemy liczyć od wyjścia z domu, to oznacza także, że wcześniej wrócimy i więcej czasu będziemy mogli poświęcić rodzinie i przyjaciołom.

Samochody autonomiczne pozwolą zaoszczędzić czas do tej pory przeznaczony na pomoc osobom trzecim. Nie będziemy już musieli rezerwować sobie dodatkowego czasu na odwożenie dzieci do szkoły, czy dodatkowe zajęcia. Wystarczy przecież „wysłać” samochód pod szkołę, a po zabraniu małych pasażerów wróci sam – my ten czas możemy przeznaczyć na inne zajęcia.

Warto tu jeszcze zwrócić uwagę na dodatkowy problem wyboru miejsca zamieszkania. Czas dojazdu i odległość od miejsca pracy, czy szkoły jest jednym z ważniejszych czynników, który wpływa na decyzję o lokalizacji naszego domu. Jeżeli transport oparty na pojazdach autonomicznych daje takie oszczędności czasowe, nic nie stoi na przeszkodzie, aby zamieszkać na terenach bardziej oddalonych od centrów miast, gdzie możemy zaoszczędzić na zakupie nieruchomości oraz mamy możliwość żyć w mniej zanieczyszczonym środowisku.

Jak widać pojazdy „self-driving” redukują koszty podróży i pozwalają nam na oszczędności czasu, które możemy spożytkować według własnego upodobania.

5.7. Wpływ autonomiczności na zagospodarowanie przestrzenne

Pojazdy autonomiczne mogą mieć głęboki i długotrwały wpływ na politykę użytkowania gruntów. Wartość metra kwadratowego terenu wzrasta wraz ze zbliżaniem się do centrum miast, co powoduje, że wiele osób poszukuje domów z dala od centrum, licząc na niższą cenę. Wymusza to jednak dodatkowe wydatki na transport związany z dojazdem do miejsca pracy, szkoły, czy centrów handlowych. Właśnie transport i jego natężenie jest charakterystyczne dla terenów wielkomiejskich. Potwierdzeniem tego faktu jest wpływ rozwijającej się motoryzacji na pojawienie się i rozrost przedmieść na początku XX w.

Związek między pojazdami autonomicznymi a użytkowaniem gruntów jest dwojakiego rodzaju. Z jednej strony dostępność samochodu AV i obniżone koszty podróżowania mogą skłonić ludzi do zasiedlania terenów oddalonych od miasta, przy zachowaniu ścisłych z nim związków (praca, szkoła, itp.). Dałoby to w efekcie dalszy rozwój przedmieść, nawet na niespotykaną do tej pory skalę. Z drugiej strony korzystanie z samochodu „self-driving” nie wymaga dużego zapotrzebowania na miejsca parkingowe, co oznacza, że można je przeznaczyć na inne cele, jak np. budynki mieszkalne, usługowe, czy biurowe. Dzięki temu dzielnice centralne mogą znacznie zwiększyć zagęszczenie budynków. Jaka to może być skala, niech świadczy fakt, które mówi, że miejsca parkingowe w największych metropoliach zajmują sumarycznie kilkadziesiąt procent powierzchni ścisłego centrum (San Francisco – 31%, Nowy Jork – 18%, Los Angeles – 81%) [124, 125].

Z powyższych rozważań wynika, że w dłuższym okresie czasu, użytkowanie pojazdów autonomicznych prawdopodobnie da impuls do powstania wielu nowych budynków w centrach miast, przy znacznym ograniczeniu miejsc parkingowych. Jednocześnie spowoduje rozwój przedmieść i bardziej intensywne zagospodarowywanie terenów otaczających metropole [2, 4].

5.8. Pojazdy „self-driving” w krajach rozwijających się

Użytkowanie samochodów autonomicznych może także obejmować tereny niezabudowane, czy nawet pozbawione infrastruktury drogowej. Wprawdzie ograniczy to działanie niektórych z systemów lokalizacji i monitorowania otoczenia, ale biorąc pod uwagę globalną dostępność GPSu oraz znacznie zmniejszony ruch pojazdów i tak zostanie utrzymana funkcjonalność pojazdu przy zachowaniu bezpieczeństwa. Jest to doskonały prognostyk dla krajów rozwijających się. Brak dobrych dróg, mostów oraz ograniczony transport publiczny blokuje rozwój gospodarczy. Powszechne wykorzystanie pojazdów autonomicznych, np. w wersji terenowej może utworzyć sieć połączeń komunikacyjnych przy minimalnych nakładach na infrastrukturę drogową. O tym, że taki eksperyment może się udać, niech świadczy fakt telefonizacji krajów rozwijających się za pomocą telefonii komórkowej, co pozwoliło zwolnić środki przeznaczone na budowę kosztownej infrastruktury łączności stacjonarnej [4, 126].

5.9. Czy samochody autonomiczne uratują środowisko?

Oprócz wspomnianej wcześniej oszczędności czasu i wydatków jest jeszcze jeden aspekt użytkowania pojazdów autonomicznych, który chętnie przedstawiają ich producenci – ekologia. W literaturze najczęściej są wymieniane trzy czynniki, związane z samochodami AV, które potencjalnie wpłyną na środowisko [4]:

- poprawa efektywności zużycia paliwa przez pojazdy „self-driving”,
- zużycie paliw kopalnych i związana z tym emisja substancji szkodliwych w odniesieniu do zasilania pojazdów AV,
- zmiana przebiegu rocznego jednego pojazdu (VKT) wynikająca z użytkowania pojazdów autonomicznych.

Należy wyraźnie zaznaczyć, że wszystkie samochody z silnikami spalinowymi są projektowane tak, aby zużywały coraz mniej paliwa. Wynika to w prosty sposób z postępu technicznego oraz nacisków ze strony czynników decyzyjnych, biorących poważnie pod uwagę zagrożenia środowiskowe współczesnego świata. Szacuje się, że w ciągu ostatnich 30 lat zapotrzebowanie na paliwo dla samochodów osobowych spadło o połowę [127]. Oprócz coraz bardziej ulepszanego sterowania układem napędowym, w pojazdach montuje się układy i systemy, które optymalizują jazdę pod kątem bezpieczeństwa i, w następnej kolejności, zużycia paliwa, a co za tym idzie ograniczenia emisji spalin. System jazdy, określane jako „eco-driving”, jest wynikiem działania systemów wspomagających kierowcę, takich jak aktywny tempomat, układ „start-stop”, czy sterowanie silnikiem i skrzynią biegów w trybie ekonomicznym. Daje to w efekcie ograniczenie zużycia paliwa od 4% do 10% [128].

Zakładając, że pojazdy autonomiczne będą wciąż pracowały w oparciu o silnik spalinowy, to sam fakt zwiększenia przepustowości dróg, zachowania płynności jazdy i radykalne ograniczenie powstawania „korków” na drogach jeszcze zwiększy oszczędności w konsumpcji benzyny, czy oleju napędowego. Także komunikacja pomiędzy samochodami pozwalająca poprawić natężenie ruchu, optymalizować jazdę i tworzyć przejazdy kolumnowe („pociągi drogowe”) spowoduje zmniejszenie maksymalnych prędkości chwilowych, co ograniczy zużycie paliwa, przy jednoczesnym zwiększeniu prędkości średnich, co z kolei skróci czas przejazdu [2, 4, 129].

Poziom bezpieczeństwa jaki oferują pojazdy autonomiczne jest, jak do tej pory niespotykany. Jeżeli testy w pełni potwierdzą przewidywania producentów, a wszystko na to wskazuje, to samochody AV nie dość, że same nie będą powodowały wypadków, ale i będą mogły unikać wszelkich kolizji nie dopuszczając do niebezpiecznych sytuacji. Może to spowodować zmianę trendów w obszarze systemów bezpieczeństwa biernego, a zwłaszcza konstrukcji mechanicznej pojazdów. Zwiększony poziom bezpieczeństwa na drodze może pozwolić na „odchudzenie” pojazdu ze względu na ograniczenie wzmocnień szkieletu, nawet o 20% względem pojazdów tradycyjnych [128]. Efektem będzie ograniczenie zużycia paliwa o kilkanaście procent (6-7% na każde 10% spadku wagi) [4, 127, 130-132].

Radykalne ograniczenie zużycia paliwa (do 0l/100km) nastąpi przy zamianie pojazdów spalinowych na elektryczne. Pojazdy ZEV całkowicie zlikwidują emisję substancji szkodliwych w miejscu ich powstawania. Wprawdzie dzieje się tak niezależnie czy samochód elektryczny jest jednocześnie autonomiczny, czy nie, ale możliwości optymalizowania trasy i utrzymywania ekonomicznych prędkości, pozwoli ograniczyć zużycie energii, którą trzeba przecież dostarczyć co jakiś czas do akumulatora. To również będzie miało znaczący wpływ na ochronę środowiska.

Niezależnie od tego, czy samochód jest bardziej, czy mniej ekologiczny, na ilość wykorzystanego paliwa i emisję spalin wpływa też długość przejechanej trasy. Im dłuższy przejechany odcinek, tym więcej potrzeba paliwa. I tu zastosowanie pojazdów autonomicznych może mieć wpływ na zużycie benzyny, czy oleju napędowego. Zmiana sposobu użytkowania pojazdu autonomicznego, jak wspomniano w rozdziale 5.2, wpływa na ogólną ilość przejechanych kilometrów w ciągu roku w odniesieniu do

jednego pojazdu (VKT), a co za tym idzie na ilość paliwa wykorzystanego w trakcie jazdy. Czy będzie to wzrost, czy spadek – nie wiadomo. Zależy to w głównej mierze, czy użytkownicy będą racjonalnie korzystać z samochodów autonomicznych (spodziewany spadek), czy urzeczeni dostępnością i udogodnieniami oferowanymi przez tego typu auta, zwiększą radykalnie ilość swoich podróży (oczekiwany wzrost).

5.10. Socjalne aspekty użytkowania pojazdów AV

Na zakończenie należy wspomnieć o jeszcze jednej, istotnej sprawie związanej z pojawieniem się koncepcji pojazdów autonomicznych. Chodzi o poprawę „mobilności” ludzi starszych i niepełnosprawnych. Do tej pory osoby te miały bardzo ograniczony kontakt z motoryzacją. Albo ze względu na stan zdrowia, albo ze względu na wiek były one zdane jedynie na transport publiczny, który też nie jest wolny od wad lub na korzystanie z pojazdów wypożyczonych, ale najczęściej z kierowcą, co jest kłopotliwe i kosztowne. Pojazdy AV likwidują te ograniczenia. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby taki samochód kupiła osoba niewidoma, czy niepełnosprawna w stopniu uniemożliwiającym otrzymanie prawa jazdy. Pozwoliłoby to jej przemieszczać się bez ograniczeń i korzystania z pomocy osób trzecich. Także osoby w podeszłym wieku mogłyby przemieszczać się nawet na dalsze odległości, nie martwiąc się, czy dadzą sobie radę w ruchu ulicznym, bądź na trasie.

Podobnie ma się sprawa z osobami zbyt młodymi na posiadanie uprawnień do prowadzenia pojazdów. Samochód będzie w pełni ich dyspozycji, niezależnie od wieku. Wystarczy przecież tylko wsiąść i wskazać cel podróży. Problem przewozu dzieci, gdzie rodzic, czy opiekun musi poświęcać swój czas, aby wypełnić rolę kierowcy, także zostanie zmarginalizowany przy pomocy pojazdów „self-driving” (patrz podrozdział 5.6)

Warto też pochylić się nad jeszcze jednym problemem, bardzo istotnym z punktu bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego. Posiadanie, czy ogólnie rzecz ujmując, korzystanie z samochodu AV, wyeliminuje kierowców, którzy próbują prowadzić samochód pomimo stanu nietrzeźwości. Jeżeli tylko dany osobnik będzie w stanie wskazać miejsce docelowe, dojedzie co celu nie zagrażając innym kierowcom i pieszym.

I jeszcze na zakończenie warto wspomnieć o kwestii samej inwestycji, jaką jest zakup samochodu. Jest to dość duży wydatek i nie wszystkich na niego stać. Ten problem również rozwiązuje technologia autonomiczna. Osoby z niższymi dochodami będą mogły sobie pozwolić na korzystanie z usług „pojazd na żądanie”, gdyż, jak na to wskazano wcześniej, koszty przejazdu będą dużo niższe niż, np. wypożyczenie samochodu, czy przejazd taksówką z kierowcą. Dzięki temu, będzie można w jakiej mierze likwidować nierówności społeczne, przynajmniej w obszarze transportu.

6. Obawy i dylematy dotyczące pojazdów autonomicznych

Jak każdą nowość, także samochód autonomiczny, społeczeństwo przyjmuje z pewną rezerwą. Oczywiście zawsze znajdą się entuzjaści, którzy bezkrytycznie będą się zachwycać i zachwalać najnowszy produkt postępu technicznego. Jednak większość znawców tematu, naukowców, inżynierów, dziennikarzy, czy miłośników

motoryzacji, oprócz niewątpliwych zalet zauważają także problemy związane z użytkowaniem pojazdów, w których kierowca nie jest niezbędny. Większość pytań stawianych producentom, którzy reklamują swoje samochody „self-driving”, prawie jako remedium na wszystkie problemy współczesnego świata, sprowadza się głównie do tematu „bezpieczeństwo”. I to należy się odwołać do tytułu niniejszej publikacji: „Czy samochód autonomiczny to samochód bezpieczny?”. Pytanie to stawia sobie niejeden przeciętny kierowca i trudno mu znaleźć odpowiedź na nie w gąszczu informacji prezentowanych przez media. A przecież w świetle informacji przedstawionych w poprzednich rozdziałach, pojazd autonomiczny jawi się prawie jako produkt doskonały, którego niedociągnięcia są tylko chwilowe i wymagają jedynie opracowania i zastosowania jakiegoś nowego rozwiązania technicznego, które na pewno pojawi się niebawem. Może i tak będzie, ale na razie warto pamiętać, że użytkowanie tego „doskonałego” urządzenia rodzi wiele problemów, nie tylko natury technicznej. Jak daleko one sięgają i jakich obszarów naszego życia dotyczą zapewne nie spodziewali się pomysłodawcy tej technologii. Dopóki samochody AV pozostawały na etapie testów wielu problemów nie było widać. Dopiero gdy wyjechały na ulice, okazało się jak bardzo rewolucyjny jest to wynalazek. Dosłownie i w przenośni.

W dalszej części niniejszego rozdziału zostaną zaprezentowane obszary, w których najbardziej widać niedoskonałości samochodów AV, a nawet zagrożeń. Warto przyjrzeć się im dokładniej, gdyż wszystko wskazuje na to, że pojazdy „self-driving” jednak staną się w ciągu kilku, bądź kilkunastu lat naszą codziennością.

6.1. Etyczne aspekty funkcjonowania pojazdów autonomicznych

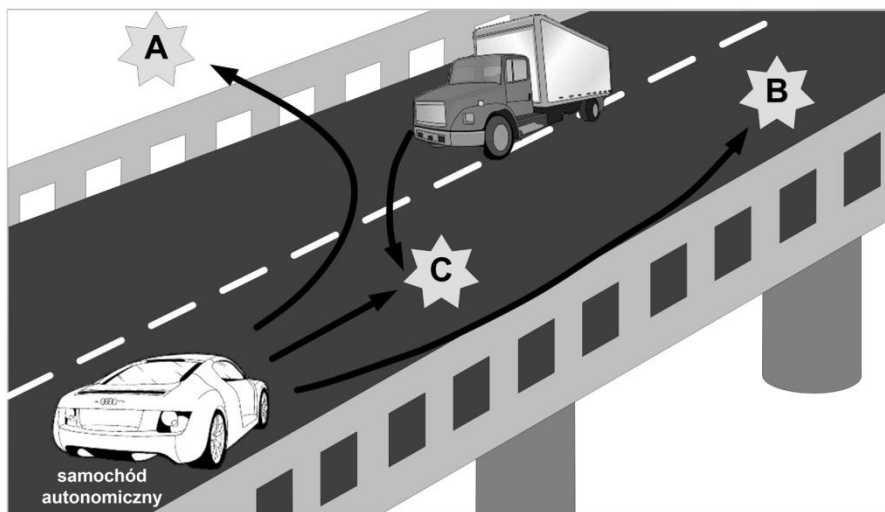
Układy i systemy montowane w pojazdach od dłuższego czasu są z znacznym stopniem oparte o działanie układów elektronicznych. Zawierają w sobie mikroprocesory, pamięci scalone, różnego rodzaju sensory i półprzewodnikowe elementy wykonawcze dużej mocy. Ich zadaniem jest wspomaganie kierowcy w sytuacjach niebezpiecznych, ponieważ elektroniczne układy sterujące pracują szybciej i precyzyjniej niż człowiek [102, 133, 134]. Postęp techniczny spowodował, że elektronika przejmuje kontrolę nad coraz większą ilością funkcji w pojazdach. Dzięki temu minimalizowane są błędy kierowców, liczba wypadków i kolizji zastała znacznie ograniczona, a ruch na drogach staje się bezpieczniejszy. Taki sam cel przyświecał projektantom pojazdów autonomicznych, które zawierają w sobie wszystkie układy wspomagające połączone w jeden system (patrz rozdz. 4). Jednak, o ile w pojazdach tradycyjnych elektronika ma tylko wspomagać, a to kierowca jest w pełni odpowiedzialny za manewry pojazdu, o tyle w pojazdach AV to właśnie elektronika przejmuje pełną odpowiedzialność za to co się dzieje z samochodem. Cały system kontroli i sterowania byłby o wiele prostszy, gdyby wszystkie pojazdy były autonomiczne. Niemniej jednak, na drogach jeszcze długo będą funkcjonowały auta kierowane przez ludzi oraz piesi, którzy będą zawsze obecni w każdym systemie transportowym. Dlatego też sterowniki silnika, skrzyni biegów, układu hamulcowego, kierowniczego, systemów bezpieczeństwa czynnego i biernego powinny być zaopatrzone w oprogramowanie, którego algorytmy uruchamiają gotowy scenariusz

postępowania w przypadku każdej sytuacji drogowej, zwłaszcza jeżeli chodzi o sytuacje niebezpieczne [2]. Czy jest to możliwe? Wydaje się, że nie, ponieważ nie da się przewidzieć wszystkiego, a każde zdarzenie drogowe jest inne. Czy wobec tego, możemy mieć zaufanie do naszego pojazdu autonomicznego, że zawsze wybierze najbardziej optymalne rozwiązanie i bezpiecznie wyprowadzi nas z opresji? Właśnie – nas, czy może innych? Kto jest ważniejszy: my w naszym samochodzie, czy inni użytkownicy drogi? Czyje życie i zdrowie jest cenniejsze?

Powyższe pytania tylko z pozoru są zbyt górnolotne, jak na rozważania o technicznych aspektach motoryzacji. Nie bez przyczyny ta tematyka pojawia się w wielu publikacjach od dłuższego czasu [135-141]. Aby dokładniej przedstawić wagę problemu, omówmy przedstawione poniżej sytuacje drogowe² [2, 140]:

- Sytuacja 1: Wyobraźmy sobie, że na skrzyżowaniu drogę naszego pojazdu AV zaraz przetnie inny samochód, w którym jadą dwie osoby, i który właśnie przejeżdża skrzyżowanie na czerwonym świetle. Możliwości są dwie: albo próbować wyhamować ryzykując uderzenie w bok samochodu łamiącego przepisy, albo gwałtownie skręcić unikając zderzenia, ale jednocześnie wjeżdżając w pieszego, który czeka na zmianę świateł. Dylemat polega na tym, czy ryzykować śmierć lub obrażenia niewinnego pieszego, czy kierowcy-pirata i jego pasażera,
- Sytuacja 2: Te same okoliczności, co powyżej, ale na skrzyżowaniu nie ma żadnego pieszego. Teraz możliwe jest, albo zderzenie z pojazdem na kursie kolizyjnym, albo ucieczka w bok i ryzyko uderzenia w budynek, słup, itp. Żeby sprawę jeszcze bardziej zagmatwać, załóżmy, że nie mamy ubezpieczenia AC. W efekcie wybieramy pomiędzy zderzeniem pojazdów, licząc, że szkody będą pokryte z OC sprawcy, choć nie wiadomo, czy wyjdzie cało z wypadku, a mniejszym uszkodzeniem naszego pojazdu po uderzeniu w np. słup (bez odszkodowania), przy całkowitej pewności, że drugi kierowca ucieknie,
- Sytuacja 3: Na rysunku 5 widać, że na moście ciężarówka nagle zjeżdża ze swojego pasa ruchu, kierując się prosto na nas. Jakie rozwiązanie wybierze pojazd autonomiczny? Czy skręci w lewo unikając zderzenia, ale ryzykując przebicie barierki i lot w dół (A)? A może skręci w prawo, minimalizując prawdopodobieństwo zderzenia pojazdów kosztem otarcia się o barierkę, ryzykując jednocześnie, że autobus może uderzyć w nasz bok wypychając nas poza jezdnię (B)? Czy może w końcu, gwałtownie hamując, doprowadzi do zderzenia, licząc na mniejsze skutki kolizji przy niskich prędkościach (C)?

² Na stronie <http://moralmachine.mit.edu/> można prześledzić różne scenariusze, które są rozpatrywane w kontekście funkcjonowania pojazdów autonomicznych w ruchu drogowym.



Rysunek 5. Trzy alternatywne scenariusze dla samochodu autonomicznego w sytuacji, gdy ciężarówka jadąca z naprzeciwka zjeżdża na przeciwny pas ruchu (opracowanie własne na podstawie [140])

Wiele tego typu dylematów przeżywają kierowcy na drogach niemal każdego dnia i wybierają, to co im w danym momencie podpowie doświadczenie, intuicja lub po prostu zdają się na ślepy los. Czy od maszyny możemy oczekiwać podobnych reakcji? Liczymy raczej na zdecydowane podjęcie decyzji, której skutki będą niosły za sobą jak najmniejsze straty. Przecież komputery w samochodzie mają wspomagać nas i „wyręczać” w szybkim reagowaniu w trudnych sytuacjach. Tylko, czy na pewno podjęta decyzja będzie najlepsza? I dla kogo?

Etyczne aspekty działania samochodów autonomicznych zapewne jeszcze długo będą obiektem badań i dyskusji inżynierów, prawników, psychologów i filozofów. Aż do momentu kiedy nie stwierdzimy, że nasz pojazd jest w 100% bezpieczny – dla nas i dla innych. Bo skoro powierzamy nasze zdrowie i życie maszynie, to chcemy mieć pewność, że zadba ona o nie w pełni, bezpiecznie przewożąc nas z punktu A do B. Aktualnie takiej pewności nie mamy.

6.2. Cyberbezpieczeństwo, a samochody „self-driving”

„Bezpieczeństwo” pojazdów autonomicznych można rozpatrywać w jeszcze jednym kontekście – bezpieczeństwa wymiany danych cyfrowych. Do niedawna nie był to problem, na który zwracali uwagę zwykli użytkownicy urządzeń cyfrowych, a już na pewno był on odległy właścicielom samochodów. Bardziej istniał on w dyskusjach akademickich i wizjach przyszłości, jakie przedstawiali eksperci branży motoryzacyjnej. Jednak ze względu na doświadczenia związane z użytkowaniem komputerów i urządzeń mobilnych oraz korzystaniem z Internetu, zwłaszcza w ostatnich latach, temat ten szerzej zainteresował opinię publiczną, zwłaszcza w kontekście cyberprzestępczości [142].

Od kilku lat systematycznie wzrasta ilość przestępstw związanych z nielegalnymi działaniami w sferze komunikacji mobilnej i internetowej [143]. Problem ten nie omija także motoryzacji. Głośno było w mediach o przejęciu przez hakerów pełnej kontroli nad jadącymi pojazdami i kłopotach, jakie z tego powodu miały koncerny samochodowe [142, 144, 145]. Wskazało to jednoznacznie na lukę pomiędzy nowoczesnymi systemami teleinformatycznymi montowanymi w pojazdach (telmatyka), a ochroną wymiany danych cyfrowych przed niepożądaną ingerencją zewnętrzną. Problem staje się jeszcze bardziej istotny, w obliczu nadchodzącej ery samochodów autonomicznych.

Cyberprzestępczość związana z pojazdami AV dotyczy dwóch obszarów: funkcjonowania samochodu, jako takiego oraz komunikacji i wymiany danych pomiędzy pojazdami w ramach całego systemu. [2, 142, 146]. Pierwszy przypadek dotyczy głównie przekłamywania danych pozyskiwanych przez układy sterujące z sensorów zamontowanych w danym aucie. Pomijając złożoność przetwarzania tych sygnałów, procedura wykrycia zafałszowanych danych jest stosunkowo prosta i tożsama z diagnozowaniem czujników w trakcie ich pracy. Wystarczy pozyskiwać te same dane z różnych sensorów i porównać je, eliminując ten, który z punktu widzenia sterowników podaje dane nieprawdziwe, a w rzeczywistości jest zastąpiony źródłem zewnętrznym. Dobrze opracowane algorytmy diagnozujące wydają się być wystarczającym rozwiązaniem, aczkolwiek sprawdzą się one jedynie w przypadku ataku tylko na niektóre systemy w pojeździe. Problem staje się poważniejszy, gdy zaatakowane są wszystkie systemy naraz, ale i w tym przypadku pojawiają się propozycje zabezpieczeń [147].

W drugim przypadku, gdy zagrożona jest komunikacja pomiędzy pojazdami lub pomiędzy pojazdem a infrastrukturą drogową (V2V oraz V2I/I2V), proponuje się również pozyskiwanie i porównywanie tych samych danych z różnych źródeł. Rozwiązanie to jednak bardzo komplikuje system komunikacji, a przez to może go przeciążać i spowalniać. Ponadto może także zapewnić osobie atakującej dodatkowe możliwości wprowadzenia do systemu fałszywych danych. W każdym razie systemy wymiany informacji V2V oraz V2I/I2V, powinny być zaprojektowane tak, aby działały płynnie w przypadku skoordynowanych ataków z wielu źródeł, choć wydźwięk tego stwierdzenia jest zbyt ogólnikowy i może nawet trochę naiwny. Prace nad udoskonaleniem tych systemów wciąż trwają.

Osobną uwagę znawcy tematu poświęcają nielegalnemu manipulowaniu danymi z systemu GPS i jemu podobnym. W pojazdach autonomicznych odgrywają one kluczową rolę, pozwalając lokalizować samochód na mapach cyfrowych i prawidłowo kierować nim w trakcie jazdy. Dlatego ataki na globalne systemy nawigacji satelitarnej są postrzegane jako najbardziej groźne, gdyż mogą doprowadzić do niepoprawnych, a przez to zagrażających życiu uczestników ruchu, manewrów na drodze [148]. Rozwiązaniem byłoby zastosowanie w każdym samochodzie modułu SAASM (ang. *Selective Availability and Antispoofing Module*), ale jest on bardzo kosztowny i trudno dostępny, ze względu na zastosowania militarne [149].

Jak wspomniano wcześniej, wprowadzanie fałszywych informacji do systemu wymiany danych V2V oraz V2I/I2V może doprowadzić do powstania na drodze sytuacji niebezpiecznych, czy nawet zagrażających życiu. Dlatego ochrona całego systemu przed cyberatakami jest tak ważna. Żeby jednak była ona skuteczna, wymagane jest jej ciągle uaktualnianie, a zwłaszcza bieżące wprowadzanie aktualizacji oprogramowania sterowników zainstalowanych w pojazdach [150]. Ponadto specjaliści wskazują, że należy poddać gruntownej modyfikacji obecnie stosowanych standardów dotyczących cyberbezpieczeństwa, rekomendowanych przez European Telecommunications Standards Institute (ETSI) lub American National Standards Institute's (ANSI) [2, 142]. Pamiętając również, że pojazdy autonomiczne opierają swoje działanie na informacjach historycznych, wprowadzonych do systemu przez inne samochody, warto zwrócić uwagę na problem ich weryfikacji przed zapisem w bazie danych.

Jak widać z powyższych rozważań, pomimo mocnego akcentowania „bezpieczeństwa” pojazdów autonomicznych, ochrona danych i systemów komunikacji została przeoczona [146]. W najlepszym przypadku producenci oparli się o rozwiązania znane z obszaru ochrony przed cyberatakami urządzeń mobilnych, co okazało się niewystarczające. Wyraźnie widać, że potrzebne są zupełnie nowe regulacje dotyczące tego obszaru [151]. Oczekiwania potencjalnych użytkowników pojazdów AV dotyczących cyberochrony oraz wymagania przedstawiane przez operatorów systemów komunikacyjnych angażujących się w rozwój tej gałęzi motoryzacji, muszą być uwzględnione już na etapie projektowania. Należy uwzględnić, że samochód AV jest złożonym „systemem” samym w sobie oraz dodatkowo jednym z komponentów tworzących szerszy „system” drogowo-komunikacyjny, więc wymaga ochrony na każdym z tych poziomów, a zwłaszcza wszędzie tam, gdzie następuje wymiana informacji między pojazdem a infrastrukturą drogową. Jest to bardzo duże wyzwanie, zwłaszcza dla organów opracowujących normy i wytyczne dotyczące cyfryzacji oraz związanego z nią bezpieczeństwa. Pierwsze zmierzenie się z tym problemem dało w efekcie normę IEC61508 „Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems (E/E/PE, or E/E/PES)”, wydana przez International Electrotechnical Commission, oraz ISO26262 „Road vehicles – Functional safety”, która proponuje międzynarodowe standardy związane z szeroko pojętym bezpiecznym funkcjonowaniem najistotniejszych, z punktu widzenia bezpieczeństwa, elektronicznych podzespołów samochodowych. Pojawiają się sugestie, aby tę normę rozszerzyć o wytyczne dotyczące ochrony cyfrowej pojazdów autonomicznych [2].

W dążeniu do rozwikłania problemu bezpieczeństwa cybernetycznego w kontekście pojazdów AV, można sięgnąć również po rozwiązania zastosowane w lotnictwie i kolejnictwie [2, 8]. Na przykład, obecnie normy w lotnictwie są opracowywane pod kątem określenia procesów, metod i instrukcji mających na celu przede wszystkim zabezpieczenie ciągłości lotu, a nadawane certyfikaty dla konkretnych samolotów zawierają ściśle sprecyzowane warunki ich użytkowania. To samo podejście mogłoby zostać wykorzystane w przypadku samochodów autonomicznych.

Przy okazji rozważań na temat cyberbezpieczeństwa w kontekście pojazdów autonomicznych, warto pochylić się nad jeszcze jednym problemem, dotyczącym dostępu do danych wrażliwych [1]. Jak wspomniano wcześniej, samochody AV korzystają z danych, które zostały wcześniej wysłane przez inne pojazdy i zapisane w bazie danych. Oznacza to jednocześnie, że gdzieś zostały zapamiętane informacje o trasie i czasie przejazdu, celu podróży, warunkach jazdy, czy sprawności pojazdu i są one powiązane z konkretnym użytkownikiem, bądź właścicielem. Może się okazać, że dane te zostaną wykorzystane przez osoby niepowołane w celach sprzecznych z naszymi oczekiwaniami. Upublicznienie niewygodnych informacji, wykorzystanie w sądzie, czy zwykły szantaż, może w negatywny sposób wpłynąć na nasze życie osobiste i zawodowe, w sposób zupełnie sprzeczny z naszymi oczekiwaniami. Dodatkowo, wysyłane na bieżąco dane dotyczące lokalizacji samochodu AV mogą ułatwić jego inwigilację przez instytucje, czy osoby do tego nieuprawnione. Na ten fakt powinni przede wszystkim zwrócić uwagę operatorzy systemów łączności i nadzoru pojazdów AV i zapewnić ochronę prywatności użytkowników na odpowiednim poziomie, zarówno w komunikacji „on-line”, jak i w ramach gromadzenia i przechowywania danych dotyczących poszczególnych pojazdów.

6.3. Przepisy prawne dotyczące samochodów AV

Opracowanie właściwych regulacji prawnych w odniesieniu do najnowszych rozwiązań technicznych stanowi zawsze poważny problem i najczęściej jest pełne błędów i rozbieżnych interpretacji. Nie inaczej jest w przypadku pojazdów autonomicznych [1, 120]. Jak zwykle technika jest krok przed przepisami, które próbuje się dopasować do zaistniałej sytuacji. Dopóki samochody AV były testowane na torach fabrycznych, wszyscy skupiali się na aspektach technicznych. Kiedy jednak producenci zaczęli proponować testy w ruchu ulicznym lista problemów natury prawnej rosła z dnia na dzień. Dotyczą one głównie odpowiedzialności za wypadki drogowe, kwestii ubezpieczeń oraz przepisów ruchu drogowego [4].

Aktualnie toczą się lub właśnie się zakończyły (z pozytywnym rezultatem) rozmowy w sprawie uzyskania zezwolenia na użytkowanie (na razie w trybie testowym) pojazdów AV w wielu miejscach na świecie [106, 152]. Samochody „self-driving” jeżdżą już kilku stanach USA (m.in. Kalifornia, Michigan, Floryda, Nevada), w Kanadzie, Australii, Chinach, Japonii, Singapurze i Zjednoczonych Emiratach Arabskich. W Europie również wiele krajów wydało pozwolenia na codzienne użytkowanie pojazdów autonomicznych: Niemcy, Wielka Brytania, Hiszpania, Belgia, Włochy, Holandia, Szwecja, Finlandia i Francja). We wszystkich przypadkach urzędy legislacyjne ściśle określają wymagania dotyczące korzystania z takiego auta. Dobrym przykładem są tutaj Niemcy, które utworzyły bardzo precyzyjne przepisy. Wymagana jest obecność w kabinie licencjonowanego kierowcy, który musi siedzieć za kierownicą (nie musi jej dotykać), a w samochodzie musi być sprawne urządzenie rejestrujące poszczególne parametry jazdy (tzw. czarna skrzynka). Kierowca wprawdzie może korzystać w trakcie jazdy ze smartfonu, czy tabletu, ale urządzenie to musi być podłączone do pojazdu, a w przypadku konieczności przejścia kontroli nad

pojazdem przez człowieka, dostęp do nich ma być zablokowany. Ponadto kierowca będzie ponosił odpowiedzialność za każdy incydent na drodze, chyba, że zawiodą systemy bezpieczeństwa i nie uda się zachować kontroli nad pojazdem poruszającym się w autonomicznym trybie. Wówczas, według przepisów, odpowiedzialność ponosi producent. Co ciekawe, ustawodawca nie przewiduje możliwości rejestracji samochodów bez kierownicy i pedałów, co oznacza prawdopodobną konieczność nowelizacji przepisów w przyszłości, jeżeli producenci zaproponują nam całkowicie bezzałogowe pojazdy, np. dostawcze, czy ciężarowe [153].

O ile przepisy dotyczące pozwoleń na użytkowanie pojazdów AV zostały już w miarę uporządkowane, to kwestie dotyczące odpowiedzialności za kolizje i wypadki drogowe są jeszcze polem sporów prawnych. Problemem jest ustalenie, kto poniesie koszty zdarzenia drogowego z udziałem samochodu AV. Pozytywnym wyjątkiem w tym temacie jest koncern Volvo, który zadeklarował pełną odpowiedzialność, jeśli dojdzie do jakiegokolwiek kolizji [154]. Z kolei Wielka Brytania w ustawie „Vehicle Technology and Aviation Bill”, wskazuje, że wszelkie finansowe skutki wypadków drogowych powinny zostać pokryte przez polisy ubezpieczeniowe przypisane do pojazdów, niezależnie od tego, czy pojazd był prowadzony przez kierowcę czy poruszał się w trybie automatycznym. Według ustawy, ubezpieczyciel nie będzie musiał wypłacać odszkodowania, gdy właściciel samochodu dokonał nieautoryzowanych zmian w oprogramowaniu auta lub zaniedbał wymaganych w umowie jego aktualizacji [155]. Oczywiście można tu zadać pytanie, a co w sytuacji, gdy wypadek będzie następstwem nieuprawnionych zmian w oprogramowaniu wynikłych z cyberwłamania? Dlaczego kierowca ma ponosić odpowiedzialność, kiedy nie miał możliwości należytego zabezpieczenia samochodu przed cyberatakami? Czy odpowiedzialny powinien być wtedy producent pojazdu, czy może operator systemu komunikacyjnego V2V i V2I? I najważniejsze – jak to wszystko udowodnić? Jeżeli do tego, jeszcze dodać dyskusję na temat własności pojazdu, w której widać próbę rozróżnienia właściciela, użytkownika i osoby mającej bezpośrednią kontrolę (Jak zakwalifikować osobę, która wskazuje cel podróży chcąc, aby samochód przywiózł np. dzieci z przedszkola?), to nabieramy przekonania, że problemy techniczne są chyba najmniejszym problemem w obszarze autonomiczności na drogach.

Aby pojazdy „self-driving” mogły osiągnąć wysoką popularność, należy przeprowadzić szeroką i dogłębną dyskusję na temat przepisów prawnych, które dotyczą wielu obszarów życia codziennego. Kluczową kwestią będzie znalezienie odpowiedzi na m.in. następujące pytania [2]:

- Kto ponosi odpowiedzialność za wypadek z udziałem pojazdu AV – osoba będąca w pojeździe (niekoniecznie mogąca kontrolować pojazd), czy właściciel?
- Kto będzie odpowiadał w sytuacji, gdy pojazd był pusty?
- Czy pełne ubezpieczenie powinno stać się obowiązkowe?
- Co w sytuacji, gdy uszkodzonym jest pieszy? Kto będzie zatrzymany przez policję?

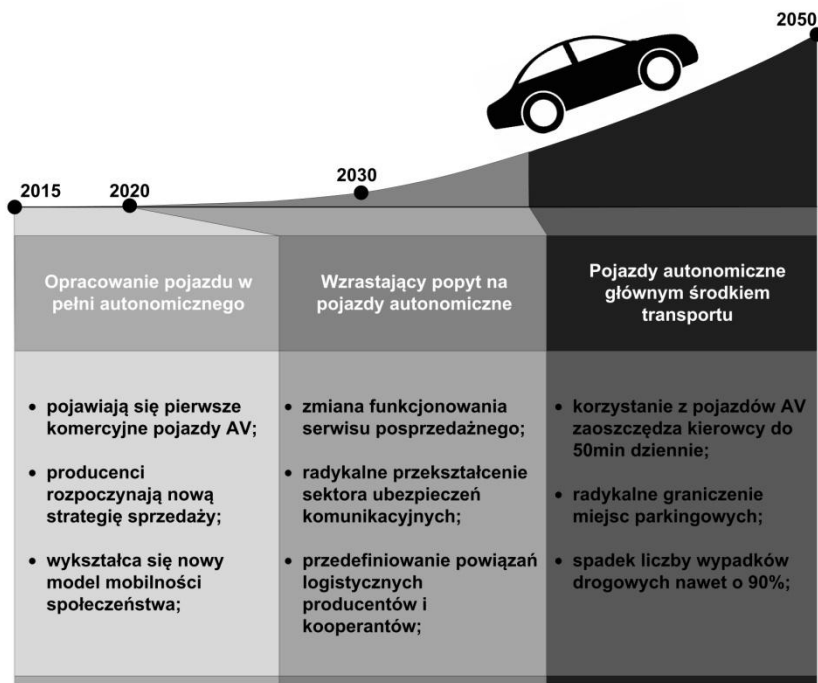
- Czy będzie przestępstwem udział w wypadku, gdy osoba siedząca na miejscu kierowcy nie zdażyła przejąć kontroli nad samochodem, dążącym ewidentnie do kolizji?
- Kto będzie odpowiedzialny, jeśli pojazd autonomiczny będzie wykorzystany do popełnienia przestępstwa (np. napad, czy porwanie)?
- Jak potraktować osobę przebywającą w samochodzie AV, która potencjalnie może przejąć nad nim kontrolę, ale znajduje się pod wpływem alkoholu lub środków odurzających?
- Czy wysokości wypłacanych odszkodowań będą zależne od tego, czy pojazd autonomiczny był pusty, czy przebywała w nim osoba z prawem jazdy?

Z powyższych pytań wyłania się obraz wielu luk w przepisach prawnych i możliwości nadużyć. Rozpatrując sytuację, gdy za kierownicą siedzi osoba potencjalnie mogąca zareagować na niebezpieczną sytuację i przejąć kontrolę nad pojazdem, można próbować (choć nie zawsze) „dopasować” do niej aktualne przepisy, uwzględniające jedynie realnie kierującego, jako osobę w pełni odpowiedzialną za to, co się dzieje z samochodem. Problem zdecydowanie narasta, gdy samochód autonomiczny „prowadzi się sam”. Wtedy pytanie „kto jest odpowiedzialny” pozostaje bez jednoznacznej odpowiedzi, a to znacznie utrudnia wskazanie sprawcy wypadku, czy kolizji. Jak widać, wyzwania dotyczące przepisów prawnych oraz sfery ubezpieczeń komunikacyjnych są znaczące, a dobre rozwiązania jeszcze daleko przed nami [1-4].

7. Perspektywy dla samochodów „self-driving” i transportu autonomicznego

Pojazdy autonomiczne są prezentowane przez przemysł motoryzacyjny, jako najbardziej obiecujące i innowacyjne produkty tej branży. Jednak wizja ich wpływu na nasze życie pozostaje nie do końca klarowna. Wszyscy są zgodni, że rola, jaką mogą odegrać w przyszłości w kształtowaniu naszego świata, w odniesieniu do gospodarki i społeczeństwa jako całości, może być bardzo duża. Jednak trudno przewidzieć jak bardzo. Wynika to przede wszystkim z nie do końca zbieżnych wizji różnych ekspertów, co do popytu na pojazdy AV oraz, które sektory przemysłu, i jak bardzo, one zmienią.

Zainteresowanie samochodami „self-driving” najczęściej jest rozpatrywane w trzech przedziałach czasowych, co obrazuje rysunek 6: faza testów i opracowania finalnego produktu, faza narastającego popytu na pojazdy AV i faza końcowa, kiedy staną się podstawowym środkiem transportu [156]. Jak widać faza pierwsza już się rozpoczęła i potrwa jeszcze przez następną dekadę. Perspektywa ta jest oparta na bieżącym zaawansowaniu firm w pracach dotyczących autonomiczności oraz ich deklaracjach związanych z wprowadzeniem gotowego produktu do masowej produkcji [1, 2, 5, 106, 157]. Można stwierdzić, że w ostatnich 5 latach postęp w tej dziedzinie nabrał bardzo dużego rozpędu. Może nawet zbyt dużego, o czym świadczą naprędce przygotowywane przepisy prawne dotyczące pojazdów AV, nie zawsze precyzyjne i do końca przemyślane.



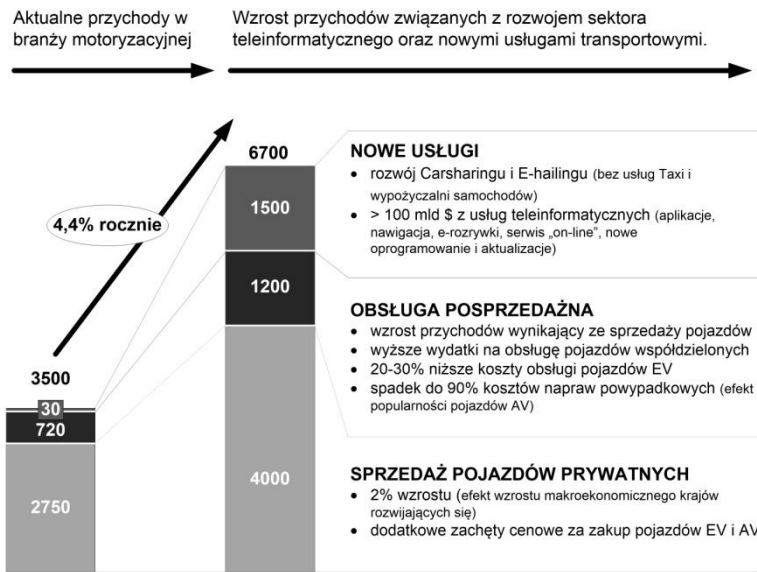
Rysunek 6. Trzy etapy rozwoju transportu autonomicznego (opracowanie własne na podstawie [156])

O ile widać wyraźnie, że starania koncernów motoryzacyjnych zaowocują, w krótkiej perspektywie, pojazdem w pełni autonomicznym, który będzie można kupić na rynku komercyjnym, to daleko nam jeszcze do wizji milionów takich samochodów poruszających się po drogach. Warto zastanowić się, z czego wynika tak niewyraźna przyszłość, jednego z najbardziej innowacyjnych pomysłów ostatnich lat. Jakie perspektywy rozwoju pojazdów AV są przedstawiane przez znawców branży motoryzacyjnej? Jak bardzo ten produkt wpłynie na nasze życie codzienne?

7.1. Popyt i podaż w kontekście samochodów autonomicznych

Jednym z kluczowych problemów jest zaprezentowanie wiarygodnej prognozy przyszłego zapotrzebowania na pojazdy autonomiczne. Przewidywania najczęściej opierają się na badaniach rozwoju oraz popytu i przede wszystkim podaży poprzednich technologii motoryzacyjnych [158]. Jak wspomniano wcześniej, do 2025 r. mają być dostępne pierwsze modele komercyjne samochodów AV, a w 2040 będą one stanowić ok. 50% światowego rynku samochodowego [6, 156]. To oznacza, że musimy się przygotować na bardzo szybką ekspansję pojazdów autonomicznych, a co za tym idzie głębokie zmiany otaczającego nas świata.

W rozwoju branży motoryzacyjnej będzie miała na pewno duży udział technologia autonomiczna [157]. Będzie ona generować inwestycje, rozbudowywać systemy łączności oraz rynek usług „współużytkowania” samochodów. Ponadto nie należy zapominać o ciągle rozwijającym się globalnym wzroście makroekonomicznym w gospodarkach wschodzących, który pozwoli im się włączyć w obszar rynku nowoczesnych technologii i zwiększy popyt na nie u konsumentów. Dzięki obsłudze łączności V2V i V2I, usługom dodatkowym, jak „samochód na żądanie”, czy „współdzielenie pojazdu”, przychody branży motoryzacyjnej mogą się zwiększyć o 30%, nawet do 1,5 mld \$ do roku 2030. Ponadto nie należy zapominać o rynku samochodów nowych oraz obsłudze posprzedażowej, w której również będą miały swój udział pojazdy AV. Razem przychody te mogłyby dać roczny wzrost sektora motoryzacyjnego nawet do 4,4% procent (dla porównania – wzrost ok. 3,6% w latach 2010-2015) [157]. Zmiany te obrazuje rysunek 7.



Rysunek 7. Przewidywania rozwoju rynku motoryzacyjnego do roku 2030 (opracowanie własne na podstawie [157])

Technologia autonomiczna, będzie pozwalać kierowcy i pasażerom na wykorzystanie czasu podróży do relaksu, czy zajęcia się innymi czynnościami, co uatrakcyjni użytkowanie samochodu. Może obejmować wykorzystanie nowych form mediów i usług. Rosnąca ilość innowacji, w tym nowych form mediów i usług związanych z pojazdami, zwłaszcza w systemach opartych na oprogramowaniu, będą wymagały częstej modernizacji samochodów, co jeszcze bardziej zwiększy popyt na nowe modele. Przewiduje się, że globalna sprzedaż samochodów będzie nadal rosła, choć w wolniejszym tempie, z 3,6% w ostatnich pięciu latach do ok. 2% rocznie do roku

2030. Wpływ na to będzie miał przede wszystkim wzrost popularności usług „Carsharing” i „E-haling” („samochód na przywołanie”). Sytuacja ta będzie bardziej odczuwalna w obszarach silnie zurbanizowanych (miasta i przedmieścia), głównie w Europie i Ameryce Północnej. Nowe usługi związane z e-mobilnością mogą spowodować spadek zainteresowania posiadaniem prywatnego samochodu w gospodarstwie domowym, ale może to być częściowo zrekomensowane wzrostem sprzedaży pojazdów zakupionych z myślą o świadczeniu usług „współdzielenia”. Jak wspomniano wcześniej, pojazdy te będą się szybciej zużywały, co będzie wymuszać szybszą wymianę na nowe modele [111]. Ponadto należy jeszcze pamiętać o ogromnym potencjale popytu, tkwiącym w rynkach wschodzących, w tym głównie Chin i Indii [157].

7.2. Wpływ technologii autonomicznej na przemysł

Rozwój pojazdów autonomicznych, a zwłaszcza ich powszechne użytkowanie wpłynie w znaczny sposób na kształt przemysłu i gospodarki. Nie trzeba dużej wyobraźni, żeby wskazać, jak zmieni się system transportu, a co za tym idzie powiązania logistyczne pomiędzy podmiotami gospodarczymi. Kierowca potrzebuje co jakiś czas odpocząć, czy przespać się, a samochód AV nie generuje żadnych przestojów, z wyjątkiem załadunku, czy serwisu. Zwiększy to w sposób znaczący wydajność produkcji i elastyczność funkcjonowania firm, choćby z samego powodu zmian w systemie logistycznym [156]. Ponadto można sobie wyobrazić, że obniżeni kosztów transportu, przy jednoczesnym zapewnieniu ciągłości i terminowości dostaw, pozwoli znacznie zmniejszyć powierzchnie magazynowe, oraz wielkość i ciężar jednorazowo przewożonych ładunków. Wiąże się z tym zmniejszenie potrzebnych w transporcie pojazdów, spadek pojemności silników spalinowych, czy moc elektrycznych, co da w rezultacie znaczne obniżenie emisji spalin lub/i zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do przejechania jednostkowego odcinka trasy.

Samochody autonomiczne mogą także wzmocnić potrzebę zmian i strukturę zatrudnienia w sektorze paliwowym i motoryzacyjnym. Uspokojenie ruchu drogowego, obniżenie prędkości, spadek awaryjności oraz mniejsza wypadkowość, na pewno wpłynie na ilość produkowanych części zamiennych i ich ceny, a przez to na zatrudnienie w firmach je produkujących. Lepiej zaplanowane trasy podróży, poprawienie płynności jazdy i brak zatorów drogowych zmniejszy zapotrzebowanie na paliwo, bądź energię elektryczną, potrzebną do naładowania akumulatorów. Chociaż, z drugiej strony, jak to zaznaczono wcześniej, dostępność pojazdów AV i zwiększona ilość podróżujących, może to zapotrzebowanie zwiększyć.

Technologia autonomiczna na pewno zwiększy zatrudnienie w branży IT związanej z transportem, gdyż zapotrzebowanie na pracowników obsługujących systemy V2V i V2I zdecydowanie wzrośnie. Jeżeli do tego dodać rynek aplikacji powiązanych z pojazdami AV, czy wzmoczony sektor usług związanych z uaktualnianiem oprogramowania oraz jego testowaniem, widać, że w przyszłości będzie bardzo duże zapotrzebowanie na programistów i informatyków.

Znaczny udział technologii mobilnych, które są nierozdzielnie kojarzone z pojazdami AV, wymusi na producentach wejście w nowe obszary rynku, na których

dotychczas nie byli obecni [159]. Dotychczasowi producenci samochodów, aby utrzymać swoją pozycję, będą musieli konkurować na wielu frontach z firmami, które do tej pory nie kojarzonymi z branżą motoryzacyjną [157]. Już teraz widać zainteresowanie motoryzacją, najczęściej w kontekście pojazdów autonomicznych lub elektrycznych, potentatów technologii IT (Apple, Google), dostawców usług mobilnych (Didi Kuaidi, Uber, Zipcar), czy producentów części zamiennych i podzespołów (chiński BYD, Bosch, Continental).

Dostawcy usług i systemów ściśle związanych z pojazdami AV będą mieli coraz większy udział w całkowitej wartości pojazdu. Najprawdopodobniej trend tworzenia nowych konstrukcji w kooperacji z istniejącymi już koncernami lub opracowywania własnych, będzie się nasilał, jeszcze bardziej zmieniać dotychczasową strukturę branży motoryzacyjnej. W efekcie może to doprowadzić do konsolidacji lub nowych form partnerstwa pomiędzy obecnymi graczami na rynku.

Także rozwój technologii teleinformatycznych, na których oparte jest działanie pojazdu AV, będzie powodował zmianę strategii działania firm motoryzacyjnych. Jak to opisano rozdziale 4, oprogramowanie będzie wykorzystywane do dostarczania znacznej szerszej gamy funkcji i usług, związanych z obsługą e-mobilności, zaawansowanymi systemami bezpieczeństwa, zdalnymi usługami lokalizacyjnymi, diagnostycznymi, czy w końcu rozrywkowymi. [62, 157]. Współpraca pomiędzy firmami w zakresie tych technologii i usług, obniży koszty i uatrakcyjni produkt końcowy, przyciągając potencjalnych nabywców [160]. Rozwój systemów teleinformatycznych wymusi także na koncernach samochodowych zmianę podejścia do podziału na produkt własny i powiązany, w związku z koniecznością zapewnienia ciągłej komunikacji V2V i V2I, a co za tym idzie instalowania w pojazdach ważnych podzespołów, które będą przynależne do innego systemu. Będzie to tendencja stała i producenci pojazdów będą musieli włączać swoje samochody do rozrastających się systemów mobilnej łączności.

Powiązanie różnych segmentów rynku z technologią autonomiczną otworzyło nowe możliwości przed wieloma firmami. Widać, że początkowo są one skupione na wąskim wycinku całego systemu e-mobilności. Może to stać się jednak początkiem do dalszego, znacznie szerszego rozwoju, jak w przypadku Tesli, Googla, Apple, Baidu, czy Ubera. Oczekuje się, że na rynek wejdzie wielu nowych graczy, zwłaszcza początkujących firm z sektora high-tech.

7.3. Ekspansja nowych technologii

Technologia autonomiczna i napędy alternatywne, a zwłaszcza elektryczne są obiektem silne zainteresowania firm motoryzacyjnych. Nie jest to bynajmniej chwilowa moda, ale narastający trend długoterminowy. Jego dynamika, w obszarze pojazdów AV, będzie zależała głównie od szybkiego rozwiązania problemów natury technicznej i legislacyjnej.

Wyzwania techniczne, zwłaszcza związane z zaawansowanymi systemami wspomaganie kierowcy ADAS (ang. Advanced Driver-Assistance Systems) są bardzo istotne i prawdopodobnie od nich będzie zależało, kiedy pojawią się pojazdy spełnia-

jące warunki poziomu 4 automatyzacji. Na pewno ważną rolę w przełamywaniu barier i opracowywaniu nowych innowacyjnych projektów będą odgrywały firmy branży IT i start-upy. Jest mało prawdopodobne, aby przed 2020 rokiem pojawił się na rynku w pełni autonomiczny samochód, ale przy pomyślnym rozwoju sytuacji, w 2030 r. nawet do 15% nowo zakupionych samochodów może być w pełni autonomicznymi [157].

Wraz z pojazdami autonomicznymi rozwinie się także rynek usług telekomunikacyjnych oraz związanych z nawigacją na drogach i opracowywaniem trasy przejazdu. Nowe aplikacje pozwalające bardziej efektywnie użytkować pojazdy AV, komunikacja V2V i V2I, zdalna diagnostyka, czy systemy przywoławcze w przypadku awarii, bądź wypadku, to wyzwania stawiane przed branżą IT, którym musi ona podołać. Ponadto opracowywanie i implementacja nowych algorytmów odnajdujących najszybszą lub najkrótszą drogę, przy jednoczesnym uwzględnieniu bardzo wielu czynników, wydaje się być dość obiecującym obszarem działalności firm, zwłaszcza tych mniejszych, które przez to zyskują szanse zaistnienia na rynku i dalszego rozwoju.

Następnym problemem do rozwiązania, który na pewno będzie się wiązał z wdrażaniem nowych technologii, jest, o czym już była mowa w rozdziale 6, cyberbezpieczeństwo. Tutaj szerokie pole do działania mają firmy związane z branżą informatyczną i komputerową. Zapewne w pierwszym podejściu zaproponowane zostaną rozwiązania stosowane w np. bankowości elektronicznej, ale zapewne zostaną one szybko ulepszone, albo pojawią się zupełnie nowe produkty.

Rozważając wdrażanie nowych technologii związanych z pojazdami autonomicznymi, nie można zapomnieć o napędach elektrycznych i hybrydowych. Koncerny pracujące nad pojazdami AV zazwyczaj deklarują łączenie tych technologii, argumentując ten fakt, wzmocnieniem poziomu nowoczesności oraz ekologii swoich produktów. Jednak pomimo narastającej popularności samochodów elektrycznych, ich szersze użytkowanie jest zależne od nastawienia kierowców, które wciąż pozostaje sceptyczne. Mimo to, prognozy przewidują, że w 2030 r. pojazdy elektryczne będą stanowić od 10% do 50% wszystkich nowych samochodów. Jest to bardzo dobra prognoza, zwłaszcza w kontekście ochrony środowiska. Najprawdopodobniej najsilniejszym bodźcem do zwiększenia ich popularności, będzie spadek ceny samego auta oraz opracowanie lepszych i tańszych akumulatorów wysokonapięciowych, które będą oferowały większą pojemność, a co za tym idzie dalszy zasięg. (patrz rozdz. 5.4). Jednocześnie należy zauważyć, że tzw. elektryfikacja pojazdów obejmuje także pojazdy hybrydowych, co oznacza, że nawet po roku 2030 silnik spalinowy będzie wciąż obecny w motoryzacji i będzie odgrywał w niej ważną rolę [157].

7.4. Zmiana otaczającego nas świata

Obserwując rozwój pojazdów autonomicznych, widać, wyraźnie, że ich użytkowanie będzie się wiązać, ze zmianą trybu życia kierowców i innych użytkowników. To nie będzie kwestia przyzwyczajania się do nowego samochodu, czy opanowania przycisków i gałek na desce rozdzielczej, a raczej radykalna zmiana relacji pomiędzy użytkownikiem i pojazdem. Przewiduje się, że w obliczy ekspansji samochodów autonomicznych, trzeba będzie zmienić przepisy obejmujące możliwość zdobycia

i posiadania prawa jazdy, a także samych kursów dla przyszłych kierowców [8]. Przewidywania idą nawet jeszcze dalej. Elon Musk, prezes Tesla Motors Inc., jest wręcz przekonany, że w połowie XXI w. wejdą w życie przepisy, które wręcz zabronią człowiekowi kierować samochodem, jako czynnikowi najsilniej stwarzającemu zagrożenie na jezdni [161].

Preferencje konsumentów, nowe regulacje prawne i postęp techniczny przyczyniają się do zmian w indywidualnym podejściu do transportu i e-mobilności społeczeństwa. Coraz częściej korzystamy z wielu różnych środków transportu w jednej podróży, ważna jest dla nas ciągła komunikacja ze światem na różnych poziomach, a towary i usługi są coraz częściej dostarczane do konsumenta. W efekcie coraz częściej korzystamy z „carsheringu”, czy innych rozwiązań mobilności „na żądanie”, zwłaszcza w środowiskach miejskich, gdzie różne czynniki zniechęcają nas do korzystania prywatnych samochodów. W przyszłości zapewne będziemy chcieli mieć jeszcze większą elastyczność w doborze najlepszego środka transportu w zależności od celu, dyspozycji czasem, czy sposobu jego pozyskania („na żądanie”, i za pośrednictwem smartfona). Już teraz widać oznaki spadku przywiązania do samochodu jako własności prywatnej. Na przykład w USA liczba posiadaczy prawa jazdy w przedziale 16-24 lata, spadła z 76% w 2000 r. do 71% w 2013 r., podczas gdy liczba członków sieci dzielących samochód w Ameryce Północnej wzrosła 3 krotnie, a w Europie 4 krotnie w latach 2010-2014 [162-164].

„Carsharing” w połączeniu z autonomicznością pojazdów może doprowadzić do stworzenia samochodu osobowego, opracowanego pod kątem intensywnego użytkowania przez wiele różnych osób. Nie wykluczone jest także stworzenie bazy specjalistycznych pojazdów dostawczych „na żądanie”, przeznaczonych do bardzo specyficznych potrzeb. Prognozy mówią, że w 2030 r. jeden na dziesięć nowo zakupionych samochodów będzie przeznaczony do „carsheringu”, a w 2050 jeden na trzy [157].

Podejście do oceny i planowania rozwoju biznesu związanych z autonomicznością pojazdów (a może nie tylko), także ulegnie zmianie. Segmentacja rynku e-mobilności pod kątem krajów, czy regionów nie będzie adekwatna do sytuacji. Bardziej miarodajny będzie podział na tereny miejskie, wielkomiejskie i wiejskie. Wynika to z różnorodności problemów jakie dotyczą tych obszarów. W zatłoczonych miastach, takich jak Londyn czy Szanghaj, palącymi problemami są opłaty za przejazd, brak parkingu, zagażowaniu ruchu, korki uliczne, itp. Oznacza to, że posiadanie własnego samochodu generuje koszty i przedstawienie się na „carsharing” stanowi atrakcyjną propozycję. Z kolei na obszarach wiejskich, gdzie te bolączki znikają, prywatny pojazd pozostanie preferowanym środkiem transportu. Podobnie wygląda podział rynku, jeżeli chodzi o pojazdy elektryczne. Tu także miasto będzie bardziej zainteresowane wrażaniem nowej technologii bardziej, niż tereny pozamiejskie, ze względu na zanieczyszczenia, ceny paliw, czy opłaty drogowe. W ten sposób miasto stanie się kluczowym wskaźnikiem, podejścia do transportu i sprzedaży samochodów, zastępując tradycyjną perspektywę regionalną [157].

Jak widać firma, aby odnaleźć się na rynku „e-mobility” i planować przyszły rozwój, będzie musiała brać pod uwagę potrzeby związane z transportem, komunikacją i e-mobilnością wg. gęstość zaludnienia, zabudowy, rozwoju gospodarczego, zaawansowania technologicznego i dochodów. Obywatelstwo, czy przynależność do danego regionu geograficznego już nie będzie dobrze funkcjonującym parametrem w modelu biznesowym.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt związany z pojazdami AV. W rozdziale 5.6 zwrócono uwagę na bardzo duże oszczędności czasu, jakie przyniesie ze sobą spopularyzowanie samochodów autonomicznych. Daje to możliwość znacznego poszerzenia runku usług rekreacyjnych i rozrywkowych, co w oczywisty sposób przełoży się na zwiększenie zatrudnienia w tym sektorze gospodarki. Jak wspomniano wcześniej, coraz większa ilość użytkowanych samochodów AV będzie „nakręcać” koniunkturę usług teleinformatycznych, również tych, nie związanych bezpośrednio z transportem i motoryzacją. To także da impuls do rozwoju następnych gałęzi gospodarki.

Warto również wspomnieć o negatywnych skutkach rozwoju transportu autonomicznego. O problemach z ochroną danych wrażliwych oraz zachowaniem prywatności była już mowa w poprzednich rozdziałach. Na pewno dużą barierą będzie zmiana struktury zatrudnienia w przemyśle motoryzacyjnym, transporcie i logistyce. Poważnym wyzwaniem dla społeczeństwa będzie zmniejszenie ilości etatów kierowców i miejsc pracy w zakładach produkujących podzespoły do pojazdów oraz ogólne ograniczanie niektórych gałęzi przemysłu motoryzacyjnego, choć należy pamiętać, że niektóre gałęzie znacznie się rozbudują. Niemniej jednak, od kilkudziesięciu lat widzimy ciągły i narastający wpływ postępu technicznego na nasze życie i, jak do tej pory, udaje się nam do tej sytuacji dostosować, likwidując w zarodku poważniejsze problemy z tym związane.

8. Podsumowanie

Wizja pojazdów przemieszczających się samodzielnie po ulicach miast przestała już być jedynie wymysłem marzycieli, a stała się częścią naszej rzeczywistości. Świadczą o tym samochody autonomiczne, które są testowane praktycznie na wszystkich kontynentach, a doniesienia na ich temat, wyraźnie wskazują, że z roku na rok, proponowane konstrukcje są coraz doskonalsze. Warto dokładniej przyjrzeć się tej technologii, gdyż już za kilka lat najprawdopodobniej będziemy decydować, czy właśnie z takiego samochodu chcemy korzystać.

Niniejszy artykuł na pewno nie wyczerpał tematyki pojazdów „self-driving”, zasygnalizował jedynie zagadnienia, które przewijają się w dyskusjach prasowych, artykułach naukowych, czy nawet blogach motoryzacyjnych. Jak widać, jest to temat, który budzi zainteresowanie nie tylko wąskiego kręgu inżynierów i producentów pojazdów.

W artykule opisano pokrótce historię i rozwój pojazdów autonomicznych, scharakteryzowano poziomy automatyzacji samochodów i przedstawiono najważniejsze cechy, odróżniające pojazdy AV od standardowych samochodów. Dość

szeroko omówiono zalety i wady tych pojazdów, ze szczególnym uwzględnieniem szeroko pojętego bezpieczeństwa, wpływu na życie codzienne oraz środowisko naturalne. W publikacji poświęcono też miejsce na przewidywania rozwoju autonomiczności w wielu aspektach, wraz z prognozami zmian, jakie będą miały miejsce w przemyśle i gospodarce, w związku z użytkowaniem pojazdów AV.

Pytanie postawione w tytule niniejszego artykułu, w świetle przedstawionych informacji jest w pełni uzasadnione. Pomimo niezaprzeczalnych zalet i nadziei, jakie pokładamy w pojazdach autonomicznych, widać wyraźnie, że nie są one wolne od wad. Co więcej, to co dziś postrzegamy jako, drobne niedogodności, w przyszłości może nieść ze sobą poważne zagrożenia, skutkujące daleko idącymi konsekwencjami i bardzo głębokim wpływem na nasze życie. Niestety, również w negatywnym tego słowa znaczeniu. Powszechnie uważa się, że pojazdy AV pozwolą znacznie obniżyć koszty transportu, zmniejszyć wypadkowość, skrócić czas podróży, ograniczyć zużycie paliwa i rozwiązać problemy związane z zagęszczeniem ruchu drogowego i miejscami parkingowymi. Są to koronne argumenty za autonomicznością transportu. Nie można jednak zapominać o mniej widocznym, ale równie ważnym, wpływie samochodów AV na nasze życie – bezpieczeństwo danych informatycznych, cyberprzestępczość, planowanie miast, użytkowanie gruntów, zmiany w strukturze zatrudnienia i modelu funkcjonowania przedsiębiorstw, prawodawstwie, odpowiedzialności w ruchu drogowym, czy w końcu dylematy moralne, jakie się wiążą z przekazaniem układom elektronicznym pełnej kontroli podczas korzystania z pojazdu. Problemy stoją zarówno przed inżynierami, jak i przed politykami, którzy za pomocą odpowiednich ustaw i przepisów będą regulować funkcjonowanie samochodów autonomicznych na drogach. Od nich będzie zależeć, czy społeczeństwo przekona się do nowego sposobu podróżowania, czy zniechęci się i pozostanie przy tradycyjnym modelu.

Warto także podkreślić rolę edukacji, która w świetle tak szybkich zmian, jaka się dokonuje w systemach transportowych, musi bez wątplenia być zgodna z nowymi technologiami. Zależy nam bowiem, aby szkoły średnie i wyższe zapewniały poziom kształcenia adekwatny, do rozwoju technicznego, gdyż tylko wtedy będziemy mieli pewność, że jesteśmy w stanie zrozumieć otaczający nas świat i korzystać w pełni ze wszystkiego, co nam oferuje. Dlatego szerokie wprowadzenie na rynek pojazdów autonomicznych powinno dać impuls do modyfikacji programów nauczania zawodowego i wyższego technicznego, w celu szerszego objęcia tematów komunikacji, informatyzacji, elektroniki oraz zrównoważonego rozwoju środowiska i energetyki.

Trudno, opierając się na aktualnej wiedzy, odpowiedzieć jednoznacznie na pytanie, czy samochód autonomiczny jest całkowicie bezpieczny. Rozwiązania technicznie sugerują odpowiedź „tak”, ale z drugiej strony ilość i waga problemów związanych z użytkowaniem tego typu pojazdów pozostawia cień wątpliwości. Czy uda się rozwiązać wszystkie problemy, czy samochód autonomiczny pozostanie jedynie zaawansowanym technologicznie produktem bez możliwości masowego stosowania – przyszłość pokaże.

Literatura

1. Fagnant D.J., Kockelman K. (2015) *Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations*, Transportation Research Part A 77 (2015), s. 167-181, http://www.cae.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/TRB14EnoAVs.pdf.
2. Saeed Asadi Bagloee, Madjid Tavana, Mohsen Asadi, Tracey Oliver, *Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies*, Journal of Modern Transportation, vol.24, issue 4 (2016), s.284-303, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40534-016-0117-3.pdf>.
3. *Prezes zarządu Audi AG Rupert Stadler podczas kongresu ONZ w Genewie mówi o sztucznej inteligencji*, notatka prasowa Volkswagen Group Polska sp. z o.o., (2017), http://www.audi.press-bank.pl/artykul,26982,prezes_zarzadu_audi_ag_rupert_stadler_podczas_kongresu_onz_w_genewie_mowi_o_sztucznej_inteligencji.
4. Anderson J.M., Nidhi Kalra, Stanley K.D., Sorensen P., Samaras C., Oluwatobi A. Oluwatola, *Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers*, Research Reports no. RR443-2, by RAND Corporation, (2015), https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-2.html.
5. Manyika J, Chui M, Bughin J, Dobbs R, Bisson P, Marrs A., *Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy*. Report McKinsey Global Institute. (2013), s. 78-86, <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies>.
6. Litman T., *Autonomous vehicle implementation predictions*, report by Victoria Transport Policy Institute, (2015, republished 2017), <http://www.vtpi.org/avip.pdf>.
7. Maddox J, Sweatman P, Sayer J *Intelligent vehicles + infrastructure to address transportation problems – a strategic approach*. 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety Of Vehicles (ESV), (2015), <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/proceedings/24/files/24ESV-000369.PDF>.
8. Spulber A., *Impact of automated vehicle technologies on driver skills*, published by Michigan Department of Transportation (MDOT) & Center for Automotive Research (CAR), (30 June 2016), https://www.michigan.gov/documents/mdot/Impact_of_CAV_Technology_on_Driver_Skill_s_533519_7.pdf.
9. Weber M. *Where to? a history of autonomous vehicles*. (2014), dostęp lipiec 2017: <http://www.computerhistory.org/atchm/where-to-a-history-of-autonomous-vehicles>.
10. [hashim 2017] Hashim H.H., Omar M.Z. *Towards Autonomous Vehicle Implementation: Issues and Opportunities*, Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia vol.1, issue 2, (2017), s. 111-123, https://www.researchgate.net/publication/317062847_Towards_Autonomous_Vehicle_Implementation_Issues_and_Opportunities.
11. Ioannou P. *Development and Experimental Evaluation of Autonomous Vehicles for Roadway/Vehicle Cooperative Driving*, California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-98-9 (1998), <http://www.its.berkeley.edu/sites/default/files/publications/UCB/98/PRR/UCB-ITS-PRR-98-9.pdf>.
12. Blasch E.P., Lakhotia A., Seetharaman G. *Unmanned vehicles come of age: The DARPA grand challenge*, Computer (12/2006), s. 26-29, <https://pdfs.semanticscholar.org/350c/f1c0c7f06adb7412da3cdfdf907bb4fe405b.pdf>.

13. *Google Self-Driving Car Project – monthly report*, (May 2015), <https://assets.documentcloud.org/documents/2094029/report-0515.pdf>.
14. *Google Self-Driving Car Project – monthly report*, (June 2015), <https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/pl//selfdrivingcar/files/reports/report-0615.pdf>.
15. Muir H., (2016) *Google self-driving car caught on video colliding with bus*, published by The Guardian (03/2016), <https://www.theguardian.com/technology/2016/mar/09/google-self-driving-car-crash-video-accident-bus>.
16. *Sportowe, autonomiczne Audi, teraz na torze wyścigowym*, notatka prasowa Volkswagen Group Polska sp. z o.o., (2014), http://www.audi.press-bank.pl/artykul,19521,sportowe,_autonomiczne_audi,_teraz_na_torze_wyscigowym.
17. *Federal Automated Vehicles Policy, Accelerating the Next Revolution In Roadway Safety*, (2016), https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/federal_automated_vehicles_policy.pdf.
18. Bierstedt J., Gooze A., Gray Ch., *Effects of Next-generation Vehicles on Travel Demand and Highway Capacity*, published by Princeton University - Department of Operations Research and Financial Engineering, (2014), http://orfe.princeton.edu/~alaink/Papers/FP_NextGenVehicleWhitePaper012414.pdf.
19. DiClemente J., Mogos S., Wang R. *Autonomous car policy report*, (2014), <https://www.cmu.edu/epp/people/faculty/course-reports/Autonomous%20Car%20Final%20Report.pdf>.
20. Behere S., Tornngren M. *A functional architecture for autonomous driving*. Proceedings of the first international workshop on automotive software architecture. ACM, (2015), s. 3-10, <https://sagar.se/files/wasa2015.pdf>.
21. Sivaraman S., *Learning, modeling, and understanding vehicle surround using multi-modal sensing*, PhD thesis, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SAN DIEGO, (2013), <http://escholarship.org/uc/item/05h602hb>.
22. Wei J., Snider J.M., Kim J., Dolan J.M., Rajkumar R., Litkouhi B., *Towards a viable autonomous driving research platform*. Intelligent vehicles symposium (IV), IEEE (2013), s. 763–770, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6629559/>.
23. Savasturk D., Froehlich B., Schneider N., Enzweiler M., Franke U., *A comparison study on vehicle detection in far infrared and regular images*. IEEE 18th international conference on intelligent transportation systems (ITSC), IEEE (2015), s. 1595–1600, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7313352/>.
24. Owen M., *Przetwarzanie sygnałów w praktyce*, WKiŁ, (2010).
25. Lenard J., Dodson E., Hill J., *Drivers' perception of accident circumstances and opportunities for crash avoidance through technological intervention*, Proceedings of VDI International Congress, 22-23 November (2005), <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/674/1/PUB343%20Drivers%20perception.pdf>.
26. Alvarez S., Llorca D.F., Sotelo M.A., *Hierarchical camera auto-calibration for traffic surveillance systems*, Expert Systems with Applications Volume 41, Issue 4, Part 1, March 2014, s. 1532-1542, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413006714>.
27. Wan Y., Huang Y., Buckles B., *Camera calibration and vehicle tracking: highway traffic video analytics*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 44, (2014), s. 202-213, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X14000606>.
28. Larson J., Trivedi M., *Lidar Based Off-road Negative Obstacle Detection and Analysis*, 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, (2011), s.192-197, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6083105/>.

29. Fernández C., Domínguez R., Fernández-Llorca D., Sotelo M.A., *Autonomous Navigation and Obstacle Avoidance of a Micro-bus*, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 10, 212, (2013), <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.5772/56125>.
30. Alismail H., Browning B., *Automatic calibration of spinning actuated lidar internal parameters*. Journal of Field Robotics, vol. 32, (2014), s.723-747, <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2142&context=robotics>
31. Bengler K., Dietmayer K., Farber B., Maurer M., Stiller C., Winner H., *Three decades of river assistance systems: review and future perspectives*. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 6, no. 4, (2014), s. 6-22, <http://www.mrt.kit.edu/z/publ/download/2014/BenglerDietmayerFarberMaurerStillerWinner2014ITSM.pdf>.
32. Informator techniczny BOSCH - Adaptacyjna regulacja prędkości jazdy ACC, WKiŁ, Warszawa 2005
33. Bartsch A., Fitzek F., Rasshofer R.H., *Pedestrian recognition using automotive radar sensors*, Advances in Radio Science, 10, (2012), s.45-55, <https://www.adv-radio-sci.net/10/45/2012/ars-10-45-2012.pdf>.
34. Juhana Ahtiainen, Sami Terho, Sampsa Koponen, *Radar based detection and tracking of a walking human*, IFAC Proceedings Volumes, Volume 43, Issue 16, 2010, s. 437-442, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016350960>.
35. Ilas C., *Electronic sensing technologies for autonomous ground vehicles: A review*, 8th international symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE), IEEE, (2013), s. 1-6, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6563528/>.
36. *Informator techniczny BOSCH – układy bezpieczeństwa i komfortu jazdy*, WKiŁ, Warszawa 2001
37. Alonso L., Milane's V., Torre-Ferrero C., Godoy J., Oria J.P., De Pedro T., *Ultrasonic sensors in urban traffic driving-aid systems*. Sensors vol.11, (2011), s.661-673, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3274075/>.
38. Wang W., Song Y., Zhang J., Deng H., *Automatic parking of vehicles: a review of literatures*. International Journal of Automotive Technology, Vol. 15, No. 6, (2014), s. 967-978.
39. Burg M., Eichhorn K., *Active night vision - enhancement of the driver's view by infrared headlamps*, International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, (2001), <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv17/Proceed/00003.pdf>.
40. Tsimhoni O., Flannagan M.J., Minoda T., *Pedestrian detection with night vision systems enhanced by automatic warnings*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Report No. UMTRI-2005-23, September (2005), <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.599.8046&rep=rep1&type=pdf>.
41. Tsz-Ho Yu, Yiu-Sang Moon, Jiansheng Chen, Hung-Kwan Fung, Hoi-Fung Ko, Ran Wang, *An Intelligent Night Vision System for Automobiles*, MVA2009 IAPR Conference on Machine Vision Applications, May 20-22, (2009), <http://www.mva-org.jp/Proceedings/2009CD/papers/15-03.pdf>.
42. Ankit Dilip Yawale, f. V. B. Raskar V.B., *Pedestrian detection by video processing using thermal and night vision system*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY, 6(1): January, (2017), <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archive-2017/January-2017/3.pdf>.
43. Mathas C., *The burgeoning use of sensors for advanced driver assistance systems.*, published by Digi-Key Electronics, (2011), <https://www.digkey.com/en/articles/techzone/2011/oct/the-burgeoning-use-of-sensors-for-advanced-driver-assistance-systems>.

44. James Bao, Yen Tsui, *Fundamentals of Global Positioning System Receivers*, A Wiley Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc., (2000), <http://twanclik.free.fr/electricity/electronic/pdfdone7/Fundamentals%20of%20Global%20Positioning%20System%20Receivers.pdf>.
45. El-Rabbany A., *Introduction to GPS*, Artech House, Inc. (2002), http://w3.uch.edu.tw/ccchang50/ebook_introduction%20to%20gps.pdf.
46. Kaplan E.D., Hegarty Ch.J., *Understanding GPS: Principles and Applications*, Second Edition, Artech House, Inc. (2006), http://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_33/ourdev_584835O21W59.pdf.
47. *Introduction to Global Positioning Systems (GPS)*, Maryland NRCS, (2007), https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_024990.pdf.
48. Dupuis Y, Merriam P, Subirats P, Boutteau R, Savatier X, Vasseur P, *GPS-based preliminary map estimation for autonomous vehicle mission preparation*, IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS 2014), IEEE 2014, (2014), s.4241-4246, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6943160/>.
49. Tao Z, Bonnifait P, *Tightly coupling GPS with lane markings for autonomous vehicle navigation*, IEEE 17th international conference on intelligent transportation systems (ITSC), IEEE (2014), s.439-444, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6957729/>.
50. Tao Z., *Autonomous Road Vehicles Localization Using Satellites, Lane markings and Vision*, PhD Thesis, University of Technology of Compiègne (2016), https://www.hds.utc.fr/~bonnif/supervision/PhD_thesis_TaoZui.pdf.
51. Gade K., *Introduction to Inertial Navigation*, Tutorial for Geodesi- og Hydrografidagene 2005, Hoenefoss, Norway, (2005), http://www.navlab.net/Publications/Introduction_to_Inertial_Navigation.pdf.
52. van Graas F., *Inertial Navigation Systems*, Workshop on GNSS Data Application to Low Latitude Ionospheric Research VAN GRAAS Frank 6 - 17 May (2013), <http://indico.ictp.it/event/a12180/session/23/contribution/14/material/0/0.pdf>.
53. Pawelski Z., Pałczyński T., *Badania drogowe pojazdów w inteligentnych systemach transportowych z użyciem technologii INS i GPS*, Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, (dokument elektroniczny), (2008) Z.12 z.8-M s.1-8, http://bc.biblos.pk.edu.pl/bc/resources/CT/CzasopismoTechniczne_8M_2008/PawelskiZ/BadaniaDrogowe/pdf/PawelskiZ_BadaniaDrogowe.pdf.
54. Velaskar P., Vargas-Clara A., Jameel O., Redkar S., *Guided Navigation Control of an Unmanned Ground Vehicle using Global Positioning Systems and Inertial Navigation Systems*, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 4, No. 3, June 2014, pp. 329~342, <http://iaesjournal.com/online/index.php/IJECE/article/view/5183>.
55. Yang X, Liu J, Vaidya NH, Zhao F, *A vehicle-to-vehicle communication protocol for cooperative collision warning*, Mobile and ubiquitous systems: networking and services, 2004. MOBIQUITOUS 2004. The First Annual International Conference on. IEEE (2004), pp. 114-123, <https://pdfs.semanticscholar.org/1992/1673fe20ed248d24fef84fc227fefccd7a37.pdf>.
56. Gozalvez J, Sepulcre M, Bauza R, *IEEE 802.11 p vehicle to infrastructure communications in urban environments*. IEEE Communications Magazine, vol.50 issue 5, May (2012) s.176–183, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6194400/>.
57. Gaurav Bansal, *The Role and Design of V2X Communications for Automated Driving*, IEEE Workshop on Autonomous-Connected Vehicles, January 13, (2016),

- http://comsocscv.org/docs/Gaurav%20Bansal%20IEEE%20Workshop%20on%20Autonomous-Connected%20Vehicles%20Jan%202016_Distribution%20Version.pptx.
58. *A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility*, komunikat Komisji Parlamentu Europejskiego, Brussels, (30.11.2016), http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_en_act_part1_v5.pdf.
59. *Planning for Connected and Automated Vehicles*, published by Public Sector Consultants And Center For Automotive Research, March (2017), <http://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/03/Planning-for-Connected-and-Automated-Vehicles-Report.pdf>.
60. strona internetowa NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), <https://icsw.nhtsa.gov/safercar/v2v/>.
61. Goel Vindu, *Maps That Live and Breathe with Data*, New York Times, June 10, (2013), <http://www.nytimes.com/2013/06/11/technology/mobile-companies-crave-maps-that-live-and-breathe.html>.
62. Shrikant Acharya, *Connectivity, Autonomy & The Future of Transportation - Intro Slides*, IEEE Workshop on Autonomous/Connected Vehicles, January 13, 2016, <http://comsocscv.org/docs/speaker4%20Shrikant%20Acharya.pptx>.
63. Kelly R.B., Johnson M.D., *Defining a Stable, Protected and Secure Spectrum Environment for Autonomous Vehicles*, Santa Clara Law Review, Vol. 52, No. 4, L. Rev. 1271-1319, (2012), <http://digitalcommons.law.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2730&context=lawreview>.
64. Newcomb D., *Sprint Connects with the 2013 Ram Pickup, Dodge Viper*, Wired, August 10, (2012), <https://www.wired.com/2012/08/sprint-dodge-ram-uconnect/>.
65. Fitchard K., *Is Detroit Buying Verizon's LTE-Connected Car Vision?*, Business Week, June 6, (2012), <https://gigaom.com/2012/06/06/is-detroit-buying-verizons-lte-connected-car-vision/>.
66. Amend J., Mames M., *GM Links with AT&T to Bring 4G LTE Connectivity in 2014*, WardsAuto, February 25, (2013). <http://wardsauto.com/vehicles-amp-technology/gm-links-att-bring-4g-lte-connectivity-2014>.
67. Day J., *Audi Unveils In-Car 4G LTE Wireless Broadband*, John Day's Automotive Electronics, February 4, (2013), <http://johndayautomotiveelectronics.com/audi-unveils-in-car-4g-lte-wireless-broadband>.
68. *Audi A3 Limousine – podbój nowego segmentu rynkowego*, notatka prasowa Volkswagen Group Polska sp. z o.o., (marzec 2013), http://www.audi.press-bank.pl/artykul,16255,audi_a3_limousine_-_podboj_nowego_segmentu_rynkowego.
69. Guo J., Balon N., *Vehicular Ad Hoc Networks and Dedicated Short-Range Communication*, Journal University of Michigan, 26 June (2006), http://nbalon.info/projects/cis695/vanet_chapter.pdf.
70. Kenney J., *Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States*. Volume: 99, Issue: 7, (July 2011), s.1162-1182, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5888501>.
71. Kenney J., *Dedicated Short Range Communications: Connecting vehicles*, IEEE Workshop on Connected Cars, June 11, (2014), <http://comsocscv.org/docs/20140611-Toyota-Kenney.pdf>.
72. Lansford J., *Vehicle to Vehicle Communications and the need for more Wi-Fi spectrum: Can unlicensed devices safely use critical V2V licensed spectrum?*, IEEE Workshop on Connected Cars, June 11, (2014), <http://comsocscv.org/docs/20140611-CSR-Lansford.pdf>.

73. Kenney J., *The Road to Automated Driving: bridging the auto and tech cultures*, IEEE Workshop on Autonomous/Connected Vehicles, January 13, (2016), <http://comsocscv.org/docs/Speaker1%20JohnKenney.pdf>.
74. Leonard K., *Dedicated short-range communications (DSRC) and spectrum policy*, presentation - ITS World Congress, October (2016), https://www.its.dot.gov/presentations/world_congress2016/Leonard_DSRC_Spectrum2016.pdf.
75. *Intelligent Transportation Society of America, Letter to FCC Chairman Julius Genachowski*, Washington, D.C., February 12, (2013), <http://www.itsa.wikispaces.net/file/view/ITS+America+Letter+re+5+9+GHZ+Band+and+Connected+Vehicle+Program.pdf>.
76. Kesting A., Treiber M., Helbing D., *Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity*, Philosophical Transactions of the Royal Society A (2010) 368, s. 4585–4605, <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/368/1928/4585.full.pdf>.
77. Levin M.W., Boyles S.D., *A multiclass cell transmission model for shared human and autonomous vehicle roads*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 62, January (2016), s. 103-116, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X1500354X>.
78. Marsden G., McDonald M., Brackstone M., *Towards an understanding of adaptive cruise control*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 9, Issue 1, February 2001, s. 33-51, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X0000022X>.
79. van Arem B., van Driel C.J.G., Visser R., *The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow Characteristics*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Volume 7, Issue 4, Dec. 2006, s. 429-436, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4019451/>.
80. Saeed Asadi Bagloee, Avishai (Avi) Cederb, Madjid Tavanac, Claire Bozic, *A heuristic methodology to tackle the Braess Paradox detecting problem tailored for real road networks*, Transportmetrica A: Transport Science, Vol. 10, No. 5, (2014), s.437-456, <http://tavana.us/publications/BRAESS-TRANS.pdf>.
81. Roughgarden T., Tardos E., *How Bad Is Selfish Routing?*, Journal of the ACM, Vol. 49, No. 2, March 2002, s. 236-259, http://lcm.csa.iisc.ernet.in/files/selfish_routing_jacm.pdf.
82. Wojtowicz W., *Ruch w miastach: Paradoks Braessa*, urbnews.pl, 21 lipca 2014, <http://urbnews.pl/paradoks-braessa/>.
83. Dresner K.M., Stone P., *Multiagent traffic management: a reservation-based intersection control mechanism*, Proceedings of the Third international joint conference on autonomous agents and multiagent systems, AAMAS (2004), s. 530-537, https://www.researchgate.net/publication/221456995_Multiagent_Traffic_Management_A_Reservation-Based_Intersection_Control_Mechanism.
84. Dresner K.M., Stone P., *Sharing the Road: autonomous vehicles meet human drivers*, IJCAI, (2007),pp. 1263-1268, https://www.researchgate.net/publication/220813478_Sharing_the_Road_Autonomous_Vehicles_Meet_Human_Drivers.
85. Fajardo D, Au T-C, Waller S, Stone P, Yang D, *Automated intersection control: Performance of future innovation versus current traffic signal control*. Transportation Research Record (TRR), 2259:223-32, 2012., <https://www.cs.utexas.edu/~pstone/Papers/bib2html/b2hd-trr11.html>.

86. Carlino D., Depinet M., Khandelwal P., Stone P., *Approximately Orchestrated Routing and Transportation Analyzer: Large-scale Traffic Simulation for Autonomous Vehicles*, Proceedings of the 15th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC 2012), September (2012), <http://ieeexplore.ieee.org/document/6338701/>.
87. Link H, Nash C, Ricci A, Shires J, *A generalised approach for measuring the marginal social costs of road transport in Europe*. International Journal of Sustainable Transportation, 10 (2). (2014), s. 105-119.
88. Parry IW, Walls M, Harrington W, *Automobile externalities and policies.*, Journal Of Economic Literature, Vol. 45, No. 2, June (2007), (pp. 373-399), <http://www.rff.org/files/sharepoint/WorkImages/Download/RFF-DP-06-26-REV.pdf>.
89. Mostert M., Limbourg S., *External costs as competitiveness factors for freight transport – a state of the art*, Transport Reviews, vol. 36, issue 6, (2016), s. 692-712, http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/193331/2/External%20costs_ORBI.pdf.
90. *External Costs of Transport - 1st Report - Review of European Studies*, by Danish Ministry of Transport, July (2004), <https://www.trm.dk/~media/files/publication/english/1streport.pdf>.
91. van Essen H., Schrotten A., Otten M., Sutter D., Schreyer Ch., Zandonella R., Maibach M., Doll C., *External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008*, Report Committed to the Environment CE Delft, September (2011), http://ecocalc-test.ecotransit.org/CE_Delft_4215_External_Costs_of_Transport_in_Europe_def.pdf.
92. Korzhenevych A., Dehnen N., Bröcker J., Holtkamp M., Meier H., Gibson G., Varma A., Cox V., *Update of the Handbook on External Costs of Transport*, Report for the European Commission: DG MOVE Ricardo-AEA/R/ ED57769 Issue 1, January (2014), <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/studies/doc/2014-handbook-external-costs-transport.pdf>.
93. *Audi AI – inteligentnie i empatycznie*, notatka prasowa Volkswagen Group Polska sp. z o.o., (lipiec 2017), http://www.audi.press-bank.pl/artykul,27053,audi_ai.
94. Blincoe, L. J., Miller, T. R., Zaloshnja, E., & Lawrence, B. A., *The economic and societal impact of motor vehicle crashes, 2010. (Revised 2015)*, Report No. DOT HS 812 013, National Highway Traffic Safety Administration., (2015), <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812013>.
95. *Bezpieczeństwo ruchu drogowego: nowe dane statystyczne przemawiają za podjęciem kolejnych działań na rzecz ratowania życia na drogach UE*, komunikat prasowy Komisji Europejskiej ds. transportu, Bruksela, 31 marca (2016), http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-863_pl.htm.
96. Lund A., *Vehicle Safety: Where It's Been and Where It's heading*, presentation, Washington Automotive Press Association, January 15, (2015), http://www.iihs.org/media/28ed9ac3-c226-4432-8d01-b603500fe890/VaM1_A/Presentations/Lund%201-15-15%20Nat%20Press%20Club.pdf.
97. *New estimates of benefits of crash avoidance features on passenger vehicles*, Report of Insurance Institute for Highway Safety, Vol. 45, No. 5, May 20, (2010), <http://www.iihs.org/iihs/sr/statusreport/article/45/5/2>.
98. Jermakian JS, *Crash avoidance potential of four passenger vehicle technologies*, Accident Analysis & Prevention, Volume 43, Issue 3, May (2011), Pages 732-740, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000145751000299X>.
99. Zuby D., *Features, Benefits and Capabilities of Automatic Emergency Braking, Forward Collision Warning, Lane Departure Warning, Blind Spot Detection, Advanced Headlights*

- (*What We Know About Current Crash Avoidance Technologies*), Expert Panel: Driver-assist Technologies, (October 2016), <http://www.nsc.org/DistractedDrivingDocuments/Driver-Tech/Expert%20Panel/1zuby.pdf>.
100. Eugenson A., *Driver Attention and Vehicle technology*, Expert Panel: Driver-assist Technologies, (October 2016), <http://www.nsc.org/DistractedDrivingDocuments/Driver-Tech/Expert%20Panel/2Anders%20Eugensson.pdf>.
 101. Farmer CM, *Crash avoidance potential of five vehicle technologies. Traffic Injury Prevention*, published by Insurance Institute for Highway Safety, (2008), <http://www.iihs.org/frontend/iihs/documents/masterfiledocs.ashx?id=1826>.
 102. *Driver assistance systems — How much support do German drivers want?*, *Bosch study on driver assistance systems 2012*, by Robert Bosch GmbH, (2013), http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/media/migrated_download/de/7966ks-e_Detailed_information_driver_survey.pdf.
 103. Maddox J, *Improving driving safety through automation*, Congressional Robotics Caucus, National Highway Traffic Safety Administration, (2012), <http://www.roboticscaucus.org/schedule/2012/Automationforsafety-CongressionalroboticsCaucus-Maddox7-25-12.pdf>.
 104. *VOLVO Trucks - European Accident Research and Safety Report 2013*, published by Volvo Trucks, (2013), <http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/Values/ART%20Report%202013.pdf>.
 105. *Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey*, published by NHTSA's National Center for Statistics and Analysis (2015), <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>.
 106. Davidson P, Spinoulas A, *Autonomous vehicles-what could this mean for the future of transport?*, Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference, (2015), <http://transposition.com.au/papers/AutonomousVehicles.pdf>.
 107. Greenblatt JB, Shaheen S, *Automated vehicles, on-demand mobility, and environmental impacts*. *Curr. Sustainable Renewable Energy Rep.* (2015), s. 74-81, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40518-015-0038-5.pdf>.
 108. Fernandes P, Nunes U, (2012) *Platooning with IVC-enabled autonomous vehicles: strategies to mitigate communication delays, improve safety and traffic flow*. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Vol. 13, No. 1, March 2012, https://www.researchgate.net/publication/220108945_Platooning_With_IVC-Enabled_Autonomous_Vehicles_Strategies_to_Mitigate_Communication_Delays_Improve_Safety_and_Traffic_Flow.
 109. *Jak działa Uber?*, internetowa strona producenta https://help.uber.com/pl_PL/h/738d1ff7-5fe0-4383-b34c-4a2480efd71e.
 110. Martin EW, Shaheen S, *Greenhouse gas emission impacts of carsharing in North America*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Volume: 12, Issue: 4, Dec. (2011), http://76.12.4.249/artman2/uploads/1/Greenhouse_Gas_Emission_Impacts_of_Carsharing_in_North_America.pdf.
 111. Schoettle B, Sivak M, *Potential impact of self-driving vehicles on household vehicle demand and usage*, Report No. UMTRI-2015-3, The University of Michigan Transportation Research Institute, (2015), <http://www.driverlesstransportation.com/wp-content/uploads/2015/02/UMTRI-2015-3.pdf>.

112. *Architektura elektromobilności: Audi e-tron Sportback concept*, notatka prasowa Volkswagen Group Polska sp. z o.o., (kwiecień 2017), http://www.audi.press-bank.pl/artukul,26663,architektura_elektromobilnosci:_audi_e-tron_sportback_concept.
113. Kublik A., *Tesla zaczyna produkcję popularnego auta na prąd - Tesla Model 3. Na samochody elektryczne stawiają też Volvo, Chevrolet, Nissan, Mercedes i Toyota*, Gazeta Wyborcza, 08 lipca (2017), <http://wyborcza.pl/7,155287,22057399,tesla-zaczyna-produkcje-popularnego-auta-na-prad-na.html?disableRedirects=true>.
114. *Hybrid and Electric Vehicles The Electric Drive Captures the Imagination*, Annual report of the International Energy Agency Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes, March (2012), http://www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV_2011_annual_report_web.pdf.
115. Santini D.J., Yan Zhou, Werpy M.R., *Status and Issues for Plug-in Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles in the United States. Alternative Fuel and Advanced Vehicle Technology Market Trends.*, report of Argonne National Laboratory Lemont for U.S. Department Of Energy, February 2015, https://cleancities.energy.gov/files/u/news_events/document/document_url/95/2015_strategy_c_planning_electric_drive.pdf.
116. *Hybrid and Electric Vehicles. The Electric Drive Delivers.*, Annual report of the International Energy Agency Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes, April 2015, http://www.ieahev.org/assets/1/7/Report2015_WEB.pdf.
117. Kang N, Feinberg FM, Papalambros PY, *Autonomous electric vehicle sharing system design*, Journal of Mechanical Design Vol. 139, January 2017, s. 011402-1 - 011402-10, <http://ode.engin.umich.edu/publications/PapalambrosPapers/2016/336J.pdf>.
118. Segal M., Kockelman K.M., *Design and implementation of a shared autonomous vehicle system in Austin, Texas*, Journal of Urban Planning and Development, (April 2016). http://www.cae.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/TRB16SAVDesign.pdf.
119. Chen T.D., Kockelman K.M., *Management of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: implications of pricing schemes*, Transportation Research Record no. 2572, 2016, s. 37-47. http://www.cae.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/TRB16SAEVsModeChoice.pdf.
120. Milakis D, Snelder M, Van Arem B, Van Wee G, Homem de Almeida Correia G, *Development of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050*, report TU Delf, (2015), <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ac22db456-b61a-4908-b2f6-51d16d5708f8>.
121. Hensher DA, Bliemer MC, *What type of road pricing scheme might appeal to politicians? Viewpoints on the challenge in gaining the citizen and public servant vote by staging reform*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 61, March (2014), s. 227-237,
122. Stępniewski P, *Przez korki tracisz średnio 3,3 tys. zł rocznie*, fakt24.pl, 03.03.(2016), <http://www.fakt.pl/pieniadze/motoryzacja/ile-czasu-i-pieniedzy-tracimy-przez-korki/x5dljyk>.
123. *Raport o korkach w 7 największych miastach Polski*, raport Deloitte i Targeo.pl, marzec (2016), http://korkometr.targeo.pl/Raport_Korki_2015.pdf.
124. Manville M., Shoup D., *People, Parking, and Cities*, Journal of Urban Planning and Development, Vol. 131, No. 4, December (2005), pp. 233-245., <http://shoup.bol.ucla.edu/People,Parking,Cities.pdf>.
125. *Autonomiczne samochody przebudują nam miasta*, w www.miasto2077.pl, 21 czerwca (2017), <http://www.miasto2077.pl/autonomiczne-samochody-przebuduja-nam-miasta/>.

126. Sridhar K.S., Sridhar V., *Telecommunications infrastructure and economic growth: evidence from developing countries*, Applied Econometrics and International Development, Vol. 7, No. 2, (2007), https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1250082#.
127. Hula A, Bunker A., Maguire A., Alson J., *Light-Duty Automotive Technology, Carbon Dioxide Emissions, and Fuel Economy Trends: 1975 Through 2016*, report for U.S. Environmental Protection Agency, (2016), <https://www.epa.gov/fueleconomy/download-co2-and-fuel-economy-trends-report-1975-2016>.
128. National Research Council, *Hidden costs of energy: unpriced consequences of energy production and use*. National Academies Press. doi: 10.17226/12794. (2010), <http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2012/06/hidden.pdf>.
129. Folsom T., *Energy and autonomous urban land vehicles*. IEEE Technology and Society Magazine, Volume: 31, Issue: 2, (June 2012). s. 28-38
130. Brooker A.D., Ward J., Wang L., *Light weighting impacts on fuel economy, cost, and component losses*. SAE Technical Paper, (2013), <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57607.pdf>.
131. US-DOE *Report on the first quadrennial technology review*. US Department of Energy. (2011), http://energy.gov/sites/prod/files/QTR_report.pdf.
132. US-EPA *Light-duty automotive technology, carbon dioxide emissions, and fuel economy trends: 1975 through 2012*, Agency UEP (ed.) Transportation and climate division, office of transportation and air quality, (2013) <http://www.advancedmobilityproject.com/cdn/cms/EPA-2012-fuel-economy-report.pdf>.
133. Peng, H., *Evaluation of driver assistance systems – A human centred approach*. AVEC Proceedings, Hiroshima, Japan, (2002), <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=DF42EFAA061D95BB712073942AC230AB?doi=10.1.1.218.6384&rep=rep1&type=pdf>.
134. *Automation – from Driver Assistance Systems to Automated Driving*, published by VDA Verband der Automobilindustrie e.V., Berlin, (2015), https://www.iaa.de/fileadmin/user_upload/2015/english/downloads/press/Automation-from_Driver_Assistance_Systems_to_Automated_Driving.pdf.
135. Anderson M., Anderson S.L., Armen C., *Towards Machine Ethics: Implementing Two Action-Based Ethical Theories*, Proceedings of the AAAI 2005 Fall Symposium on Machine Ethics, Arlington, VA, (2005). <https://pdfs.semanticscholar.org/f36b/82a0ee77c9a87f3010f9d0335270d1a24687.pdf>.
136. Benenson R., Fraichard T., Parent M., *Achievable safety of driverless ground vehicles*. 10th IEEE International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Hanoi, Vietnam, Dec. (2008), https://www.researchgate.net/publication/224391957_Achievable_Safety_of_Driverless_Ground_Vehicles.
137. Toshiyuki Inagaki, *To What Extent May Assistance Systems Correct and Prevent 'Erroneous' Behaviour of the Driver?*, in P.C. Cacciabue et al (eds.), *Human Modelling in Assisted Transportation*. Springer, Milan, pp 33-41, 2011, <http://www.css.risk.tsukuba.ac.jp/pdf/tutorial16.pdf>.
138. Lin P., *The Ethics of Saving Lives With Autonomous Cars Are Far Murkier Than You Think*, Wired Opinion, 30 Jul (2013), <http://www.wired.com/opinion/2013/07/the-surprising-ethics-of-robot-cars/>.

139. Goodall N.J., *Machine Ethics and Automated Vehicles*, Pre-print version. Published in G. Meyer and S. Beiker (eds.), *Road Vehicle Automation*, Springer, (2014), s. 93-102., <http://people.virginia.edu/~njg2q/machineethics.pdf>.
140. Goodall N.J., *Ethical Decision Making During Automated Vehicle Crashes*, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2424, (2014), s. 58-65, https://www.researchgate.net/publication/280807310_Ethical_Decision_Making_During_Automated_Vehicle_Crashes.
141. Kumer W., *Analysis of the effects of demographic and driver behavior variables on traffic safety and crash prediction.*, PhD Thesis, Texas Tech University, (2015), <https://ttu-ir.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/62369/KUMFER-DISSERTATION-2015.pdf?sequence=1>.
142. McCluskey B., *Connected cars: the security challenge for autonomous vehicles*, E&T Magazine (eandt.theiet.org), February 21, (2017), <https://eandt.theiet.org/content/articles/2017/02/connected-cars-the-security-challenge-for-autonomous-vehicles/>.
143. Patrascu A, Simion E, *Cyber security evaluation of critical infrastructures systems*, In book: *Autonomous hybrid vehicles. Intelligent transport systems and automotive technologies*, Chapter: *Cyber security evaluation of critical infrastructures system*, Nova Science Publishers, Inc., (2014), s 185-206, https://www.researchgate.net/publication/271195984_Cyber_security_evaluation_of_critical_infrastructures_system.
144. Szoldra P., *The truth about car hacking is scarier than we realized*, in *Business Insider*, Jun. 28, (2016), <http://www.businessinsider.com/hacker-car-hacking-2016-6?IR=T>.
145. “Ms. Smith”, *Ford, GM and Toyota sued for 'dangerous defects' in hackable cars*, in <http://www.csoonline.com/>, MAR 11, 2015, <http://www.csoonline.com/article/2895535/microsoft-subnet/ford-gm-and-toyota-are-being-sued-for-dangerous-defects-in-their-hackable-cars.html>.
146. van Roermund T., *Secure connected cars for w smarter world*, “white-paper published by NXP® Semiconductors N.V., (2015), <http://www.nxp.com/docs/en/white-paper/SECURE-CONNECTED-CARS-WP.pdf>.
147. Birnie A., van Roermund T., *Multi-layer vehicle security framework*, “white-paper” published by NXP® Semiconductors N.V., (2016), <http://www.nxp.com/docs/en/white-paper/MULTI-LAYER-VEHICLE-SECURITY-WP.pdf>.
148. Petit J, Shladover SE, *Potential cyberattacks on automated vehicles*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* Volume: 16, Issue: 2, (April 2015),s.546–556, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6899663/>.
149. Specht M., *Wojskowe odbiorniki GPS z modulem SAASM — wprowadzenie do zagadnienia*, *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej ROK LIV NR 3 (194)*, (2013), https://www.researchgate.net/publication/265847677_Wojskowe_odbiorniki_GPS_z_modul_em_SAASM_-_wprowadzenie_do_zagadnienia.
150. McKenna D., *Making full vehicle OTA updates a reality*, “white-paper published by NXP® Semiconductors N.V., (2016), <http://www.nxp.com/docs/en/white-paper/Making-Full-Vehicle-OTA-Updates-Reality-WP.pdf>.
151. Schellekens M., *Car hacking: navigating the regulatory landscape*. *Computer Law & Security Review* 32 (2016), s. 307-315, <http://daneshyari.com/article/preview/466377.pdf>.
152. Dennis P.E, Spulber A., *International Scan of Connected and Automated Vehicle Technology Deployment Efforts*, report by Michigan Department of Transportation (MDOT)

- and Center for Automotive Research (CAR), (February 2017), http://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/04/CAV_International_Survey_2017_555402_7.pdf.
153. Okurowski T., *Niemcy legalizują autonomiczne samochody*, ONET – moto aktualności, 16.05.(2017), <http://moto.onet.pl/aktualnosci/niemcy-legalizuja-autonomiczne-samochody/6xrbqg>.
 154. *Volvo obiecuje, że nikt nie zginie w ich samochodach*, w PLANETA.FM - RADIO ONLINE, 04.11.(2016), <http://www.planeta.fm/Newsy/Ciekawostki/Volvo-obiecuje-ze-nikt-nie-zginie-w-ich-samochodach-Jak>.
 155. *Samochody autonomiczne a kwestia odpowiedzialności za wypadek*, w INTERIA – Motoryzacja, 02.03.(2017), <http://motoryzacja.interia.pl/wiadomosci/bezpieczenstwo/news-samochody-autonomiczne-a-kwestia-odpowiedzialnosci-za-wypadek,nId,2362365>.
 156. Wee D., Bertoncetto M., *Ten ways autonomous driving could redefine the automotive world*, McKinsey & Company, June (2015), <http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/ten-ways-autonomous-driving-could-redefine-the-automotive-world>.
 157. Mohr D., Kaas H.W., Gao P., Wee D., Möller T., *Automotive revolution – perspective towards 2030*, report published by McKinsey & Company, (January 2016), <http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/high%20tech/our%20insights/disruptive%20trends%20that%20will%20transform%20the%20auto%20industry/auto%202030%20report%20jan%202016.ashx>.
 158. Bansal P., Kockelman K.M., *Forecasting Americans' long term adoption of connected and autonomous vehicle technologies*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 95, January (2017), Pages 49-63, https://www.caee.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/TRB16CAVTechAdoption.pdf.
 159. Liulima J., *Impact of Autonomous Vehicles on Auto Industry*, in wardsauto.com, Sep 23, (2016), <http://wardsauto.com/technology/impact-autonomous-vehicles-auto-industry>.
 160. *Autonomous Vehicle Partnerships: How Tech Companies and Automakers are Collaborating to Innovate the Future*, in medium.com, Nov 8, (2016), <https://medium.com/@water.street/autonomous-vehicle-partnerships-how-tech-companies-and-automakers-are-collaborating-to-innovate-cf44bc9e85a>.
 161. Griffiths S., *Will humans be BANNED from driving? Elon Musk says self-driving cars will spell the end of motorists because they are safer*, published by dailymail.co.uk, 18 March (2015), <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3000426/Will-humans-BANNED-driving-Elon-Musk-says-self-driving-cars-spell-end-motorists-safer.html>.
 162. Sivak, M., *Has motorization in the US peaked?*, University of Michigan Transportation Research Institute, June (2013), <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/98098/102947.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
 163. [bcs 2015] *Carsharing expands rapidly into new towns and communities*, Bundesverband CarSharing e. V., March (2015), <https://carsharing.de/presse/pressemitteilungen/carsharing-expands-rapidly-into-new-towns-and-communities-more-than-25>.
 164. [shahen 2016] Shaheen, S., Cohen, A., *Innovative Mobility Car Sharing Outlook*, published by Transportation Sustainability Research Center – University Of California, Berkeley, (2016), http://innovativemobility.org/wp-content/uploads/2016/02/Innovative-Mobility-Industry-Outlook_World-2016-Final.pdf.

Czy samochód „autonomiczny” to samochód „bezpieczny”?

Streszczenie

W ciągu ostatnich kilku lat wiele firm motoryzacyjnych, ale i również nie kojarzonych wcześniej z tą branżą, rozwinęło prace nad samochodami autonomicznymi. Koncerny prezentują opracowane prototypy, niektóre chwala się wynikami pierwszych testów. Zapowiedzi i deklaracje takich potentatów jak Google, Tesla, Toyota, Mercedes, czy Ford, wydają się wskazywać, że w ciągu kilkunastu lat rynek motoryzacyjny zostanie zdominowany przez pojazdy autonomiczne.

Zaistnienie i rozwój samochodów autonomicznych jest odpowiedzią na potrzebę zwiększenia bezpieczeństwa na drogach, a przede wszystkim ograniczenia ofiar wypadków komunikacyjnych. Badania wskazują jednoznacznie, że zdecydowana większość zdarzeń drogowych jest wynikiem błędu człowieka. Zastosowanie „autopilota” w samochodzie powinno znacząco ograniczyć problem wypadków, a może nawet całkowicie go zlikwidować. Pomocne w realizacji tego zamierzenia są nowoczesne technologie z branży informatycznej, komunikacyjnej, elektronicznej i automatycznej. Umożliwiają one implementacje w pojazdach wielu, zaawansowanych technicznie urządzeń, podzespołów i programów komputerowych, które pozwalają na całkowite wyeliminowanie kierowcy i tym samym ograniczenie błędów czynnika ludzkiego oraz bezpieczne poruszanie się po ulicach i autostradach.

Wyniki prac związanych z samochodami autonomicznymi, pokazują, że technicznie są one opracowane prawie w 100%. Jednakże badania rynku motoryzacyjnego wskazują, że jest jeszcze wiele obszarów, które nie do końca zostały rozpoznane. Sami producenci podkreślają problem zabezpieczenia informatycznego pojazdów oraz ograniczenia algorytmów, które nie są w stanie przewidzieć każdej sytuacji drogowej, a kancelarie prawne i firmy ubezpieczeniowe sygnalizują brak regulacji prawnych dotyczących odpowiedzialności w przypadku wypadków i kolizji.

Trudno dziś odpowiedzieć na pytanie, czy samochód autonomiczny jest całkowicie bezpieczny. Dopiero najbliższe lata pokażą, czy uda się przezwyciężyć problemy związane z użytkowaniem tego typu pojazdów.

Słowa kluczowe: samochód autonomiczny, bezpieczeństwo na drogach, przemysł motoryzacyjny, elektronika w pojazdach

Is the "autonomous" car a "safe" car?

Abstract

Over the past few years, many automotive companies, and also not connected with this industry, have developed autonomous cars. The companies present the prototypes, some shows the results of the first tests. The announcements and declarations of such giants as Google, Tesla, Toyota, Mercedes or Ford appear to indicate that within a dozen years the automotive market will be dominated by autonomous vehicles. The emergence and development of autonomous cars is a response to the need for increased road safety and, above all, the reduction of traffic accidents. Studies clearly show that the majority of road events are the result of human error. The use of "autopilot" in the car should significantly reduce the problem of the road accident or may even completely eliminate it. Modern technologies from the IT, communication, electronic and automatic industries are helping to achieve this goal. They enable vehicle implementations of many technologically advanced devices, blocks and computer programs to completely eliminate the driver and thus reduce the human error and provide for safe traffic on the roads and highways.

The results of the work related to the autonomous cars area show that they are technically almost 100% developed. However, automotive market research indicates that there are still many areas that are not fully recognized. Manufacturers themselves emphasize the problem of cyber-security of vehicles and limiting algorithms that are unable to predict any traffic situation and lawyer's offices and insurance companies signal deficiency of regulations on liability in case of accidents and collisions.

It is difficult today to answer the question of whether an autonomous car is completely safe. Only the coming years will show whether the problems connected with the use of such vehicles can be overcome.

Keywords: autonomous car, safety on road, automotive industry, automotive electronics

Analiza rynku dronów oraz przepisy prawne związane z ich użyciem w Polsce

1. Wprowadzenie

Już od czasów rewolucji przemysłowej ludzie obawiają się wynalazków oraz tego, że przez nieodpowiednią kontrolę ich rozprzestrzeniania wpłyną znacząco na człowieczeństwo. Takie myślenie jest związane ściśle z wykorzystaniem nowych technologii podczas działań zbrojnych [1]. Od czasów rozpowszechnienia wiedzy o bezzałogowych aparatach latających, kojarzone są one m.in. z globalną walką z terroryzmem oraz stają się symbolem nowoczesnej wojny [2]. Drony zyskały popularność w ostatnich latach, jednak ich historia sięga już blisko dwustu lat [3]. Jednak XIX wieczne bezzałogowce, biorąc pod uwagę współczesną definicję, nie miały takich możliwości oraz zakresu wykorzystania jak współczesne [3]. Produkcja pierwszego bezpilotowego statku ruszyła już w 1940 roku na potrzeby amerykańskiej armii szkolącej przeciwlotników [3]. Do ukończenia II wojny światowej zostało wyprodukowanych piętnaście tysięcy takich urządzeń [3]. Zatem od pojawienia się pierwszego bezzałogowego urządzenia do wprowadzenia go, jako elementu imprezy masowej upłynęło bardzo dużo czasu. Historia organizacji wydarzeń masowych sięga już czasów antycznego Rzymu, w którym organizowano uroczystości religijne, igrzyska oraz inne zgromadzenia [4]. Dzięki rozwojowi technologicznemu oraz formalnym wymaganiom, system zabezpieczenia medycznego imprez ulega ciągłemu rozwojowi. W dzisiejszych czasach produkcja dronów wzrosła niebywale [5]. Jest to jedna z najbardziej przyszłościowych branż na rynku nowoczesnych technologii [6]. Z roku na rok globalny rynek tych urządzeń jest wyceniany coraz drożej i obecnie wynosi 7 miliardów dolarów [5]. Liczba ta stale rośnie i według specjalistów w roku 2023 osiągnie ponad 11 miliardów dolarów [6]. Obecnie jest to najszybciej rozwijający się dział rynku technologicznego, którego średnia roczna stopa wzrostu została oceniona na 109% do 2020 [5]. Instytut badawczy EVTank oszacował, iż w 2023 roku około 11,5 miliarda urządzeń bezzałogowych będzie korzystała z przestrzeni powietrznej [5]. Z upływem lat zmieniły się także możliwości użytkowania dronów [5]. Największą popularność zyskały poprzez możliwość ich komercyjnego wykorzystania

¹ anka.tyranska@gumed.edu.pl, II Zakład Radiologii, Wydział Nauk o Zdrowiu z Oddziałem Pielęgniarstwa i Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdański Uniwersytet Medyczny, www.gumed.edu.pl

² mrobakowska@gumed.edu.pl, Zakład Zdrowia Publicznego i Medycyny Społecznej, Wydział Nauk o Zdrowiu z Oddziałem Pielęgniarstwa i Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdański Uniwersytet Medyczny, www.gumed.edu.pl

³ Wydział Nauk o Zdrowiu, Gdański Uniwersytet Medyczny

⁴ slezakdaniel@gumed.edu.pl, Katedra i Klinika Medycyny Ratunkowej, Wydział Nauk o Zdrowiu z Oddziałem Pielęgniarstwa i Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdański Uniwersytet Medyczny

[5]. Bezzałogowce, nadal wykorzystywane przez wojsko na całym świecie, zaczęły stawać się powszechne także w innych dziedzinach [5]. Perspektywa zastosowania dronów w medycynie jest zdecydowanie dużym osiągnięciem w historii tych urządzeń. W wielu krajach pomysł wykorzystania ich w sektorze medycznym jest realizowany i spotyka się z wielką aprobatą społeczeństwa oraz środowiska medycznego [5]. Mimo tego w wielu państwach kwestie prawne dotyczące dronów nie są dostatecznie uregulowane i ich komercyjne wykorzystywanie rodzi wiele problemów [5]. Liczne państwa posiadają także zakaz lotów bezzałogowych [7]. Jednak społeczeństwo zauważa korzyści z użytkowania dronów w medycynie, dlatego w wielu krajach trwają prace nad zmianami prawa dotyczącego bezzałogowych maszyn latających [5]. Praca ma na celu analizę obecnego rynku bezzałogowych aparatów latających w Polsce. Część teoretyczna pracy przybliży tematykę dronów oraz przepisy prawne związane z ich użyciem.

2. Definicja bezzałogowego systemu latającego.

Istnieje wiele różnych definicji bezzałogowych systemów latających (ang. *Unmanned Aerial System* – UAS). Jest to głównie zależne od możliwości urządzenia oraz jego konstrukcji [8]. Według Amerykańskiej Federalnej Administracji Lotnictwa UAS obejmuje grupę statków powietrznych, począwszy od tych używanych w szeroko rozumianych celach niekomercyjnych do sterowanych radiowo modeli samolotów używanych komercyjnie [8]. Departament Obrony Stanów Zjednoczonych definiuje UAS jako napędzany obiekt latający, który nie przenosi człowieka operatora oraz korzysta z sił aerodynamicznych, aby zapewnić siłę nośną urządzenia [9]. Obiekt może poruszać się autonomicznie lub być pilotowany zdalnie [1]. Z kolei UAV, czyli bezzałogowy aparat latający w literaturze opisywany jest jako urządzenie służące do poruszania się w przestrzeni powietrznej w trakcie nieobecności pilota na pokładzie [10]. Obecnie do określenia dronów używa się zamiennie definicję UAV lub UAS [1]. W dokumentacji organizacji międzynarodowych oraz w publikacjach Unii Europejskiej na temat tych urządzeń można spotkać również nazwę RPA, czyli *remotely piloted aircraft* [1]. Skrót jest zamiennie używany w odniesieniu do dronów z wcześniej wymienionymi nazwami. Osoba sterująca bezzałogowym statkiem powietrznym nazywana jest operatorem [11].

W zależności od parametrów technicznych drony mogą być wykorzystywane w różnych sytuacjach. W ostatnich czasach zwiększyła się ilość komercyjnych użytkowników tych urządzeń [5]. Jednakże maszyny dostępne dla społeczeństwa oraz takie wykorzystywane przez specjalistów dzielą kolosalne różnice. W części przypadków bezzałogowce zaopatrzone są w kamerę, której jakość obrazowania stanowi bardzo ważny element określający możliwości wykorzystania danego urządzenia [1]. Obecnie przy znacznym postępie technologicznym możliwe jest wyposażenie drona w kamerę z bardzo dużą rozdzielczością, w kamerę termowizyjną oraz taką, która zapewnia widzenie po zmroku [1]. Wszystkie te parametry mogą okazać się bardzo przydatne w trakcie obserwacji wydarzenia masowego. Może to niejednokrotnie ułatwić pracę ratownikom medycznym i służbom porządkowym.

Coraz więcej firm oferuje na sprzedaż drony umożliwiające przenoszenie rozmaitych narzędzi lub przedmiotów. W dziedzinie medycyny takie urządzenie zaprezentował wspomniany wcześniej inżynier, który skonstruował bezzałogowy aparat latający przenoszący AED [12]. W ostatnich latach w wielu krajach wzrosło wykorzystanie dronów w obszarze życia publicznego [1]. W wielkiej Brytanii urządzenia te są wykorzystywane w działaniach straży morskiej oraz policji [1]. Służą głównie do monitorowania porządku publicznego podczas dużych zgromadzeń ludności, prowadzenia śledztw oraz kontroli demonstracji pod względem bezpieczeństwa [13]. Do podobnych działań drony wykorzystywane są m.in. w Stanach Zjednoczonych, Szwajcarii, Holandii, Austrii i Francji [1]. Szczegółowy opis wykorzystywania bezzałogowych aparatów latających w trakcie wydarzeń masowych znajduje się w ostatnim rozdziale pracy.

Niezależnie od modelu bezzałogowego statku latającego, składa się on z pięciu podstawowych elementów [14]:

- właściwej platformy nośnej, która może być wyposażona w wiele sensorów pozyskiwania informacji,
- systemu kontroli lotu, w którego skład mogą wchodzić; system inercjalny INS/IMU (*Inertial Navigation System/Inertial Measurement Unit*), system GPS, barometr, altimetr, odometr,
- system do zdalnego lub autonomicznego sterowania lotem, który zapewnia łączność nadajnika z odbiornikiem drogą radiową, za pomocą lasera lub przy zastosowaniu systemu satelitarnego,
- system transmisji danych zarejestrowanych sensorami umieszczonymi na platformie,
- naziemna stacja kontrolna, która umożliwi zaprojektowanie trasy lotu i zdalne kierowanie bezzałogowego statku.

Aparat latający UAV, który jest zdalnie sterowany i pilotowany drogą radiową przez operatora znajdującego się na ziemi nazywany jest aparatem typu RPV (*Remotely Piloted Vehicle*) [15].

3. Przepisy dotyczące zasad wykonywania lotów bezzałogowych w Polsce

Upowszechnienie komercyjnego wykorzystywania bezzałogowych statków powietrznych spowodowało konieczność wprowadzenia przepisów dotyczących ich bezpiecznego użytkowania. Kontrolę w tej dziedzinie głównie sprawuje Urząd Lotnictwa Cywilnego oraz Polska Agencja Żeglugi Powietrznej [16]. 14 marca 2013 roku został powołany zespół odpowiedzialny za tworzenie założeń oraz opracowywanie aktów prawnych związanych z lotami bezzałogowymi w Polsce [16]. Wykonuje on swoje zadania przez organizację spotkań i konsultacje z przedstawicielami i ekspertami z branży, udział w szkoleniach i konferencjach tematycznych, a także gromadzenie i analizę informacji dotyczących użytkowania dronów w Polsce [7]. Wyniki tych działań określają specyfikę i potrzeby różnych sektorów rynku [7]. Pomagają również określić rodzaje bezzałogowców stosowanych w Polsce, zakres prowadzonych lotów i wiele innych istotnych informacji [7]. Zespół skupia się również

na działaniach edukacyjnych i informowaniu społeczeństwa [7]. Jest to szczególnie istotne z uwagi na to, iż duża część ludzi wykonująca loty bezzałogowe nie miała wcześniej kontaktu z obowiązującymi wymogami [17]. Istotną informacją jest fakt, iż wszystkich operatorów dronów, bez względu na charakter odbywanego lotu, oraz innych statków powietrznych dotyczą takie same przepisy prawa lotniczego [11].

W celu poprawnego zrozumienia przepisów dotyczących dronów należy zapoznać się z podziałem przestrzeni powietrznej [18]. W Polsce można wyróżnić strefę kontrolowaną (klasa C) oraz niekontrolowaną (klasa G) [11]. Klasa G sięga od 0 do 3000 m nad ziemią, natomiast klasa C ma zakres od FL95 do FL660 (skrót używane do klasyfikacji przestrzeni lotniczej) [11]. Strefa znajdująca się wyżej nazywana jest nieklasyfikowaną [11]. We wszystkich przestrzeniach można wyróżnić także specjalnie oznaczone strefy: D (*Danger Area*), P (*Prohibited Area*), R (*Restricted Area*) oraz inne [11]. Wnioskując przestrzeń powietrzna nie jest jednolita i należy ściśle przestrzegać wyznaczonych stref, aby zapewnić bezpieczeństwo lotów.

Dla operatorów dronów najważniejszą do zapoznania strefą jest przestrzeń klasy G sięgająca do 3000 m nad ziemią [11]. Na wyższej wysokości nie ma możliwości wykonywania lotu [11]. Obowiązki oraz prawa osób pilotujących bezzałogowe statki powietrzne zostały zawarte w Rozporządzeniu Ministra Transportu Budownictwa i Gospodarki Morskiej [19]. Dotyczą one operacji wykonywanych w zasięgu wzroku operatora (VLOS-*Visual Line of Sight*) [16]. Prawo uwzględnia, aby operator nie stwarzał zagrożenia w stosunku do otoczenia podczas pilotowania drona [11]. Osoba sterująca musi także uwzględniać warunki meteorologiczne oraz zapewniać bezpieczną odległość od osób znajdujących się w zasięgu działania maszyny [19]. Do zadań operatora należy decyzja o wykonywaniu i poprawności lotu oraz kontrola statku i powiązanych urządzeń pod względem technicznym [19]. Użytkownik drona ma także obowiązek ustępowania pierwszeństwa drogi innym statkom powietrznym [19]. Zgodnie z polskim prawem właściciele dronów, których maszyny mają masę od 5 kg do 20 kg są zobowiązani do wykupienia ubezpieczenia OC [19]. Kary za nieprzebranie podanych ograniczeń określone są w ustawie z 3 lipca 2002 roku o prawie lotniczym. Naruszenie przepisów grozi karą grzywny, karą ograniczenia wolności lub pozbawienia wolności do roku lub do lat 5 [16].

Na terenie Polski, w odróżnieniu od niektórych krajów, legalne jest posługiwanie się dronem bez specjalnego zezwolenia [11]. W takiej sytuacji jednak muszą być spełnione odpowiednie warunki [20]. Lot bezzałogowca musi mieć charakter rekreacyjny lub sportowy oraz odbywać się w zasięgu wzroku pilotującego [7]. Waga całego urządzenia wraz z wyposażeniem nie może przekraczać 25 kg, a lot nie może się odbywać poza dozwoloną strefą G z wyłączeniem niedozwolonych klas [11]. Jeśli powyższe warunki lotu nie są spełnione wymagane są specjalne zezwolenia wydawane przez Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego [11]. Jeżeli lot ma być wykonywany przy pomocy kamery z drona (FPV – *First Person View*) i urządzenie nie znajduje się w zasięgu wzroku operatora, zestaw musi być dodatkowo wyposażony w narzędzie do nawigacji, komunikacji oraz realizację lotu według planu [11]. Dodatkowo, jeśli lot jest organizowany komercyjnie, do jego odbycia wymagany jest certyfikat UAVO

(*Unmanned Aerial Vehicle Operator*), który jest wydawany przez Urząd Lotnictwa Cywilnego [11]. Certyfikat mogą uzyskać jedynie osoby pełnoletnie [21].

4. Parametry oraz możliwości systemów bezzałogowych

Służby w Polsce obecnie nie wykorzystują masowo bezzałogowych maszyn [5]. Fundacja Panoptykon w roku 2013 sprawdziła ilość dronów, które są częścią wyposażenia służb państwowych [1]. Z otrzymanych danych wynika, iż w drony wyposażone są policja i straż pożarna [5]. Przy użyciu pilotowania urządzenia mogą latać na odległość do 5 km, a ich prędkość wynosi około 70 km/h [5]. Obecnie są one używane do obserwacji trudno dostępnych obszarów w przypadku zaginięć [5]. Do głównych komercyjnych zadań dronów należy kamerowanie i fotografowanie [5]. Jakość obrazu jest jednym z podstawowych parametrów świadczącym o możliwościach urządzenia [5]. Jest to także jeden z ważniejszych parametrów stanowiący o jego wykorzystaniu podczas wydarzeń masowych [22]. Wyposażenie drona w sensory przeznaczone do obserwacji jest kluczowe, przy jego wykorzystaniu w systemie ratownictwa medycznego [5]. Kamery instalowane w bezzałogowym aparacie latającym mogą działać w odrębnych zakresach widmowych (w zależności od pory dnia) [23]. Dodatkowo bezzałogowce mogą zostać wyposażone w czujniki ciepła, zapachu lub skażeń biologicznych i chemicznych [24]. Przy odpowiednim wyposażeniu zestawu za pomocą drona możliwa jest również detekcja sygnałów elektronicznych [24]. Wszelkie możliwości wykorzystania bezzałogowego systemu zależą od ciężaru jaki może unosić się w powietrzu wraz z urządzeniem [24]. Zazwyczaj są to niewielkie ładunki, które dostarczane są w obszary z utrudnionym dostępem przez człowieka [24].

Wspomniana w poprzednim podrozdziale metoda FPV jest niezbędna do sprawnego monitorowania wydarzenia masowego [25]. Umożliwia ona bezprzewodową transmisję obrazu z drona do urządzenia operatora znajdującego się na ziemi [7]. Podane wyposażenie bezzałogowca umożliwia operatorowi taką widoczność, jakby znajdował się on na pokładzie danego urządzenia [5]. Popularność tego systemu w Polsce wynika z jego możliwości oraz coraz niższych kosztów komponentów technicznych potrzebnych do tego typu lotu [5]. Obecnie prowadzenie lotów FPV na dużych wysokościach oraz w odległości kilkudziesięciu kilometrów nie jest problemem, ponieważ urządzenia dostępne w sklepach, które pozwalają na korzystanie z autopilota, umożliwiają monitorowanie danych nawigacyjnych takich jak kurs, wysokość i prędkość wznoszenia [5]. Wspomniane wyposażenie staje się coraz prostsze w użyciu oraz dostępne dla wszystkich [5]. Oczywiście jest również, że ze względu na coraz większą wydajność i możliwości granica między amatorskim i profesjonalnym sprzętem zaciera się i każda podejmowana operacja kwalifikuje się do typowego bezzałogowego lotu.

W trakcie wydarzeń masowych istotnymi parametrami przydatności statku bezzałogowego jest także czas pracy oraz wysokość lotu urządzenia [24]. Wszystkie atrybuty zależą od modelu i producenta drona [5]. W ostatnich czasach powstaje coraz więcej firm zajmujących się ich produkcją [5]. Obecnie jednym z najdroższych i posiadającym największe możliwości bezzałogowym statkiem powietrznym jest

Global Hawk [26]. Posiada on ogromny zasięg lotu, który może trwać nieprzerwanie dobę oraz posiada łącze satelitarne umożliwiające stały kontakt i bieżące przekazywanie danych [26]. Model ten jest niemal wielkości samolotu osobowego [26]. Najmniejsze zaś prototypy są wielkości owadów [24]. Opisany wcześniej model jest wykorzystywany jedynie w celach militarnych [26]. Według obecnych danych 75% dronów w USA służy w wojsku [24]. Jednak liczba ta będzie się zmniejszać, gdyż z upływem czasu bazałogowce zaczynają być wykorzystywane także w innych dziedzinach [5]. Obecnie, aby przedłużyć czas lotu tych urządzeń, testowane są drony wykorzystujące energię słoneczną [27].

Służby ratownicze z powodzeniem mogłyby wykorzystywać drony podobne do modelu Draganfly [28]. Są one wykorzystywane przez kanadyjską policję i dzięki skutecznej akcji ratunkowej z wykorzystaniem tego urządzenia zyskały sobie sławę [18]. W 2014 roku wykorzystano go do odnalezienia ofiary wypadku samochodowego, który miał miejsce w nocy, przy bardzo niskiej temperaturze zewnętrznej [18]. Dzięki zamontowanej w urządzeniu kamerze termowizyjnej namierzenie poszkodowanego udało się, kiedy inne znane środki zawiodły [18]. Próby wdrożenia dronów jako elementu akcji poszukiwawczych podejmowano również wcześniej [29]. W 2006 roku po wydarzeniach związanych z Huraganem Katrina bezzałogowe maszyny latające pomogły ratownikom w ocenie sytuacji pod względem bezpieczeństwa oraz poszukiwania rannych w obszarach z utrudnionym dostępem [14]. Od czasów tej katastrofy drony zaczęto coraz częściej wykorzystywać na całym świecie w celu poszukiwania poszkodowanych [14]. W literaturze można znaleźć dwa główne powody ich wykorzystania podczas katastrof. Po pierwsze pozwalają na znacznie szerszy obszar obserwacji oraz wyższą jakość monitorowania niż satelity lub samoloty osobowe [14]. Po drugie ich użycie pozwala na znacznie szybszą reakcję ratowników w przypadku sytuacji zagrożenia życia [14]. Możliwości kontroli, monitorowania obserwacji niebezpiecznych miejsc przez aparaty bezzałogowe powinny być wykorzystywane przez polskie organizacje i służby ratownicze (na przykład SAR, GOPR, WOPR). Przydatne mogą okazać się zwłaszcza podczas występowania wypadków masowych lub mnogich, kiedy pomiędzy ilością osób ratowanych i ratownikami występuje dysproporcja, co stanowi ograniczenie dla kompleksowej opieki medycznej [1].

5. Wnioski i podsumowanie

W zależności od możliwości i budowy dronów są one różnie definiowane [9]. Podstawowym założeniem jest poruszanie się w przestrzeni powietrznej w trakcie nieobecności pilota na pokładzie [9]. Branża bardzo szybko się rozwija i znajduje coraz więcej zastosowań w sektorze medycznym [5]. Dalszy rozwój i funkcjonowanie lotnictwa bezzałogowego w Polsce będzie w dużej mierze zależało od prawidłowo skonstruowanych przepisów obejmujących tę dziedzinę [5]. Drony są częściej wykorzystywane komercyjnie i prawo musi obejmować zarówno duże jak i małe platformy. Przepisy powinny uwzględniać zasady świadczenia usług, wymogi wobec operatorów dronów, techniczne parametry oraz procedury operacyjne [5]. Należy

również wziąć pod uwagę loty poza wyznaczonymi miejscami w przestrzeni powietrznej oraz wymagania do określonych sytuacji [30]. Ten rodzaj latania wymaga odrębnych przepisów, ponieważ nie wszystkie z zasad funkcjonowania tradycyjnego lotnictwa mogą być stosowane bezpośrednio do bezzałogowców [7]. Poprzez ciągły rozwój branży dronów istniejące regulacje wymagają stałych aktualizacji. Taka analiza pozwala na zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa podczas korzystania z tych urządzeń. Stosowanie bezzałogowych urządzeń latających przez służby państwowe wymaga szczegółowych badań, aby loty odbywały się zgodnie z prawem oraz zapewniały bezpieczeństwo obywatelom [5].

Literatura

1. Niklas J., Anna W. *Drony – nadzór z powietrza*, Fundacja Panoptykon, 2015.
2. Kowalczevska K., Kowalewski J. *Systemy dronów bojowych. Analiza problemów i odpowiedź społeczeństwa obywatelskiego*, Warszawa 2015, Wydawnictwo Naukowe Scholar.
3. Carr S., Keane J. *A Brief History of Early Unmanned Aircraft*, Johns Hopkins APL Technical Digest, 32(3) (2013), s. 558.
4. Sitek B. *Bezpieczeństwo imprez masowych w antycznym Rzymie na tle współczesnych rozwiązań*, Studia Łuckie 13 (2011), s.1-3.
5. Gontarz A., Kosieliński S. *Rynek dronów w Polsce 2015. Księga popytu i podaży*, Instytut Mikromakro, 2015.
6. Rubin R. *Drones-Quickly Navigating Toward Commercial Application, Starting With E-Commerce And Retail*, Business Insider, 1 (2014), s. 1-4.
7. Urząd Lotnictwa Cywilnego. *Remotely Piloted Aircraft Systems in Poland- Report on the current legal status relating to unmanned aerial vehicles*, Civil Aviation Authority, Warszawa, 2013.
8. Audronis T. *Drony - Wprowadzenie*, Gliwice, Helion, 2015.
9. Cwojdziniński L. *Zadania wykonywane przez systemy platform bezzałogowych i powody ich stosowania*, W: *Pięć żywiołów*, Instytut Mikromakro, Warszawa, 2014.
10. Thompson R. *Drones in Domestic Surveillance Operations: Fourth Amendment Implication and Leg-islative Responses*, Congressional Research Service, 4 (2013), s. 2.
11. Świat dronów. *Drony a prawo polskie*, [Online]. Available: www.swiatdronow.pl. [Data uzyskania dostępu: 17 04 2016].
12. Hessen M. *A Drone For Good*, Turn The Page, 2 (2015), s. 2.
13. Finn R., Wright D. *Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applicatons*, Computer Law & Security Review, 2 (2012), s. 184-194.
14. Kraszewski T., Kaniewski P., Kubicki I. *Systemy nawigacyjne miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych*, Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2013.
15. Sawicki P. *Bazzałogowe Aparaty Latające UAV w Fotogrametrii i Teledetekcji- Stan Obecny i Kierunki Rozwoju*, Olsztyn: Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko- Mazurski w Olsztynie, 2012.
16. Strona Urzędu Lotnictwa Cywilnego. [Online]. Available: www.ulc.gov.pl.
17. Stępień W. *Loty bezzałogowych statków powietrznych w polskiej przestrzeni powietrznej – stan prawny i kierunki prac w PAŻP*, Poznań: Polska Agencja Żegluga Powietrznej, 2012.
18. *Świat Dronów*. [Online]. Available: www.swiatdronow.pl.
19. Rozporządzenie Ministra Transportu Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013.

20. Zespół do spraw bezzałogowych statków powietrznych. *FAQ świadectwo kwalifikacji operatora bezzałogowego statku powietrznego*, Warszawa: Urząd Lotnictwa Cywilnego, 2016.
21. UAVO. [Online]. Available: www.uavo.com.pl. [Data uzyskania dostępu: 15 luty 2016].
22. Drony dla służb. *Nadzór imprez masowych*, [Online]. Available: www.dronydlasluzb.pl. [Data uzyskania dostępu: 03 05 2016].
23. Badurska M. *Możliwości wykorzystania dronów do charakterystyki i oceny jakości środowiska*, Katowice, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, 2015.
24. Kozubal M. *Wścibiński jak dron*, *Uważam rze*, (2) 2016, s.1.
25. UNITAR. *UNOSAT video drone tested successfully in public event*, UNITAR, 2012. [Online]. Available: www.unitar.org. [Data uzyskania dostępu: 31 marzec 2016].
26. Conner M. *NASA Armstrong Fact Sheet: Global Hawk High- altitude, long- endurance science aircraft*, (2) 2014. [Online]. Available: www.nasa.gov. [Data uzyskania dostępu: Luty 2016].
27. *UST-Unmanned System Technology*, [Online]. Available: www.unmannedsystemstechnology.com.
28. *Draganfly*, [Online]. Available: www.draganfly.com.
29. McCarley J., Wickens C. *Human Factors Concerns In UAV Flight*, Illinois: Institute of Aviation, Aviation Human Factors Division University of Illinois at Urbana-Champaign, 2014.
30. Gacka P. *Drony a prawo międzynarodowe. Implikacje dla Polski*, Warszawa, Polski Instytut Praw Człowieka i Biznesu, 2015.

Analiza rynku dronów oraz przepisy prawne związane z ich użyciem w Polsce

Streszczenie

W dzisiejszych czasach produkcja dronów wzrosła niebywale. Jest to jedna z najbardziej przyszłościowych branż na rynku nowoczesnych technologii. Z roku na rok globalny rynek tych urządzeń jest wyceniany coraz drożej i obecnie wynosi 7 miliardów dolarów. Liczba ta stale rośnie i według specjalistów w roku 2023 osiągnie ponad 11 miliardów dolarów. Obecnie jest to najszybciej rozwijający się dział rynku technologicznego, którego średnia roczna stopa wzrostu została oceniona na 109% do 2020. Instytut badawczy EVTank oszacował, iż w 2023 roku około 11,5 miliarda urządzeń bezzałogowych będzie korzystać z przestrzeni powietrznej.

Z upływem lat zmieniły się także możliwości użytkowania dronów. Największą popularność zyskały poprzez możliwość ich komercyjnego wykorzystania. Bezzałogowce, nadal wykorzystywane przez wojsko na całym świecie, zaczęły stawać się powszechne także w innych dziedzinach. Mimo tego w wielu państwach kwestie prawne dotyczące dronów nie są dostatecznie uregulowane i ich komercyjne wykorzystywanie rodzi wiele problemów. Liczne państwa posiadają także zakaz lotów bezzałogowych.

Obecnie w Polsce, w innych dziedzinach niż wojsko, bezzałogowce są sporadycznie używane. Jednak rynek dronów w Polsce w ostatnich latach dzięki szybkiemu rozwojowi zyskał na popularności. Bezzałogowe statki latające są obecnie wykorzystywane w różnych dziedzinach, także w sektorze medycznym. Praca ma na celu analizę obecnego rynku bezzałogowych aparatów latających w Polsce. Część teoretyczna pracy przybliży tematykę dronów oraz przepisy prawne związane z ich użyciem.

Słowa kluczowe: bezzałogowe systemy latające, drony, prawo

Analysis of the drones market and legal regulations related to their use in Poland

Abstract

Today drone production has grown tremendously. It is one of the most forward-looking industries in the modern technology market. Year after year, the global market for these devices is valued more and more and is currently \$ 7 billion. This number is growing steadily and according to specialists in 2023 will reach over \$ 11 billion. It is currently the fastest growing segment of the technology market whose average annual growth rate has been estimated at 109% by 2020. The EVTank Research Institute estimated that by 2010, about 11.5 billion unmanned equipment would benefit from airspace.

Over the years, the use of drones has also changed. The greatest popularity has gained through the ability of their commercial use. Unmanned tanks, still used by the military around the world, have also become commonplace in other areas. Despite this, in many countries, drone legal issues are not sufficiently regulated and their commercial exploitation has many problems. Many states also have a ban on unmanned flights.

Currently in Poland, in other areas than the military, unmanned vehicles are occasionally used. However, the drones market in Poland has gained popularity in recent years thanks to rapid development. Unmanned flying vessels are currently used in various fields, including the medical sector.

Keywords: unmanned flying devices, drones, law

Smartfonizacja społeczeństwa

1. Wstęp

Smartfonizacja² jest jakościowo nowym zjawiskiem, które nie istniało pięćdziesiąt czy sto lat temu. Pojawiło się w wyniku rozwoju technologii, która umożliwia szybkie i tanie komunikowanie się z ludźmi oraz wyszukiwanie informacji. Warto jednak poznać bliżej to zjawisko, gdyż dotyka prawie każdego człowieka, w podobnym stopniu i w ten sam sposób. Smartfonizacja zmieniła obraz świata, w tym przekształca handel, finanse, sposób życia, a przede wszystkim sposoby komunikowania się. Jest to zjawisko, w którym społeczeństwo staje się coraz bardziej wzajemnie powiązane poprzez sieci telekomunikacyjne we wszystkich aspektach życia w tym poprzez wymianę informacji, połączenia tele/video etc. Celem artykułu jest pokazanie jak na przestrzeni ostatnich lat rozwinęła się smartfonizacja oraz ukazanie jej pozytywnych i negatywnych skutków.

2. Pojęcie smartfonizacji

Jednym z najstarszych procesów towarzyszących człowiekowi jest komunikowanie. Zainteresowanie zjawiskiem komunikowania i procesem porozumiewania się między ludźmi nastąpiło już w starożytności. Etapy kształtowania się cywilizacji od społeczeństwa agrarnego, przez przemysłowe, aż po poprzemysłowo-informacyjne pozwalają na określenie ważniejszych cech rozwoju społeczeństw. W poszczególnych epokach historycznych aktywność ekonomiczna, środki transportu i sposoby komunikacji międzyludzkiej ulegały zmianom. W gospodarce agrarnej dominującą energią była woda, a głównym środkiem transportu były konie. Pojawienie się nowych środków transportu – kolejowego, drogowego i morskiego – odmieniło gospodarkę. Wiedza zdobywana w szkole, masowa produkcja artykułów konsumpcyjnych cechuje gospodarkę przemysłową.

U podstaw społeczeństwa przemysłowego legły dwie wielkie rewolucje naukowo-techniczne. Pierwsza dotyczyła wykorzystania maszyn i urządzeń napędzanych energią elektryczną, druga natomiast do wykorzystania energii elektrycznej i znaczących postępów w dziedzinie chemii. Rozwój technologii komunikacyjnych w drugiej połowie XIX wieku miał istotne znaczenie w organizacji życia społecznego. Można było przysyłać informacje na znaczne odległości, a opóźnienie czasowe związane z transmisją zostało zminimalizowane. Rozwój technologii komunikacyjnych spowo-

¹ ewa.kurzeja@us.edu.pl, Instytut Matematyki, Uniwersytet Śląski w Katowicach

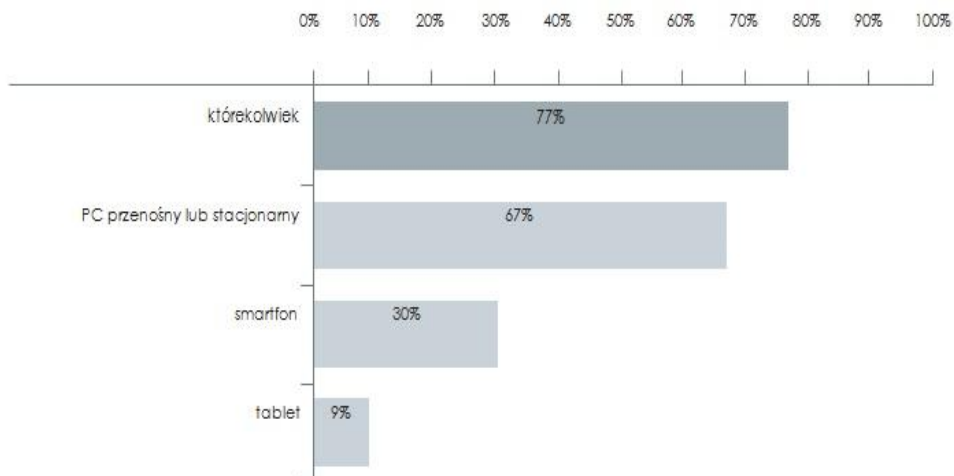
² Pojęcie pochodzi od angielskiego słowa smartphone. W artykule przyjęto stosowanie polskiego odpowiednika, ponieważ używanie ang. nazwy jest niewygodne. Ang. wyraz „phone” w różnych połączeniach jest już obecny w wielu zwrotach języka polskiego i zwykle przybiera końcówkę „-fon”, dlatego na zasadzie analogii zastosowano zapisy smartfonów, smartfony i smartfonizacja.

dował, że znacznie zmalały bariery przestrzenne. Gwałtowny rozwój techniki i nauki w końcu XX wieku wymusił powstanie nowego typu społeczeństwa tzw. globalnego społeczeństwa informacyjnego. Nigdy wcześniej mieszkańcy „globalnej wioski” nie mogli się porozumiewać tak łatwo, tak tanio, tak szybko i na taką skalę.

Telefon komórkowy pojawił się na rynku dopiero pod koniec XX wieku. Stanowi obecnie niezbędne narzędzie dla milionów ludzi na całym świecie. Pierwsza koncepcja takiego urządzenia miała początki w latach 30. i 40. XX wieku, jednak realne kształty zaczęła przybierać dopiero w końcu lat 50. Kiedy to firma Ericson wprowadziła coś, co przypominało dzisiejszy wyglądem „telefon komórkowy” wielkości walizki i ważący 40 kg.

Pierwsza sieć telefonii komórkowej powstała w Sztokholmie i miała zasięg 30 km oraz 100 abonentów. Rozwój telefonii komórkowej nastąpił dopiero w latach 80. XX wieku. Pierwszy telefon komórkowy wyglądem przypominający ten dzisiejszy został skonstruowany w 1976 roku przez amerykańskiego inżyniera Martina Coopera z firmy Motorola w Stanach Zjednoczonych. Wielkością przypominał cegłę, ważył niespełna kilogram, kosztował 3995 dolary i służył przede wszystkim do rozmów. W miarę postępu technologicznego zarówno wymiary, jak i ceny telefonów komórkowych ulegały zmniejszeniu, a sieć zwiększała swój zasięg. W Stanach Zjednoczonych usługi telefonii komórkowej wprowadzono już w 1984 roku.

Natomiast w Polsce z telefonu komórkowego można było rozmawiać dopiero od 1992 roku. Polski rynek telefonii komórkowej rozwija się bardzo prędko. Z biegiem czasu wzrastał nie tylko popyt na rynku telefonów komórkowych, lecz również oczekiwania klientów. Telefony zaczęto wyposażać w coraz bardziej nowoczesne rozwiązania techniczne oraz zmieniać ich wygląd. Obiektem zainteresowania przestała być tylko telewizja, ale także inne urządzenia w tym smartfony (Rys.1).



Rysunek 1. Internauci korzystający z innych urządzeń podczas oglądania telewizji

Źródło: „IAB Polska Mobile”, 2013*Q4 (IIBR, listopad 2013)

Aparaty stawały się coraz mniejsze, lżejsze oraz bogatsze w funkcje dodatkowe i aplikacje. Obecnie prowadzenie rozmów jest już tylko jedną z wielu funkcji i usług. Zastosowanie telefonu komórkowego wytworzyło nowe formy nie tylko komunikacji werbalnej, lecz także pisemnej, w wyniku zastosowania SMS-ów (*Short Message Service*), a także MMS-ów (*Multimedia Messaging Service*).

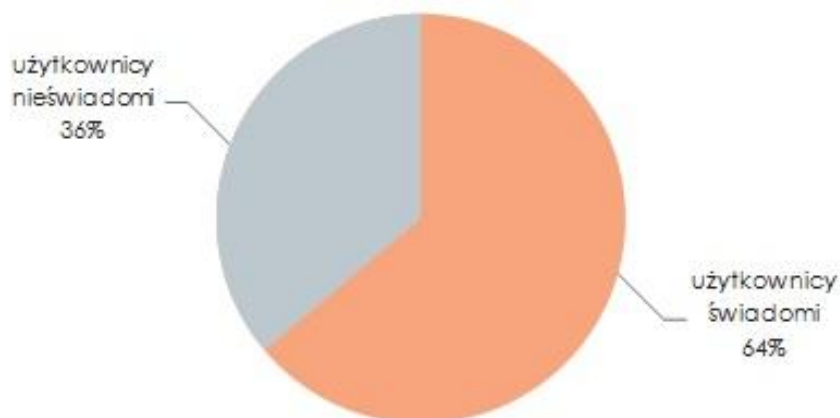
3. Smartfonizacja, a globalne społeczeństwo informacyjne

Obecnie komunikacja z całym światem jest dużo szybsza i nieograniczona. Najnowsze technologie sprawiły, że nasze życie stało się dużo łatwiejsze. Jednym z nich są smartfony, które są odpowiedzią na określone potrzeby technologiczno-informacyjne społeczeństwa (aparat, telefon, kalendarz i komputer w jednym). Są one nie tylko coraz tańsze, ale też bardziej intuicyjne w obsłudze dla użytkownika. Smartfonizacja społeczeństwa rozpoczęła się wraz z pojawieniem się na rynku iPhone'a, a wraz z nim licznych aplikacji, przy pomocy, których w prosty i szybki sposób można było uzyskać nieograniczony dostęp do Internetu[1].

Pierwszym Smartfonem był „Simon” stworzony w 1992 roku przez IBM (Camera Phones Plaza w Smartphone, 2009). Simon miał takie funkcje, jak zegar światowy, e-mail, kalkulator i kalendarz. Ten telefon wprowadził także koncepcję klawiatury ekranowej.

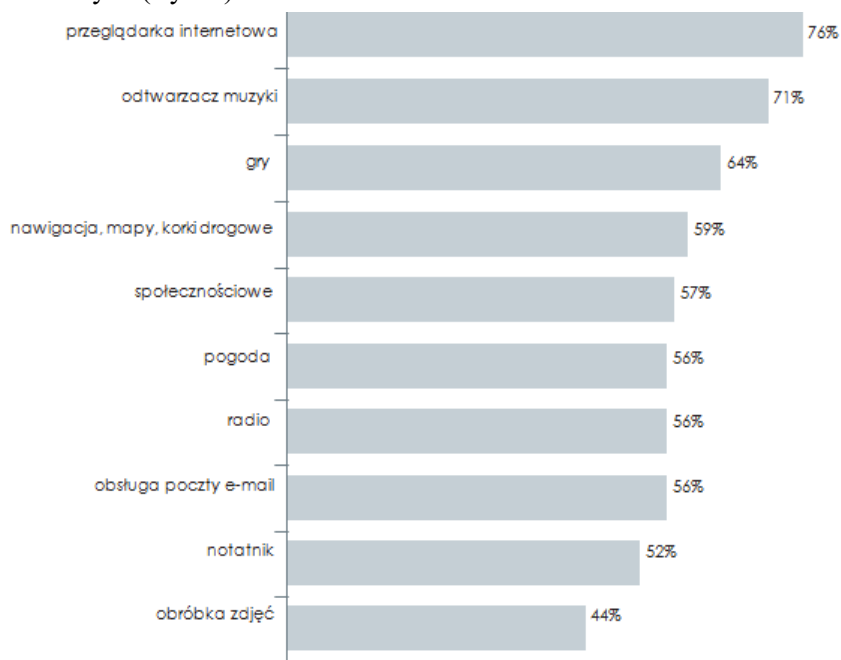
Telefon komórkowy dziś to przede wszystkim możliwość łączenia się z Internetem, w tym korzystanie z licznych komunikatorów, aplikacji i przeglądarek stron internetowych czy poczty. Dodatkowo wbudowany aparat fotograficzny, radio, możliwość oglądania i nagrywania filmów, dyktafon, kalendarz, gry. Tak zwane smartfony – zaawansowane technologicznie minikomputery, wygrywają już z laptopem, ponieważ mają nie tylko podobne aplikacje i gry, ale przede wszystkim posiadają niewielkie rozmiary. Obecnie smartfon pełni nie tylko funkcję komunikacyjną, lecz także „organizuje” życie właściciela[2]. W związku z bardzo szybkim tempem zmian warto zwrócić uwagę również na trudności definicyjne urządzeń, które należy nazwać smartfonami. W dużej mierze nawet użytkownicy nie zawsze są świadomi z jakimi urządzeniami telefonicznymi mają do czynienia.

Według badania „IAB Polska Mobile” wynika, że ponad 30 procent internautów powyżej 14 lat zadeklarowało posiadanie smartfona. Ponad 20 % wskazało, na zwykły telefon komórkowy, jednak sposób w jaki go używają wskazuje, że są oni posiadaczami smartfona. Wspomniana nieznamość urządzeń, z którymi mamy do czynienia, w znacznej mierze wynika z przymusowej wymiany klasycznych telefonów (służących wyłącznie do wykonywania rozmów i pisania wiadomości tekstowych) na bardziej nowoczesne [3] (Rys. 2).



Rysunek 2. Świadomi i nieświadomi użytkownicy smartfonów
Źródło: „IAB Polska Mobile”, 2013’Q4 (IIBR, listopad 2013)

Ogólnie można przyjąć, że smartfon to urządzenie, łączące funkcję telefonu komórkowego i komputera, posiadające ekran dotykowy lub klawiaturę. Daje on możliwość korzystania z Internetu, nawigacji, licznych aplikacji i serwisów społecznościowych (Rys. 3).



Rysunek 3. Aplikacje najczęściej instalowane w smart fonach
Źródło: „IAB Polska Mobile”, 2013’Q4 (IIBR, listopad 2013)

Liczba użytkowników mobilnych rośnie, szacuje się, że do 2020 roku prawie 60% populacji internautów na świecie będzie posiadać i korzystać ze smartfonów, co odpowiadać będzie 2,87 mld osób (Rys.4).

Użytkownicy smartfonów na świecie (2014-2020 r.)

ROK	UŻYTKOWNICY SMARTFONÓW (MLD)	% POPULACJI	ZMIANA (%)
2014	1,57 mld	38,5%	24,6%
2015	1,86 mld	43,7%	18,7%
2016	2,10 mld	47,4%	12,7%
2017	2,32 mld	50,6%	10,6%
2018	2,53 mld	53,3%	8,8%
2019	2,71 mld	55,7%	7,3%
2020	2,87 mld	57,5%	5,9%

Rysunek 4. Użytkownicy smartfonów na świecie (2014 r.-2020 r.)
Źródło: eMarketer (kwiecień 2016 +prognoza 2017-2020) mobiRANK.pl

Biorąc pod uwagę dane statystyczne zjawisko smartfonizacji rozwija się w bardzo szybkim tempie. Skutkiem jest zagrożenie uzależnienia się od inteligentnych telefonów. Dlatego niezmiernie ważna jest wiedza dotycząca działania smartfonów, zagrożeń płynących z nieprawidłowego użytkowania, a także ich pozytywnych aspektów.

4. Smartfon „oknem na świat” czyli pozytywne i negatywne strony

Węzeł wirtualnych relacji, w którym wyrasta pokolenie tzw. head down, to efekt smartfonizacji społeczeństwa, która wyraża się w ilości posiadania i użytkowania smartfonów. Telefon komórkowy ma już ponad połowa populacji świata. Według raportu „Marketing mobilny w Polsce” przygotowanym wspólnie z TNS Polska, smartfonizacja w naszym kraju wynosi 58% i wciąż rośnie. Przeciętne korzystamy ze smartfona niecałe trzy godziny. Ciągłe chcemy być online, posiadać i załatwić wszystko tu i teraz. Coraz częściej żyjemy w mobilnej rzeczywistości, gdzie zaciera się różnica między tym, co wirtualne, a tym co realne. Technologia oddziałuje na wiele sektorów - biznesie, sztuce, edukacji, więzach społecznych etc. zarówno w krajach rozwiniętych, ale także tych rozwijających się. Należy jednak zwrócić uwagę, że może to mieć wpływ zarówno pozytywny jak i negatywny.

Świat mediów elektronicznych stworzył specyficzny obszar społecznego funkcjonowania. Narzędzia takie jak Internet, telewizja i w końcu telefon komórkowy i smartfon umożliwiają człowiekowi żyjącemu na przełomie XX i XXI wieku, natychmiastowe dotarcie do najnowszych informacji, co przekłada się na postęp

naukowo-techniczny. Pozwalają uczestniczyć w wydarzeniach z całego świata oraz stanowią źródło wiedzy, inspirują i kształtują jego aktywność na płaszczyźnie indywidualnej, rodzinnej i społecznej. Smartfon jest jednym z nieodzownych składników kultury współczesnych społeczeństw, kształtuje także nową epokę cywilizacyjną. Urządzenie to zdominowało już prawie wszystkie dziedziny życia indywidualnego i społecznego. Wyparło ono nawet popularne metody spędzania czasu wolnego, a także obcowania ze światem kultury. Wzmacniając możliwości poznawcze i edukacyjne określa również stosunek człowieka do rzeczywistości i determinują (nie zawsze pozytywny) jego model życia i działania [4].

Nowy masowy środek komunikacji – Smartfon a wraz z nim Internet, to swoista infostrada komunikacyjna. To zbiorowy sposób tworzenia wiedzy [5]. Internet, czyli usieciowienie są poważnym czynnikiem transkulturyzacji. Nastąpiła konwergencja przestrzeni i czasu: wydarzenia lokalne stały się globalnymi wskutek ich łatwego dostępu i wprowadzenia do obiegu światowego. Każde wydarzenie jest aktualne i przyczynia się do rekonstrukcji rzeczywistości. Skutkiem jest konwergencja między rzeczywistością, a fikcją. Człowiek gubi się w tym co jest prawdziwe, co fałszywe, co dobre, a co złe. To zjawisko zachodzi szczególnie w świecie globalnym, w którym uczestnicy nie doświadczają bezpośrednio świata [6].

Użytkownik smartfona z Internetem w każdym miejscu na świecie ma dostęp do interesujących go informacji, rozrywki, czy wiedzy. Dzięki niemu zyskuje poczucie przynależności do międzynarodowej wspólnoty. Ludzie nawiązują nowe kontakty. W codziennym życiu trudno uznać zachowanie człowieka, który zaczepia przypadkowych przechodniów i chce z nimi dyskutować. Dzięki nowym formom internetowego komunikowania są to zachowania naturalne [7].

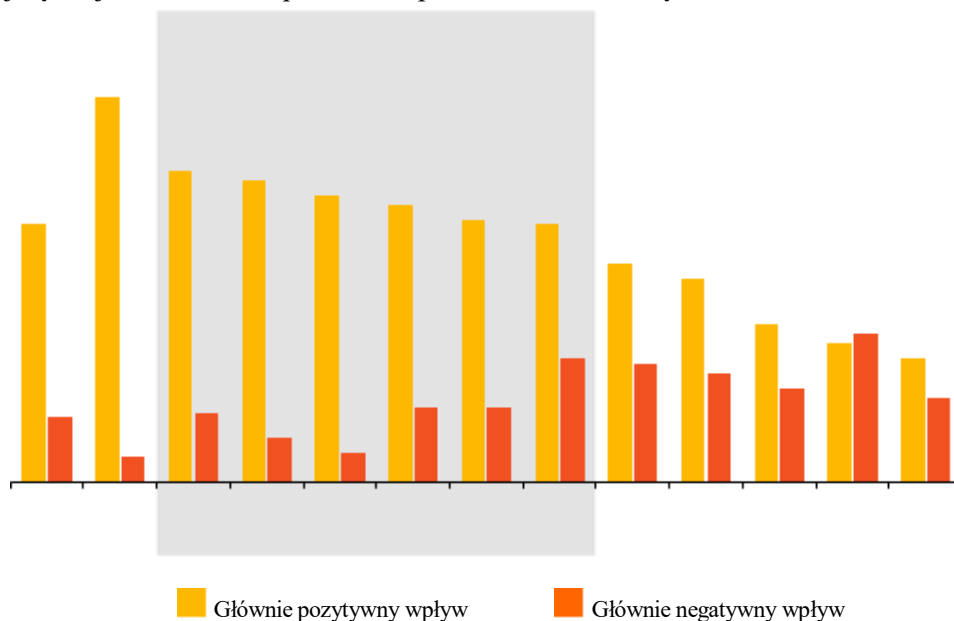
Jak wspomniano wyżej, smartfony to przede wszystkim potężna infostrada, którą przepływają dziesiątki tysięcy gigabajtów informacji. Wraz z tą funkcją rośnie zjawisko zatrucia informacyjnego.

Mamy dostęp do tak wielkiej liczby danych, że nie jesteśmy w stanie ich wyselekcjonować. Dzięki smartfonom ludzie komentują wszystko i wszędzie. Użytkownik sam przekazuje opinie. To możliwość kontaktowania się i przekazywania informacji w granicach państw i poza nimi. Nie można jednak zapominać, że nieograniczony dostęp do sieci oraz dostęp do Internetu w smartfonie może też mieć aspekty negatywne. Można stwierdzić, że smartfony, a w nich Internet zbliżył ludzi ponad ich historyczne i narodowe podziały oraz przełamał bariery. Jest to poważny czynnik transkulturyzacji. Coraz trudniej odróżnić informację prawdziwą od fikcji. Można stwierdzić, że orientacja uczestników komunikacji w globalnej rzeczywistości mimo, że jest ułatwiona to jednak paradoksalnie jest coraz trudniejsza.

Badanie przeprowadzone online w 2015 roku przez Microsoft dotyczące użytkowników Internetu na całym świecie. Ankietę przeprowadzono w krajach rozwiniętych: Francji, Niemczech, Japonii, Korei Południowej i Stanach Zjednoczonych oraz siedmiu krajach rozwijających się (Brazylia, Chiny, Indie, Indonezja, Rosja, Afryka Południowa i Turcja) wszyscy są zgodni i twierdzą, że technologia znacznie poprawiła sposób ich pracy, nauki i życia. Pokazuje, że od piętnastu lat do XXI wieku

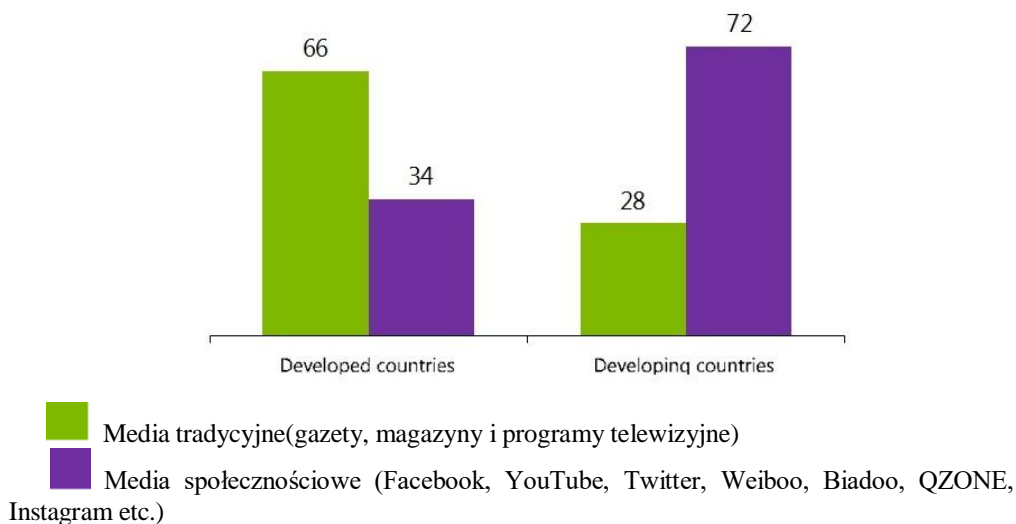
użytkownicy Internetu wciąż uważają, że technologia osobista sprawia, że świat staje się coraz lepszy. W porównaniu z rokiem 2014 respondenci są najbardziej entuzjastycznie nastawieni do wpływu technologii na gospodarkę i najbardziej zaniepokojeni prywatnością. Rola technologii w transporcie, zdolność technologii do poprawy więzi społecznych i zwiększenia wolności osobistej i ekspresji uległa przesunięciu [8]. W jedenastu z dwunastu badanych krajów, z wyjątkiem Indii, respondenci twierdzą, że technologia osobista ma w większości pozytywny wpływ na prywatność. Większość respondentów w Indiach i Indonezji, twierdzi, że obecne zabezpieczenia prawne użytkowników technologii osobistych są niewystarczające. Tylko w tych dwóch krajach większość respondentów w pełni zdaje sobie sprawę z rodzaju gromadzonych na ich temat informacji osobistych [9]. Nie ulega wątpliwości, że aplikacje internetowe, służą i gromadzą dane osobowe znajdujące się na urządzeniach (nie tylko dane osobowe, zdjęcia, informacje, ale także dane lokalizacyjne).

Duża większość użytkowników Internetu w krajach rozwijających się uważa, że technologie osobiste mają pozytywny wpływ na społeczność. W krajach rozwiniętych jedynie jedna trzecia respondentów podziela to zdanie (Rys. 5).



Rysunek 5. Użytkownicy Internetu nadal zgadzają się, że technologia osobista czyni świat lepszym.
Źródło: Raport Microsoft, Mark Penn, Switzerland, January 2015

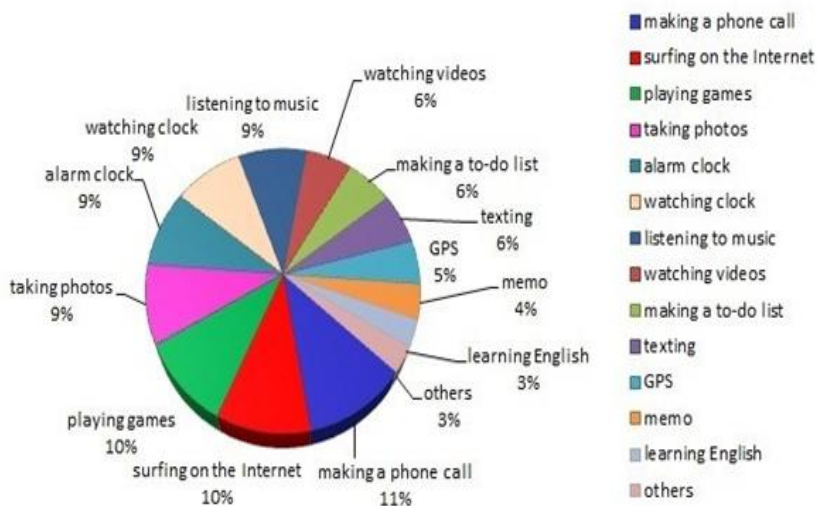
W krajach rozwijających się większość uważa, że technologia osobista miała w większości pozytywny wpływ na zaufanie do mediów, natomiast w krajach rozwiniętych opinie na temat zaufania do mediów były negatywne. Użytkownicy Internetu w krajach rozwiniętych korzystają z Internetu używając nowych technologii głównie w celu przeglądania *social media*, najnowszych wiadomości i informacji (Rys.6).



Rysunek 6. Główne cele użytkowania Internetu krajach rozwiniętych i rozwijających się.

Źródło: Raport Microsoft, Mark Penn, Switzerland, January 2015

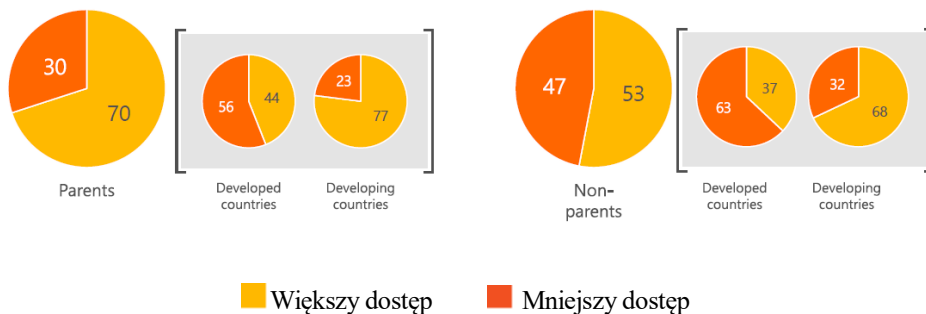
Chiny były pierwszym krajem, w którym dostrzeżono problem uzależnienia od telefonu komórkowego i zaczęto używać oficjalnie nazwy „uzależnienie”. Obecnie zjawisko występuje w większości krajów świata. Naukowcy z National Famosa University z Chin zbadali jaki wpływ mają smartfony na życie studentów uczących się języka angielskiego. Dwustu studentów szkół wyższych z krajowego uniwersytetu naukowego i technologicznego zaproszono do wypełnienia kwestionariusza mającego na celu zbadanie perspektyw wykorzystania smartfonów do nauki języka angielskiego, a także zalet i wad korzystania z smartfonów w życiu codziennym. Zaobserwowali oni rutynowe, codzienne czynności, które uczniowie wykonywali smartfonami. Zajmowali się głównie wykonywaniem połączeń, graniem w gry, surfowaniem po sieci i robieniem zdjęć), poza nauką języka angielskiego. Duża liczba studentów miała zmęczenie oczu (81%, $M = 4,13$) i ból szyi (62%, $M = 3,8$) ze względu na korzystanie z smartfona. Niemniej jednak 79% uczestników zgodziło się, że smartfony dostarczały im użytecznego oprogramowania ($M = 4.03$), a 81% uczniów korzystało z smartfonów, aby wyszukać angielski słownictwo w życiu codziennym ($M = 4.28$) [10] (Rys. 7).



Rysunek 7. Najczęściej wykonywane czynności przez studentów na ich smart fonach
 Źródło: Chi-Yen Chiu, Yi-Ting Guo, Ji Nong Shih, Hiu-Chu Chen, Pei-Yu Cheng, Ji-Heng Chunk, National Formosa University China

To badanie dostarczyło wiedzy na temat wpływu smartfonów na życie studentów uczelni i nauki języka angielskiego. Większość uczestników brało udział w codziennych zajęciach za pośrednictwem smartfonów, jednak innych niż nauka języka angielskiego. Nie ma silnych dowodów na to, że smartfony mogą pomagać studentom w nauce. Tylko około połowa uczniów korzysta z oprogramowania aplikacyjnego na smartfonach, aby nauczyć się języka angielskiego.

W społeczeństwie najbardziej podatni na uzależnienie się od smartfonów są ludzie w wieku od 15 do 39 lat. Używają oni technologii, a zwłaszcza telefonów komórkowych do przeglądania Internetu, video i czatowania. Bardzo często nie rozumieją, w jaki sposób może to mieć wpływ na i ich zdrowie i przyszłość. Młodzi ludzie chcą aktywnie uczestniczyć w społeczeństwach nowych technologii, takich jak smartfony bez znajomości fizycznych konsekwencji. Chcą być zaangażowani we wszystko, co dzieje się na świecie, więc są bardziej podatni na to, by spędzać więcej czasu używając smartfona [11]. Telefony komórkowe wpływają na życie społeczne nastolatków. W krajach rozwijających się, ludzie chcą by dzieci miały większy dostęp do osobistych technologii, jednak w krajach rozwiniętych, uważa się wręcz przeciwnie, tu społeczeństwo chce ograniczyć dostęp dzieci do nowych technologii (Rys. 8).



Rysunek 8. Czy dzieci powinny mieć większy czy mniejszy dostęp do osobistych technologii?
Źródło: Raport Microsoft, Mark Penn, Switzerland, January 2015

Nadmierne korzystanie z telefonów wpływa na sen u nastolatków, stres i zmęczenie. Uzależnienie od telefonu staje się powszechne. Młodzi ludzie czują presję grupową, aby pozostawać wciąż w kontakcie i pozostawać online przez całą dobę. Osoby ze spuszczoną głową i oczami w ekranie smartfona to pokolenie *head down*. Są to głównie uczniowie i studenci, którzy większość czasu spędzają ze smartfonem. W zasadzie wszystkie osoby, niezależnie od wieku, użytkujące smartfona tworzą pokolenie *head down*. Jest to spuścizna globalnej informatyzacji życia. Smartfon jest również odpowiedzialny za zmiany w komunikacji międzyludzkiej[12]. Zmienił się sposób w jakim ludzie wchodzi z sobą w interakcje. Smartfony pozwalają użytkownikom rozmawiać bez prezentowania osobistych wrażeń. W zamian bezpośredniego kontaktu „twarzą w twarz” wybierają mówienie za pomocą błyskawicznych wiadomości. Używają smartfonów do dyskusji, w których nie chcieliby uczestniczyć „twarzą w twarz”.

5. Wnioski

Dziś ludzie na całym świecie mają nowe uzależnienie. Nazywa się smartfon. Bycie ciągle w sieci oraz poczucie wyobcowania, to zachowania użytkowników, gdy smartfona nie ma w jego kieszeni. Jako slogan opisujący użytkowników smartfonów używa się określenia *your life is in your pocket* czyli w tłumaczeniu „twoje życie w kieszeni” [13]. Mowa tu nie tylko o uzależnieniu w kontekście socjokulturowym, ale także zdrowotnym. Telefony inteligentne emitują promieniowanie, które niektórzy uważają, że może być szkodliwe dla zdrowia ludzkiego. Emisja promieniowania z telefonu komórkowego może powodować długotrwałe uszkodzenie zdrowia ludzkiego, ponieważ wykorzystuje promieniowanie elektromagnetyczne. Z tego powodu telefon komórkowy jest często zabroniony w szpitalach i samolotach, ponieważ sygnały o częstotliwości radiowej mogą zakłócać działanie urządzeń medycznych i systemów nawigacyjnych. Inteligentne telefony nie tylko wpływają na nasze życie prywatne, zdrowie psychiczne i fizyczne ale odrywają dużą rolę w obszarach biznesu i socjalizacji. Są wykorzystywane w bankowości, medycynie, produkcji itp. Pełnią funkcję komunikacyjną i rozrywkową. Łatwy i szybki dostęp do

informacji, bazowanie na obrazach powodują, że użytkownik ma problemy z koncentracją gdzie tekst pisany i słowo traci na znaczeniu. W ciągu ostatnich lat liczba osób korzystających z inteligentnego telefonu wciąż rośnie. Stwierdzenie „czuję się bez telefonu jak bez ręki” nabiera coraz innego znaczenia. Dzięki coraz to nowszym aplikacjom smartfony pozwalają nam być w ciągłym kontakcie z pracą oraz poszerzać społeczne połączenia na wiele sposobów. Jednak nie można zapomnieć, że przy ogromnych możliwościach smartfona nadal wymaga on zrozumienia oraz odpowiedzialności użytkownika. Mimo szerokich pozytywnych aspektów, niesie ze sobą także zagrożenia. Smartfony zmieniły nasze życie. Pozwoliły na duży konformizm, sprawiły że życie jest wygodniejsze i łatwiejsze.

W niniejszym artykule pokazano różne kwestie i badania związane ze smartfonami, a także ich wpływ na społeczeństwo. Zdecydowanie można stwierdzić: smartfony i aplikacje w nim zawarte rozwijają się w bardzo szybkim tempie, podobnie jak rosną potrzeby użytkowników. Należy przy tym pamiętać, że chociaż zmiana jest dobra zawsze trzeba za nią zapłacić jakąś cenę. Z jednej strony jest to rewolucyjne narzędzie komunikacyjne, z drugiej to nieocenzurowane medium.

Reasumując smartfony są nieodłącznym elementem naszego życia. Warto pamiętać jednak o granicach korzystania z inteligentnych telefonów. Mniejsza częstotliwość korzystania z ich aplikacji z pewnością może zapobiec niekorzystnym następstwom smartfonizacji.

Literatura

1. Evans L., „Li” *Social Media Marketing. Odkryj potencjał Facebooka, Twittera i innych portali społecznościowych*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2011, s. 284.
2. Sarzała D. *Telefon komórkowy – nowe źródło uzależnień*, [w:] *Siódmy kontynent* pod red. Jędrzejko M., Oficyna Wydawnicza ASPRA-JR, Warszawa 2012, s. 76-77.
3. Ferenc A. Malec N. *Smartfony*, [w:] Raport Perspektywy rozwojowe mobilne online w Polsce 2015- IAB Polska.
4. Sarzała D. *Telefon komórkowy – nowe źródło uzależnień*, [w:] *Siódmy kontynent* pod red. Jędrzejko M., Oficyna Wydawnicza ASPRA-JR, Warszawa 2012, s. 73.
5. Barski T. *Technologie informacyjno-komunikacyjne w edukacji*, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole 2006, s. 13-17.
6. Michalczyk S. *Wymiary globalnej komunikacji medialnej*, [w:] *Studia medioznawcze*, nr 1(24) 2006, Oficyna Wydawnicza e-JR, Warszawa 2006, s. 9-10.
7. Romiszewska B. *Wolność słowa w Internecie – szanse i zagrożenia*, [w:] *Media a demokracja* pod red. Pokrzyckiej L. i Micha W., Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 2007, s.54-55.
8. <file:///G:/Smartfonizacja/2015DavosPollFINAL.pdf>, data dostępu 07.07.2017 r.
9. https://www.iab.org.pl/wp-content/uploads/2014/09/raport_iab_polska_mobile.pdf, data dostępu: 7.07.2017 r.
10. Chi-Yen Chiu, Yi-Ting Guo, Ji Nong Shih, Hiu-Chu Chen, Pei-Yu Cheng, Ji-Heng Chunk, *Mobile-Assisted Language Learning: Impacts of Smartphones on College Students, Life and English Learning Experiences*, National Famosa University Taiwan, s. 63-68.
11. Castillo L. *Cell phones: Physical effects on teenagers*, [w:] *The Composition of Happiness*, 2014, s.1-2.

12. Czerska I. *Pokolenie head down jako konsekwencja smartfonizacji społeczeństwa*, [w:] Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu nr 459, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, 2016, s. 214-215
13. <https://www.cnet.com/pictures/five-years-of-iphone-announcements-pictures/5/>, data dostępu: 28.07.2017 r.

Smartfonizacja społeczeństwa

Streszczenie

Najnowsze trendy technologiczne uczyniły, że nasze życie stało się dużo łatwiejsze. Dzięki smartfonom komunikacja z całym światem jest dużo szybsza i nieograniczona.

Węzeł wirtualnych relacji, w którym wyrasta pokolenie tzw. *head down*, to efekt smartfonizacji społeczeństwa, która wyraża się w ilości posiadania i użytkowania smartfonów. Telefon komórkowy ma już ponad połowa populacji świata. Według raportu „Marketing mobilny w Polsce” przygotowanym wspólnie z TNS Polska, smartfonizacja w naszym kraju wynosi 58%. Przeciętne korzystamy ze smartfona niecałe trzy godziny. Ciągłe chcemy być online, posiadać i załatwić wszystko tu i teraz. Coraz częściej żyjemy w mobilnej rzeczywistości, gdzie zaciera się różnica między tym, co wirtualne, a tym co prawdziwe. Celem artykułu jest pokazanie jak na przestrzeni ostatnich lat rozwinęło się zjawisko smartfonizacji.

Technologia ma ogromny wpływ w wielu sektorach – biznesie, sztuce, edukacji, więzach społecznych etc. zarówno w krajach rozwiniętych, ale także tych rozwijających się. Należy jednak zwrócić uwagę, że może to mieć wpływ zarówno pozytywny jak i negatywny.

Słowa kluczowe: smartfon, społeczeństwo, Internet, globalizacja, pokolenie „head down”

Smartfonization of society

Abstract

The latest technological trends have made our lives a lot easier. With smartphones, communication with the rest of the world is much faster and more unlimited.

The virtual relationship node in which the generation of so-called. Head down, is the effect of smartphoneisation of society, which is expressed in the number of possession and use of smartphones. The mobile phone already has more than half of the world population. According to the report "Mobile Marketing in Poland" prepared jointly with TNS Polska, smartphone in our country is 58%. The average person using the smartphone is less than three hours. We still want to be online, to own and to do everything here and now. We are increasingly living in a mobile reality where the difference between the virtual and the real is blurred. The aim of the article is to show how smartphone has developed over recent years.

Technology has a huge impact in many sectors – business, art, education, social ties, etc. Both in developed but also developing countries. However, it should be noted that this can have both a positive and a negative impact.

Keywords: Smartphone, society, internet, globalization, generation 'head down'

Techniki radiowe na przestrzeni XX i XXI wieku – historia i tendencje rozwojowe

1. Wstęp

Techniki radiowe są środkami przekazu informacji które zaczęły swojej życie w początkach XX wieku i znacząco wpłynęły i nadal wpływają na sposób życia społeczeństw. Początki ich rozwoju związane są z odkryciami w dziedzinie elektromagnetyzmu w II połowie XIX w. i pracami takich osób jak Maxwell i Hertz. Bazując na ich pracach i doświadczeniach, wynalazcy tacy jak Marconi, Tesla, Popow i wielu innych budowali pierwsze urządzenia radiowe mogące przesyłać sygnały drogą radiową – przez powietrze, nie potrzebując żadnych kabli a nawet nie wymagając widoczności pomiędzy komunikującymi się stronami. Radio szybko stało się nieodzownym elementem życia. Początkowo służyło tylko wyspecjalizowanym służbom, szybko zaś stało się także formą rozrywki, a także oddziaływania na społeczeństwa. Rewolucja w dziedzinie technologii sprawiła, że odbiornik radiowy stał się lekki i niewielki. Powstała wkrótce później telewizja także szybko zadomowiła się w życiu społeczeństwa. Radio i telewizor stały się jednymi z podstawowych dóbr konsumpcyjnych. Technika radiowa zawędrowała także w kosmos. Pojawiły się systemy satelitarne do transmisji programów telewizyjnych i do obserwacji powierzchni ziemi. Powstały także różnego rodzaju narzędzia radionawigacyjne, od systemów nawigacji lotniczej (np. LORAN), poprzez systemy nawigacji i łączności na morzu (np. GMDSS) oraz systemy lokalizacji położenia w postaci systemów GPS/Glonass/Gallileo/BeiDou. W powszechnym użyciu są systemy łączności bezprzewodowej takie jak GSM czy LTE. Bez infrastruktury radiowej w zasadzie nie jest w stanie obejść się żadne duże przedsiębiorstwo.

W pracy zawarto rys historyczny przedstawiając rozwój technik radiowych począwszy od radia i telewizji, a kończąc na systemach radiokomunikacyjnych łączności osobistej. Przedstawiono też nowe trendy technologiczne, takie jak wprowadzanie coraz bardziej złożonych metod modulacji i powszechne stosowanie techniki OFDM, wprowadzanie systemów bazujących na protokole IP czy też stosowanie systemów opartych o technologie radia programowalnego i kognitywnego.

2. Początki radia

Początków nauk o radiu i falach elektromagnetycznych musimy doszukiwać się w odkryciach naukowych XIX wieku. Wtedy to dzięki pracom Faraday'a, Oersteda i Ampere'a zaczęto łączyć zjawiska elektryczne i magnetyczne [1]. W 1845 r. Michael

¹ m.sadowski@pb.edu.pl, Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej, Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka

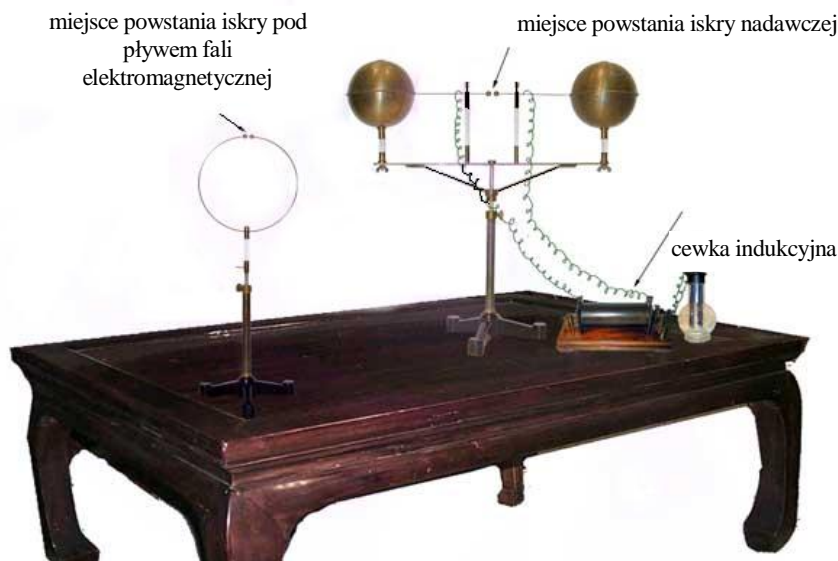
Faraday zaobserwował zjawisko skręcenia płaszczyzny polaryzacji fali świetlnej pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Zainspirowany tym sporządził krótką notatkę, sugerującą, że światło może mieć naturę elektromagnetyczną. Opis matematyczny zjawisk badanych przez Faradaya opracował szkocki fizyk i matematyk James Clerk Maxwell i zawarł go w publikacji „*A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*”, przedstawionej Królewskiemu Towarzystwu w Londynie 27.10.1864 r. i opublikowanej rok później w „*Philosophical Transactions*”. W 1873 r. opublikował on monografię „*Treatise on Electricity and Magnetism*”, która zawiera podstawy teorii pola elektromagnetycznego. W ten sposób dokonał unifikacji zjawisk elektrycznych i magnetycznych jako elektromagnetyczne. W odniesieniu do tych dwóch dzieł Maxwella, inny wielki uczony – Albert Einstein, stwierdził, że wraz z Maxwellem skończyła się jedna, a zaczęła druga epoka [1].

Prace Maxwella w zasadzie formułowały teorię elektromagnetyzmu w odniesieniu do światła, ale z nich wynikała także możliwość istnienia innych fal, niewidocznych dla człowieka. Maxwell, wykorzystując rachunek kwaternionów, sformułował dwadzieścia równań opisujących omawiane zjawiska [2]. Wynikały z nich między innymi następujące cechy pól:

- pola elektryczne i magnetyczne mają charakter falowy i są to fale poprzeczne (fala TEM),
- nieistnienie elementarnego ładunku (dipola) magnetycznego,
- generowanie pola elektrycznego przez ładunki elektryczne (prawo Gaussa),
- generowanie pola elektrycznego przez zmienne pola magnetyczne (prawo Faradaya),
- skończona wartość prędkości rozchodzenia się światła.

Postać równań przedstawionych przez Maxwella była bardzo skomplikowana, zaś ze względu na ich ilość, trudno było się nimi posługiwać. Jeszcze w końcu XIX wieku Oliver Heaviside, stosując notację wektorową, przekształcił równania Maxwella do postaci czterech równań, znanych z podręczników współczesnej elektrodynamiki.

Istnienie fal elektromagnetycznych i ich emisję poprzez przestrzeń potwierdziły eksperymenty Heinricha Hertza z 1886 r. Do tego celu wykorzystał nadajnik iskrowy i skonstruowany przez siebie oscylator oraz pętlowe anteny odbiorcze o różnych średnicach (rys.1). Dzięki cewce indukcyjnej w szczeliny dipola powstawała iskra elektryczna emitująca pole elektromagnetyczne. Jako odbiornik służyła antena pętlowa o odpowiednio dobranej średnicy, z niewielką szczeliną. W antenie pod wpływem zewnętrznego pola indukowało się napięcie, powodujące przeskok iskry. Hertz w ciągu dwóch lat udoskonalił system wytwarzania i detekcji fal elektromagnetycznych w zakresie długości fali od 5 m do 50 cm (60 MHz-600 MHz). Wyznażył też prędkość propagacji fal elektromagnetycznych. Podjął także prace nad reflektorami umożliwiającymi koncentrację fali elektromagnetycznej w wiązkę.



Rysunek 1. Stanowisko badawcze Heinricha Hertza [3]

Potwierdzenie istnienia fal elektromagnetycznych przewidywanych przez Maxwella spowodowało nasilenie prac związanych z możliwością ich wykorzystania, pomimo tego, że Hertz wątpił w możliwość ich zastosowania praktycznego. W ciągu następnych 10 lat, dzięki pracom wielu badaczy powstały pierwsze urządzenia umożliwiające bezprzewodową transmisję informacji. W 1890 r. Edouard Branly zbudował koherer – prosty odbiornik fal elektromagnetycznych, udoskonalony następnie w 1894 r. przez Olivera Lodge'a. W 1894 r. Jagadish Chandra Bose w Kalkucie zademonstrował transmisję radiową na niewielką odległość, wykorzystując częstotliwości mikrofalowe. W tym samym roku Lodge zademonstrował odbiór sygnałów radiowych w kodzie Morse'a. Prace nad urządzeniami do odbioru sygnałów radiowych prowadził także w Rosji Aleksander Popow, opracowując w 1895 r. odbiornik radiowy, tzw. detektor burz. W tym samym roku, pod wpływem prac Lodge'a i Tesli, Guglielmo Marconi opracował swoje pierwsze urządzenie radiowe. Szybko ulepszając je uzyskał łączność na dystansie rzędu 2 km. W 1898 r. Nikola Tesla zademonstrował radiowe zdalne sterowanie łodzią [1, 4].

Spośród wszystkich naukowców i wynalzców zdecydowanie wybija się postać Marconiego – założona przez niego firma szybko zdominowała w pierwszych latach łączność radiową. Początkowo urządzenia były bardzo proste. Wszystko zmieniło dopiero zbudowanie przez Lee de Foresta w 1906 r. lampy próżniowej – triody, a następnie innych lamp próżniowych. Radio wkroczyło w okres gwałtownego rozwoju. Kolejną rewolucję przyniosło zbudowanie tranzystora w laboratoriach Bella, a następnie układów scalonych. Wreszcie radio dojrzało, aby stać się techniką przekazu dominującą w świecie.

3. Trendy rozwojowe w systemach radiowych

Radiokomunikacja i nauki o radiu są bardzo dynamicznie zmieniającym się obszarem wiedzy. Wymyślane są i wdrażane coraz bardziej złożone rodzaje modulacji i struktury nadawczo-odbiorcze [5]. Analizując istniejące systemy i prowadzone prace badawcze można wyróżnić kilka trendów rozwojowych. Są to:

- powszechne stosowanie wielopoziomowych modulacji cyfrowych,
- powszechne stosowanie techniki zwielokrotnienia OFDM oraz metody OFDMA dostępu do kanału transmisyjnego,
- wykorzystywanie coraz wyższych zakresów częstotliwości,
- budowa urządzeń wielosystemowych, obsługujących różne standardy,
- wprowadzanie elementów radia programowalnego i kognitywnego,
- wprowadzanie układów antenowych z możliwością sterowania wiązką oraz technik MIMO (*Multiple Input Multiple Output*),
- wykorzystywanie usług wymagających coraz wyższych przepływności,
- szybki rozwój zastosowań w urządzeniach typu „smart”, w tym aplikacji IoT i komunikacji M2M,
- powszechne wykorzystywanie komutacji pakietów.

Modulacje analogowe w zasadzie zostały wyparte z radiokomunikacji, pozostając jedynie w radiofonii analogowej i specyficznych zastosowaniach, często amatorskich. Z modulacji cyfrowych powszechnie stosowana jest modulacja QPSK oraz wielopoziomowe modulacje QAM. Te ostatnie do niedawna były w zasadzie zarezerwowane dla systemów przewodowych, ze względu na dużą podatność na zakłócenia i szумы. Obecnie, dzięki zastosowaniu silnych kodów korekcyjnych oraz metod minimalizacji interferencji wspólnokanałowych są one powszechnie stosowane także w radiokomunikacji. W przypadku systemu LTE, zaimplementowane zostały mechanizmy adaptacyjne, umożliwiające określenie poziomu zakłóceń w kanale radiowym i dobranie odpowiednio złożonej modulacji w celu zachowania dobrej jakości transmisji kosztem zmniejszenia przepływności strumienia danych.

Prawdziwą rewolucję spowodowało zastosowanie techniki zwielokrotnienia z ortogonalnymi podnośnymi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Polega ona na zmianie oryginalnego strumienia danych na N strumieni równoległych o zmniejszonych N razy przepływnościach i zmodulowaniu nimi N podnośnych ortogonalnych. Dużą elastyczność tej techniki uzyskujemy dzięki możliwości zastosowania różnych modulacji nośnych ortogonalnych: od BPSK do M-QAM. Podstawy OFDM zostały opracowane już pod koniec lat 60-ych XX wieku, ale możliwości jej realizacji były bardzo mocno ograniczone ze względu na konieczność realizacji szybkiej transformaty Fouriera. Dopiero rozwój technik DSP i zwiększenie wydajności procesorów umożliwiły jej wykorzystanie w radiokomunikacji. OFDM pozwala uzyskać duże szybkości transmisji przy jednoczesnym ograniczeniu zniekształceń sygnału spowodowanych zjawiskiem wielodrogowości, powszechnie występującym przy transmisjach naziemnych. OFDM zostało zaimplementowane w wielu nowoczesnych systemach radiokomunikacyjnych: naziemnej telewizji

cyfrowej DVB-T, naziemnej radiofonii cyfrowej T-DAB+, systemie radiokomunikacji ruchomej LTE i LTE-Advanced, technologii przewodowej transmisji danych ADSL, technologii transmisji danych poprzez sieć energetyczną PLC, systemach bezprzewodowej transmisji danych rodziny 802.11. Parametry wybranych systemów wykorzystujących technikę OFDM przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Parametry wybranych systemów wykorzystujących technikę OFDM

	DVB-T	LTE	T-DAB+	IEEE 802.11 a/g
Rząd IFFT	2048, 8192	128 do 2048	192, 384, 768, 1536	64
Liczba bitów na symbol	2, 4, 6	2, 4, 6	2,4,6	1, 2, 4, 6
Szerokość kanału, MHz	8	1,4, 3, 5, 10, 15, 20	1,7	20
Metoda wielodostępu	brak	OFDMA/ SC-FDMA	brak	CSMA

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6]

W celu zwiększenia efektywności wykorzystania kanałów częstotliwościowych wykorzystuje się różne rodzaje dostępu do kanału. Systemy radiokomunikacji mobilnej pierwszej generacji pracowały z wielodostępem częstotliwościowym FDMA (*Frequency Division Multiplex Access*). Pozwalało to w systemie NMT450 na utrzymanie 180 kanałów częstotliwościowych o szerokości 25 kHz. W systemach drugiej generacji metodę wielodostępu zmodyfikowano, łącząc dwie metody FDMA i TDMA (*Time Division Multiplex Access*). Pasma częstotliwości podzielono na kanały o szerokości 200 kHz. Na każdej częstotliwości przesyłano ramkę danych, w której wydzielono 8 szczelin czasowych o czasie trwania 577 μ s. Pozwalało to na jednoczesne obsłużenie 8-krotnie większej liczby abonentów, niż przy zastosowaniu FDMA.

W systemach trzeciej generacji zastosowano jeszcze inną technikę zwielokrotniania – WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), czyli szerokopasmowe zwielokrotnienie kodowe. W odróżnieniu od wcześniejszych generacji, gdzie stosowano tylko dupleks częstotliwościowy FDD (*Frequency Division Duplex*), zastosowano tu dwie metody dupleksu – częstotliwościowy FDD i czasowy TDD (*Time Division Duplex*), każdy z nich innym zakresie częstotliwości. Dupleks częstotliwościowy oznacza, że do łączności pomiędzy abonentem końcowym a stacją bazową wykorzystywana jest para częstotliwości – pasmo systemu podzielone jest więc na dwa podpasma: do abonenta (downlink) i od abonenta (uplink). W przypadku dupleksu czasowego wykorzystywana jest jedna częstotliwość, zaś ramka danych podzielona jest na szczeliny czasowe od abonenta i do abonenta. W technice zwielokrotniania WCDMA zastosowano inne podejście niż we wcześniej stosowanych technikach FDMA i TDMA. Każdemu terminalowi zostaje przydzielony specjalny, unikalny kod rozpraszający. Każdy z bitów oryginalnej transmisji jest przemnażany przez ten ciąg, co powoduje rozproszenie widma sygnału oryginalnego z jedno-

czesnym obniżeniem jego poziomu. Dla N-bitowego ciągu rozpraszającego uzyskujemy N-krotne poszerzenie widma. Ciągi rozpraszające dobierane są tak, aby uzyskać po modyfikacji strumień danych o przepływności 3,84 Mb/s. Pasma oryginalne jest przekształcane na pasmo 4,68 MHz (kanał transmisyjny o szerokości 5 MHz wraz z niezbędnymi odstępami). Wszystko to oznacza, że użytkownicy mogą realizować swoje transmisje w tym samym czasie i z wykorzystaniem tych samych częstotliwości. WCDMA zapewnia lepsze wykorzystanie zasobów radiowych niż w przypadku systemów stosujących duplex FDMA/TDMA. Zapewnia też lepszą odporność na zakłócenia związane z interferencjami, co pozwala na pracę z niższymi mocami sygnału. Dodatkowo stacje bazowe w sąsiednich komórkach mogą wykorzystywać te same zasoby częstotliwościowe, co znacznie ułatwia planowanie sieci.

Systemy czwartej generacji wykorzystują wielodostęp OFDMA oparty o technikę OFDM, jeszcze wydajniejszy od poprzednich. Pozwala on na indywidualny przydział użytkownikowi dynamicznie zmiennej pewnej ilości podnośnych ortogonalnych, w zależności od zapotrzebowania.

Zauważalnym trendem w rozwoju systemów radiokomunikacyjnych jest ich migracja w kierunku coraz wyższych częstotliwości i zwiększania szerokości pasma częstotliwości i szerokości kanału. Dzięki temu można obsłużyć większy ruch i zwiększyć przepływność sygnałów dla danego użytkownika. Zestawienie pasm dla wybranych systemów radiokomunikacyjnych przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Zakresy częstotliwości dla wybranych systemów radiokomunikacyjnych

	NMT450	E-GSM900	GSM1800	UMTS
Pasma, MHz	452-467	880-960	1710-1880	1900-2170
Szerokość pasma, MHz	15	80	170	270
Szerokość kanału, MHz	0,025	0,200	0,200	5

Źródło: Opracowanie własne

Systemy LTE i LTE-Advanced wykorzystują różne zakresy częstotliwości: od 700 MHz do 6 GHz, w zależności od obszaru, gdzie są wykorzystywane. W Polsce (i w Europie) przeznaczono dla nich następujące pasma pracy z dupleksem częstotliwościowym: B20 (791-862 MHz), B3 (1710-1880 MHz), B1 (1920-2170 MHz), B7 (2500-2690 MHz) oraz jedno pasmo z dupleksem czasowym B38 (2570- 2620 MHz). System umożliwia także zmianę szerokości kanału – może pracować z kanałami częstotliwościowymi o szerokościach 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz.

Mnogość istniejących systemów radiokomunikacyjnych wykorzystujących różne zakresy częstotliwości wymusza konstruowanie telefonów wielostandardowych. Podobnie jest po stronie infrastruktury nadawczej. Mnogość systemów wymusza stosowanie także dużej ilości urządzeń. Dzięki temu, że część struktur każdego systemu jest powtarzalna, możliwa jest ich integracja w jednym urządzeniu. Weźmy

pod uwagę transceiver radiokomunikacyjny. Zarówno w torze nadawczym jak i odbiorczym występują bloki wzmacniaczy, mieszaczy i filtrów, bez względu na obsługiwany standard. Można więc stosować wspólne bloki funkcjonalne, zmieniając tylko filtry i demodulatory. Redukuje to rozmiary urządzeń oraz ich energochłonność. Dodatkowo stosowanie techniki radia zdefiniowanego programowo SDR uprościło budowę urządzeń i zmniejszyło ich koszty.

Dalszy wpływ na unifikację urządzeń oraz elastyczność pracy systemu mają techniki radia kognitywnego (poznawczego). Dzięki mechanizmom adaptacyjnym, opracowaniu technik dynamicznego dostępu do widma staje się możliwe lepsze wykorzystanie pasm częstotliwości i automatyczna zmiana interfejsu radiowego [5].

Stosowanie coraz wyższych częstotliwości prowadzi do zmian w infrastrukturze telekomunikacyjnej. Fale elektromagnetyczne w zakresie mikrofal są silniej tłumione ze wzrostem częstotliwości, co prowadzi do zmniejszenia zasięgu stacji bazowych i jednocześnie zmniejszenia rozmiarów komórek radiowych. Rozmiary komórek w sieciach pierwszej generacji miały stosunkowo duże rozmiary – promienie rzędu nawet kilkudziesięciu km. W systemach GSM w paśmie 900 MHz wynoszą już one maksymalnie kilkanaście km, zaś w paśmie 1800 MHz maksymalnie kilka km. W systemach trzeciej i czwartej generacji, wykorzystujących często wyższe zakresy częstotliwości i bardziej złożone modulacje, rozmiary komórek są coraz mniejsze. W ten sposób powstają mikrokomórki (obsługa osiedla), pikokomórki (obsługa np. centrum handlowego) i femtokomórki (obsługa biura). Urządzenia instalowane w piko- i femto komórkach są urządzeniami uniwersalnymi, obsługującymi nie tylko standardy 3G i 4G, ale także standardy bezprzewodowych sieci komputerowych. Urządzenia nadawcze pikokomórki są obsługiwane przez operatora, zaś przeznaczone do obsługi femtokomórki komunikują się z siecią poprzez protokół IP i z reguły są obsługiwane przez samego użytkownika.

W ostatnich latach pojawia się coraz więcej systemów zapewniających komunikację M2M (*Machine to Machine*). Przykładami takich systemów mogą być układy sieci IoT (*Internet of Things*) czy WBAN (*Wireless Body Area Networks*). Trend ten jest wyraźnie zauważalny jeżeli przeanalizuje się dane statystyczne. Według najnowszego badania Cisco Mobile VNI Forecast (luty 2017 r.) szacuje się, że do roku 2021 liczba urządzeń M2M wzrośnie do 3,1 mld i będzie stanowić 29% wszystkich urządzeń mobilnych [7]. W związku ze wzrostem popularności aplikacji IoT segment M2M będzie charakteryzował się największym wzrostem ilości połączeń mobilnych. Cisco szacuje też, że ilość urządzeń tzw. elektroniki noszonej (ang. *wearables*) na świecie wzrośnie z 325 mln w roku 2016 do 929 mln w 2021. Jako urządzenia elektroniki noszonej określany jest segment urządzeń M2M obejmujący urządzenia noszone na ciele czyli inteligentne zegarki, okulary, opaski monitorujące stan zdrowia i kondycję fizyczną, które mają możliwość łączenia się z siecią Internet poprzez wbudowane łącza komórkowe lub za pośrednictwem smartfona poprzez interfejs Wi-Fi lub Bluetooth.

4. Przegląd wybranych technik radiowych

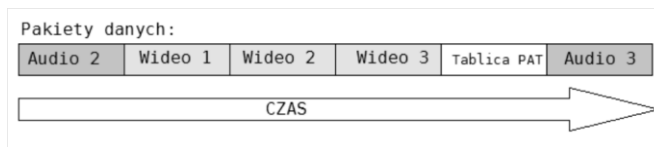
Jak stwierdzono we wstępie, techniki radiowe stały się jednym z głównych nośników informacji. Stosowane są praktycznie wszędzie, do tego stopnia, że przymiotnik „radiowy” jest wręcz synonimem nowoczesności. W rozdziale tym dokonany zostanie przegląd zastosowania technik radiowych we współczesnym świecie. Przedstawiono systemy telewizji cyfrowej DVB, standardy radiokomunikacji ruchomej i bezprzewodowych sieci transmisji danych oraz techniki radia programowalnego i kognitywnego. Uznano, że te technologie są najbardziej znaczące we współczesnym społeczeństwie. Szerzej opisano standardy radiokomunikacji ruchomej, gdyż obecnie w użyciu są systemy 2G, 3G i 4G.

4.1. Telewizja cyfrowa DVB

W chwili obecnej na świecie wykorzystywanych jest kilka standardów telewizji cyfrowej. Są to: DVB (*Digital Video Broadcasting*) powszechnie wykorzystywany w Europie, Azji i większości Afryki, ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) stosowany w krajach Ameryki Północnej, ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) używany w Japonii i Ameryce Południowej, chiński standard DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) oraz południowokoreański DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*). W rozdziale tym przedstawiony zostanie tylko wykorzystywany w Europie standard DVB.

Przyczyny cyfryzacji sygnału telewizyjnego są dość oczywiste. Przede wszystkim sygnały cyfrowe są bardziej odporne na zakłócenia, zaś zastosowanie techniki OFDM pozwala na redukcję szkodliwych efektów wielodrogowości. W odróżnieniu od telewizji analogowej, gdzie w kanale telewizyjnym o szerokości 8 MHz nadawany jest jeden program, w systemie telewizji cyfrowej DVB kanał 8 MHz zajęty jest przez multipleks telewizyjny (do 8 programów jakości SD lub 3-4 o jakości HD). Dla nadawcy jest to wyraźna oszczędność finansowa, a także możliwość poszerzenia oferty programowej.

W ramach standardu DVB wyodrębniono kilka podsystemów (platform) uwzględniających specyfikę dystrybucji sygnału poprzez nadajniki naziemne (DVB-T, T – *terrestrial*), sieci kablowe (DVB-C, C – *cable*), telewizję satelitarną (DVB-S, S – *satellite*) i sieci mobilne (DVB-H, H – *handheld*). Wspólną cechą wszystkich wymienionych wyżej podsystemów DVB jest wykorzystanie w warstwie przesyłu danych tzw. strumienia transportowego (TS, *transport stream*). Jest to standaryzowana struktura danych w której poszczególne pakiety danych odpowiadają za dystrybucję informacji dotyczących odpowiednich elementów całego strumienia (np. wideo i audio pojedynczego kanału telewizyjnego) (rys.2). Zawarte są tam też wszystkie informacje, które są wyświetlane w elektronicznym przewodniku po programach (EPG – *Electronic Program Guide*).



Rysunek 2. Przykładowa struktura danych strumienia transportowego TS [17]

W celu umożliwienia odbiorcy uszeregowania, rozróżnienia oraz powiązania ze sobą danych z poszczególnych pakietów w strumieniu przesyła się tablice informacji systemowej (PSI, *Program Specific Information*) oraz tablice systemu informacji (SI, *Service Information*). Z kolei treść, która jest widoczna dla końcowego widza (np. obraz wideo) przesyłana jest pod postacią strumieni elementarnych (PES, *Packetized Elementary Stream*) [13-16].

Poprawny strumień transportowy TS powinien zawierać odpowiednie tablice i deskryptory PSI zgodne z odpowiednimi normami:

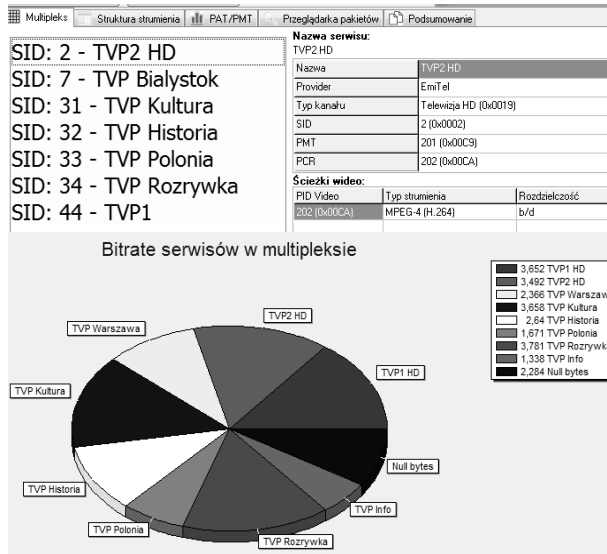
- Tablica PAT (*Program Association Table*),
- Tablica PMT (*Program Map Tables*),
- Tablica CAT (*Conditional Access Table*).

Tablice PAT i PMT jednoznacznie identyfikują serwisy w strumieniu.

W celu analizy strumienia transportowego TS wykorzystywane są specjalizowane analizatory jego treści. Ilość dostępnych programów – płatnych i darmowych jest dość znaczna. Różnią się one także możliwościami. Tego typu analizator powstał także w Politechnice Białostockiej [17]. Aplikacja umożliwia prezentację w postaci tekstowo-graficznej następujących informacji:

- listy kanałów dostępnych w strumieniu wraz ze szczegółowymi informacjami dotyczącymi każdej z usług,
- listy wszystkich identyfikatorów programów PID w strumieniu,
- wartości w tablicach PAT oraz PMT,
- analizę kolejności przesyłanych pakietów,
- analizę procentową występowania poszczególnych pakietów,
- podgląd pojedynczego pakietu w postaci binarnej, szesnastkowej, ASCII.

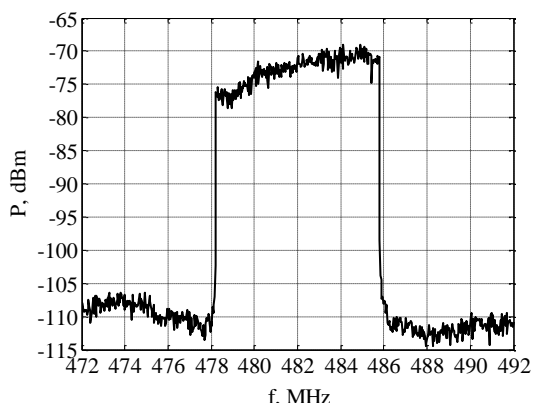
Wynik analizy nagranych przykładowego strumienia danych DVB-T w MUX3 (TVP) została przedstawiona na rys. 3. Widoczny jest rozkład programów w multipleksie (7 programów), zaś na wykresie kołowym przepływności danych w każdym programie. Przepływność danych całego strumienia została wyznaczona na prawie 25 Mb/s. Największą przepływność mają programy HD oraz programy emitujące filmy: rzędu 3-4 Mb/s – zależnie od przesyłanej treści, zastosowanego kodera i poziomu kompresji. Zdecydowanie mniejsze przepływności mają programy informacyjne: 1,3-2,4 Mb/s. Część strumienia zajmują tzw. „null bytes”, stanowiące wypełnienie do całkowitej przepływności strumienia. Są one rezerwą w przypadku dynamicznej zmiany przepływności któregoś z programów tego multipleksu. Analizator umożliwia także wyświetlenie numeru serwisu ustawionego przez nadawcę (SID – *Service IDentification*) oraz zastosowanych koderów treści wideo i audio (na rys.3 dla TVP2 HD ustawiono numer programu 2 oraz zastosowano koder MPEG-4 H.264).



Rysunek 3. Przykładowe wyniki analizy danych strumienia transportowego TS [17]

Na rys.4 przedstawiono zmierzone widmo sygnału telewizji DVB-T w multipleksie MUX3, nadawanego ze stacji RTCN Krynice koło Białegostoku. Sygnał telewizyjny multipleksu zajmuje cały kanał telewizyjny (8 MHz). Do momentu cyfryzacji kanał taki był zajmowany przez jeden program telewizyjny. Dodatkowo moc sygnału w całym kanale w przypadku techniki OFDM jest w przybliżeniu stała, co daje zdecydowanie większe efektywne wykorzystanie pasma kanału.

W tabeli 3 przedstawiono przegląd standardów telewizji cyfrowej DVB. Widzimy, że generalnie został on zdominowany przez technikę OFDM. Dodatkowo opracowana modyfikacja DVB-C2 (dla telewizji kablowej) także ją wprowadza w kanale. W zależności od zastosowania i modu transmisji, podnośne są modulowane w różny sposób, z modulacją QPSK lub wielopoziomowy QAM (słowo 2, 4, 6-bitowe na nośną). Dodatkowo w tabeli 4 przedstawiono mody transmisji OFDM. Analiza tabeli daje pojęcie o złożoności realizacji OFDM – mod transmisji mówi bowiem o złożoności transformaty FFT.



Rysunek 4. Przykładowe widmo sygnału telewizji DVB-T, MUX 3 Białystok [opracowanie własne]

Tabela 3. Parametry wybranych standardów rodziny DVB

	DVB-T	DVB-T2	DVB-H	DVB-S2	DVB-C
Modulacja multipleksu	OFDM	OFDM	OFDM	---	---
Modulacja podnośnej	QPSK, 16-, 64-QAM	QPSK, 16-, 64-, 256-QAM	QPSK 16-, 64-QAM	QPSK, 8-PSK, 16-, 32-APSK	16-, 32-, 64-, 128-, 256-QAM
Tryby transmisji OFDM	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k	2k, 4k, 8k	----	---

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4. Mody transmisji OFDM w kanale telewizyjnym 8 MHz

Tryb OFDM	1k	2k	4k	8k	16k	32k
Liczba podnośnych	853	1705	3409	6817	13633	27265
Odstęp między podnośnymi	8929 Hz	4464 Hz	2232 Hz	1116 Hz	558 Hz	279 Hz

Źródło: Opracowanie własne

4.2. Krótka charakterystyka systemów radiokomunikacji ruchomej

Początki systemów radiokomunikacji ruchomej datowane są na lata 20. XX wieku. Pierwszy taki system powstał w Detroit, jako system obsługujący policję. Był to system manualny o prostej strukturze, z łącznością poprzez centralę operatorską. Nowoczesne, zautomatyzowane systemy telefonii komórkowej rozwijane były od lat 80. XX wieku.

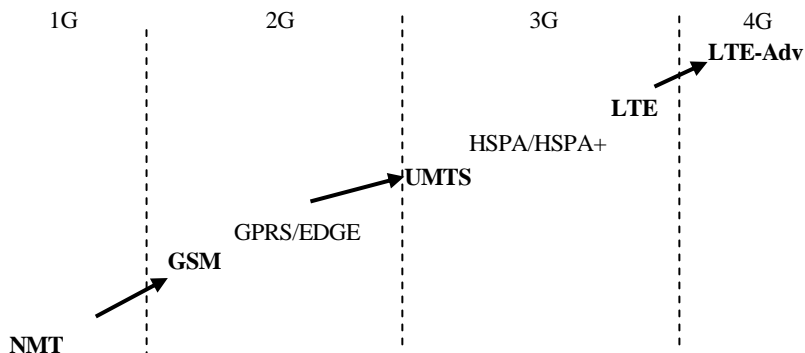
W telefonii komórkowej wyróżnić można tzw. generacje, wyróżniające się dostępnością różnego rodzaju usług. Pierwsze systemy mobilne określane są jako

generacja 0G. Były to systemy analogowe, obsługujące stosunkowo niewielką liczbę abonentów, nie pracujące jeszcze w strukturze komórkowej. Generacja 1G obejmuje pierwsze systemy automatyczne, wykorzystujące mechanizm przełączania rozmów pomiędzy komórkami. Pierwsza komercyjna sieć 1G została zbudowana w Tokio w Japonii w 1979 r. przez NTT Corp (Nippon Telegraph and Telephone). W Europie w 1981 r. uruchomiono standard NMT (Nordic Mobile Telephony), zaś w Stanach Zjednoczonych w 1983 r. system AMPS (Advanced Mobile Phone System), zaadaptowany w Wielkiej Brytanii jako TACS (Total Access Communication System). System NMT pracował w paśmie 450 MHz z szerokością kanału radiowego 30 kHz. Systemy pierwszej generacji były systemami analogowymi i stąd wynikały ich główne wady:

- niski poziom bezpieczeństwa (łatwość podsłuchania rozmowy),
- mała pojemność sieci,
- wysoki koszt połączeń,
- dość znaczne rozmiary i masa telefonów (nawet rzędu 2 kg),
- praca z dość znacznymi mocami i obawy, co do wpływu promieniowania na zdrowie,
- małe upowszechnienie wynikające z powyższych wad (typowo kilka procent populacji kraju).

Druga generacja telefonii komórkowej została opracowana w latach 80. i wprowadzona do użycia w latach 90. Była to generacja całkowicie cyfrowa (wykorzystująca modulacje cyfrowe), co pozwoliło na osiągnięcie znacznej poprawy jakości usług w sieci i zminiaturyzowanie telefonów. Spośród wielu systemów 2G najbardziej znany i popularny jest standard GSM, opracowany w Europie, ale wykorzystywany prawie na całym świecie. Przeznaczono dla niego początkowo pasmo 800/900 MHz, później zaś 1800 MHz, z szerokością kanału radiowego 200 kHz. Systemy 2G, podobnie jak wcześniejsze generacje są systemami z komutacją kanałów i nastawione były głównie na transmisję głosu, transfer danych był tylko dodatkiem. Okazało się to największym mankamentem tych sieci.

Ewolucję sieci radiokomunikacji ruchomej przedstawiono na rys. 5. Systemy drugiej generacji były nieustannie modyfikowane w kierunku zwiększenia transferu danych, stąd kolejne fazy rozwoju podążające w kierunku sieci 3G, oznaczane są jako sieci 2,5 G (GPRS) i 2,75 G (EDGE). GPRS (*General Packet Radio Service*) jest technologią pakietową zaimplementowaną w standardzie GSM, umożliwiającą transfer danych z przepływnościami do 80 kb/s. Bezpośrednim następcą GPRS zostało EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), w której dzięki modyfikacji interfejsu radiowego (zmiana rodzaju modulacji z GMSK na 8PSK) możliwe są transfery do 236 kb/s.



Rysunek 5. Ewolucja standardów radiokomunikacji ruchomej [opracowanie własne]

Implementacja GPRS/EDGE umożliwiła na wprowadzenie wielu usług takich jak:

- dostęp do poczty elektronicznej,
- korzystanie z zasobów sieci Internet przez przeglądarkę (w tym realizacja płatności elektronicznych),
- dostęp do dedykowanych serwisów multimedialnych,
- możliwość obsługi prostych gier sieciowych,
- obsługa wiadomości MMS,
- obsługa aplikacji Java, które wymagają połączenia z Internetem,
- obsługa komunikatorów internetowych i Facebooka,
- strumieniowa transmisja video,
- usługi lokalizacyjne.

Technologie 3G zostały zaprojektowane, aby zintegrować wszystkie systemy telekomunikacyjne – teleinformatyczne, radiowe i telewizyjne. Wszystkie usługi – transmisja dźwięku, transmisja danych i transmisja wideo są tu równorzędne. Ze względu na duże ilości danych, szczególnie wideo, systemy 3G zapewniają dużo wyższe przepływności niż sieci 2G. Możliwe się to stało dzięki zastosowaniu komutacji pakietów zamiast komutacji kanałów oraz zwiększeniu szerokości kanału radiowego do 5 MHz. Przykładowym systemem 3G jest UMTS.

Najważniejsze cechy sieci 3G to:

- zwiększenie prędkości transmisji danych (do 2 Mbit/s),
- optymalizacja działania sieci pod kątem obsługi wielu użytkowników korzystających z dostępu do Internetu,
- zwiększenie bezpieczeństwa użytkowników,
- pełna współpraca z sieciami GSM,
- rozbudowane usługi multimedialne (wideorozmowy, wideokonferencje, telewizja mobilna i na żądanie).

Zastosowany w UMTS szerokopasmowy interfejs radiowy UTRA oparty na metodzie WCDMA oraz dwa podpasma jedno pracujące z dupleksem częstotliwościowym FDD, a drugie z dupleksem czasowym TDD, zapewniły systemowi dużą elastyczność pracy.

Podobnie jak w przypadku sieci 2G, systemy 3G modyfikowano zwiększając przepływności danych, tworząc systemy przejściowe 3.5G (HSPA), 3.75G (HSPA+) i 3.9G (LTE).

Technologia HSPA (*High Speed Packet Access*) jest połączeniem dwóch technologii HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) opracowanej do łączności w downlinku (łącze od stacji bazowej) i HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) do łączności w uplinku (łącze do stacji bazowej).

Technologia LTE (*Long Term Evolution*) pozwala na zwiększenie pojemności sieci i zwiększenie prędkości transferu do 100 Mb/s przy pobieraniu danych oraz 50 Mb/s przy wysyłaniu. Interfejs radiowy został znacznie zmodyfikowany w porównaniu do wcześniejszych rozwiązań. Zastosowano tu technikę OFDM, dającą jakościowo znaczny wzrost prędkości przesyłu danych, a także wprowadzono tryby pracy MIMO (2x2, 4x4). Ze względu na brak kompatybilności z innymi systemami, zostały mu przydzielone nowe zakresy częstotliwości, od 700 MHz do 6 GHz.

Sieci 4G są w całości oparte na komutacji pakietów typowej dla sieci internetowych. Według dokumentów ITU-R powinna ona zapewniać przepływności do 1Gb/s dla abonenta stacjonarnego i 100 Mb/s dla abonenta ruchomego. Szerokość kanału radiowego może być modyfikowana w zależności od zapotrzebowania i zwiększana do 70 MHz. Przykładami sieci 4G są standardy LTE-Advance oraz WiMAX (IEEE 802.16m). Krótkie porównanie będących w użyciu standardów 2G, 3G i 4G przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Porównanie teoretycznego transferu danych w systemach 2G, 3G, 4G

Technologia	Generacja	Maksymalne prędkości transferu danych	
		downlink	uplink
GPRS	2.5 G	86,4 kb/s	56 kb/s
EDGE	2.75 G	240 kb/s	120 kb/s
UMTS	3 G	384 kb/s	384 kb/s
CDMA	3 G	3,1 Mb/s	1,8 Mb/s
HSPA	3.5 G	7,2 Mb/s	3,6 Mb/s
HSPA+	3.5 G	42 Mb/s	5,76 Mb/s
LTE	3.9 G	100 Mb/s	50 Mb/s
LTE-Advanced	4 G	1 Gb/s	500 Mb/s

Źródło: Opracowanie własne

Standard 5G ma w pełni zrewolucjonizować łączność bezprzewodową. Przede wszystkim ma on wykorzystywać na dużą skalę wiele różnych zakresów często-

liwości. Mogą być wykorzystywane częstotliwości mikrofalowe – planowane jest użycie pasm 28 GHz, 38 GHz, 60 GHz i 70-73 GHz. Dalej w jego ramach mają być zintegrowane inne rodzaje systemów, w tym Internetu Rzeczy IoT (Internet of Things) oraz komunikacji pomiędzy urządzeniami (M2M – *machine to machine communication*). Systemy mają mieć możliwość pracy w trybie tzw. masywnych MIMO (16x16 i wyżej) i osiągać prędkości transmisji rzędu 1Gb/s, a także mieć możliwość pracy z aktywnymi układami antenowymi ze sterowaniem wiązki. Zaimplementowane mają być też techniki radia kognitywnego umożliwiające pracę w standardzie IEEE 802.22 (praca w wolnych pasmach przeznaczonych dla przez telewizji). Prace nad standardem nadal trwają, zaś pierwsze systemy mają być wprowadzane na rynek od 2020 r. Już w lipcu 2017 r. w centrum Blue City w Warszawie zostały rozpoczęte testy pilotażowe systemu 5G w paśmie 60 GHz. Są one prowadzone przez firmę Exatel w ramach projektu RAPID 5 (Radio technologies for 5G using Advanced Photonic Infrastructure for Dense user environments). Firma Exatel realizuje go w połączeniu z firmami i instytutami naukowymi z krajów UE i Japonii [18].

4.3. Standardy cyfrowej transmisji danych IEEE 802.11 (Wi-Fi)

Drugą grupę systemów radiokomunikacyjnych po systemach telekomunikacji ruchomej stanowią sieci transmisji danych. Są to głównie lokalne sieci komputerowe WLAN (*Wireless Local Area Network*). Najbardziej popularnym standardem jest IEEE 802.11, znany pod nazwą handlową Wi-Fi. Jest on ciągle modyfikowany w celu zwiększenia szybkości transmisji oraz polepszenia jakości usług. W tabeli 6. przedstawiono kolejne warianty standardu wraz z najważniejszymi ich parametrami.

Pierwsza wersja standardu IEEE 802.11 została opracowana w 1997 r. i zakładała transmisję w paśmie ISM 2,4 GHz z rozproszeniem widma metodą częstotliwościową FHSS i sekwencją pseudolosową DSSS. Został on zastąpiony w 1999 r. dwoma standardami IEEE 802.11b (dla pasma 2,4 GHz) i 802.11a (dla pasma 5 GHz). W standardzie IEEE 802.11a wprowadzono technikę OFDM z 52 podnośnymi modulowanymi BPSK, QPSK, 16-QAM lub 64 QAM. W 2003 r. wydano kolejną modernizację standardu – IEEE 802.11g, zakładającą pracę w trybach DSSS lub OFDM w paśmie 2,4 GHz. W 2009 r. wprowadzono standard IEEE 802.11n, wprowadzający tryby transmisji o dużej prędkości z wykorzystaniem kanałów radiowych o szerokości 40 MHz i technologii MIMO. Zakłada on także możliwość łączenia ramek w jedną większą super ramkę. Mechanizmy te pozwalają uzyskiwać transfery do 600 Mb/s przy pracy z 4 strumieniami MIMO w kanale 40 MHz. Kolejny standard IEEE 802.11ac pozwala uzyskiwać jeszcze wyższe przepływności (do 1 Gb/s) dzięki zastosowaniu pracy z maksymalnie ośmioma strumieniami MIMO w kanale o szerokości 160 MHz. Należy jednakże zauważyć, że bezprzewodowe sieci transmisji danych, pomimo zbliżonych lub wręcz takich samych metod transmisji jak w systemach radiokomunikacji ruchomej, są w zasadzie systemami stacjonarnymi i dopuszczają ograniczoną ruchomość stacji odbiorczej, nie zapewniając ciągłości połączenia przy przemieszczaniu się pomiędzy stacjami nadawczymi. Są to sieci lokalne, obsługujące niewielki obszar.

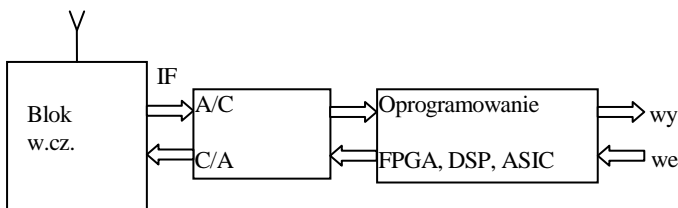
Tabela 6. Porównanie wybranych wersji standardu IEEE 802.11 (Wi-Fi)

	Pasmo	Szerokość kanału	Rodzaj modulacji/ dostępu do kanału	MIMO	Max. transfer
802.11a	5 GHz	20 MHz	OFDM	---	54 Mb/s
802.11b	2,4 GHz	22 MHz	DSSS	---	11 Mb/s
802.11g	2,4 GHz	22 MHz	DSSS/ OFDM	---	54 Mb/s
802.11n	2,4/5 GHz	20/40 MHz	OFDM	2x2 do 4x4	600 Mb/s
802.11ac	5 GHz	20/40/80/160 MHz	OFDM	2x2 do 8x8	1000 Mb/s
802.11ad	60 GHz	160 MHz	OFDM		7000 Mb/s

Źródło: Opracowanie własne

4.4. Radio programowalne i radio kognitywne

Określenie radio programowalne (software radio) zostało wprowadzone przez J. Mitolę w pracy „*Software radios-survey, critical evaluation and future directions*” w 1992 r. Inne określenie na takie struktury to radio zdefiniowane programowo SDR (Software Defined Radio). Zakłada ono budowę uniwersalnego toru w.cz. (tzw. RF front-endu) oraz realizację wszystkich funkcjonalności w sposób programowy. Zmiana oprogramowania powoduje zmianę standardu działania urządzenia lub trybu pracy i jest zdecydowanie tańsza niż zmiana urządzenia [19]. Struktura blokowa radia programowalnego została przedstawiona na rys.6.



Rysunek 6. Struktura blokowa radia programowalnego [opracowanie własne]

Sygnal radiowy jest odbierany przez uniwersalny blok w.cz. zawierający wzmacniacz niskoszumny i blok przemiany częstotliwości. Na wyjściu uzyskujemy sygnał IF pośredniej częstotliwości, który jest następnie poddawany przetwarzaniu analogowo-cyfrowemu i doprowadzany do bloku programowego. Zapewnia on obróbkę sygnału w dziedzinie cyfrowej przy wykorzystaniu procesorów ogólnego przeznaczenia i procesorów sygnałowych, macierzy programowalnych FPGA (*Field Programmable Gate Array*) i specjalizowanych układów scalonych dla aplikacji ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*). Sygnal jest w tym bloku demodulowany

i poddawany ewentualnym korektom. Ostatecznie wyprowadzany jest on na wyjście i doprowadzany – po ewentualnej ponownej konwersji C/A – do urządzenia prezentującego wiadomości. W przypadku części nadawczej wszystkie wymienione wyżej operacje zachodzą w odwrotnej kolejności.

Najbardziej popularną platformą sprzętową radia programowalnego jest USRP (Universal Software Radio Peripheral) zaprojektowana przez Matta Ettusa, a dystrybuowana przez National Instruments. Analogowa część radiowa umożliwia odbiór sygnałów o częstotliwości do 6 GHz. W części cyfrowej USRP zawiera matryce FPGA Altera i Xilinx, oraz 14- lub 16-bitowe przetworniki A/C i C/A. Urządzenie umożliwia także prace w trybie wieloantenowym MIMO. Inne popularne platformy: WARP (*wireless open-access research platform*) i KUAR (*Kansas University agile radio*) integrują sprzęt radiowy i oprogramowanie. Najpopularniejszą platformą programową jest GNU Radio – bezpłatne środowisko programowe funkcjonujące na zasadzie open source.

Pojawienie się platform radia programowalnego zdecydowanie uprościło budowę urządzeń radiowych oraz pozwala na szybkie testowanie i wprowadzanie do użytku nowych rozwiązań w dziedzinie radiokomunikacji. Przykładowe zastosowania układów radia programowalnego, takie jak tomografia bezprzewodowa czy odbiór danych meteorologicznych przedstawiono w pracach [20-22].

Jeszcze większe perspektywy rozwojowe zapewnia radio kognitywne. Zawiera ono m.in. złożone algorytmy analizujące zajętość pasma w swoim otoczeniu i dzięki temu jest w stanie samodzielnie dobrać pasmo częstotliwości i typ interfejsu radiowego w celu zrealizowania łączności. Zastosowania radia kognitywnego obejmują np. wykorzystanie transmisji radiowych w zakresie tzw. białych plam widma telewizji cyfrowej (*white spaces*), możliwość automatycznego przełączania transmisji w licencjonowanych i nielicencjonowanych zakresach częstotliwości, czy aplikacje wykorzystywane przez służby ratownicze w sytuacjach kryzysowych, umożliwiające automatyczny dobór częstotliwości i modulacji ze względu na warunki propagacyjne. Ważnym odbiorcą urządzeń w tej technologii jest także wojsko, gdyż systemy te są w stanie same dostosowywać się do warunków środowiska radiowego i unikać celowych zakłóceń [6].

Prace w obszarze kognitywnego trwają i będą kontynuowane przez następne lata zarówno w obszarze badań jak i regulacji oraz normalizacji.

4.5. Inne zastosowania systemów radiowych

Znaczną część ruchu telekomunikacyjnego stanowi obecnie komunikacja M2M [7]. Związane jest to m.in. z pojawianiem się kolejnych generacji mikrokontrolerów, dzięki którym możliwe jest tworzenie systemów wbudowanych (ang. *embedded*). Urządzenia posiadające takie moduły określane są jako „smart” i posiadają całe zestawy różnorodnych czujników komunikujących się ze sobą, najczęściej drogą radiową. Komunikacja M2M może odbywać się z wykorzystaniem sieci operatorów GSM, UMTS i LTE, które oferują usługi transmisji pakietowej i dostępu do Internetu. Alternatywą jest wykorzystanie specjalizowanych protokołów w standardach ZigBee,

WirelessHART, 6LoWPAN, Bluetooth LoRa. Wszystkie te standardy osiągają stosunkowo niewielkie zasięgi rzędu 100 m, umożliwiają transfery do kilkudziesięciu Mb/s i wykorzystują częstotliwości z pasm nielicencjonowanych: 433 MHz, 868 MHz czy 2400 MHz.

Sieci Wireless Body Area Networks są zupełnie nowym zastosowaniem technik radiowych. Są to sieci krótkiego zasięgu (do 6 m), których obszarem pracy jest ciało ludzkie i jego bezpośrednie otoczenie. Można je podzielić na sieci: on-body, off-body i in-body. Urządzenia sieci WBAN mogą być umieszczane na ciele lub w bezpośrednim jego otoczeniu i spełniać funkcje monitorujące (np. funkcje życiowe organizmu) lub nadzorujące i wykonawcze (np. automatyczne dozowanie insuliny). W sieciach on-body urządzenia są noszone przez użytkownika (słuchawki bezprzewodowe w uszach, smartwatch na nadgarstku) i fala elektromagnetyczna propaguje wokół człowieka. W przypadku sieci off-body komunikacja jest realizowana w powietrzu pomiędzy urządzeniem na ciele i urządzeniem znajdującym się w pobliżu. W sytuacji gdy sensor bezprzewodowy znajduje się wewnątrz ciała człowieka, wykorzystywane ono jest jako medium transmisyjne. Urządzenia tego typu pracują zazwyczaj z bardzo małymi poziomami mocy (np. 25 μ W dla implantów medycznych) i różnych zakresach częstotliwości, najczęściej w pasmach ISM (*Industrial, Science, Medical*). Prace nad tego typu systemami nadal trwają i w przyszłości na pewno na dobre zdomowią się w medycynie. Więcej informacji na temat specyfiki budowy i zastosowania sieci WBAN można znaleźć np. w publikacjach [8, 9].

Powszechnie stało się także zastosowanie systemów RFID (*Radio Frequency Identification*). Szczególnie popularne są one w zastosowaniach logistycznych, do kontroli transportu i przepływu towarów i pozwalają zautomatyzować procesy przepływu towarów i lepszą kontrolą ilości towarów. W większości bibliotek służą do szybkiej rejestracji książek i sprawdzania ich aktualnego stanu. W oparciu o systemy RFID budowane są także systemy ewidencji czasu pracowników i dostępu do pomieszczeń służbowych. Powszechnie stosowane są także do identyfikacji i ewidencji zwierząt hodowlanych.

System RFID jest złożony z kilku komponentów: identyfikatorów (tagów), czytników i programatorów, anten nadawczych i hosta systemu przetwarzania danych. Tagi (inaczej nazywane też transponderami, znacznikami, etykietami RFID lub chipami RFID) są elementami, które mogą przechowywać informację dotyczącą obiektu, na którym się znajdują, czyli np. dane dotyczące książki. Zawierają one mikrochip z anteną umieszczony na nośniku, np. papierze, folii, plastiku. Za pomocą czytnika można wymusić transmisję informacji z taga (odpowiedź) i sprawdzić, czy książka znajduje się fizycznie w księgozbiorniku. Najprostszą wersją taga, jest tag pasywny, nie zawierający danych identyfikujących obiekt – służy on tylko np. do zabezpieczenia towaru w sklepie przed kradzieżą.

Systemy RFID mają bardzo wiele różnorodnych zastosowań. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w opracowaniach [10-12].

5. Podsumowanie

Łączność radiowa jest obecnie jednym z najpowszechniej wykorzystywanych sposobów komunikacji. Zawdzięcza to przede wszystkim dużej elastyczności tworzonych systemów i niezależności od istniejącej infrastruktury stałej. W pewnych obszarach i sytuacjach łączność bezprzewodowa może być stosowana jako jedyne medium komunikacji – tak jest np. w łączności na morzu, w lotnictwie czy kosmonautyce.

Rzeczywisty rozwój elektroniki i miniaturyzacja urządzeń, sprawiły że środki komunikacji bezprzewodowej są w powszechnym zastosowaniu praktycznie we wszystkich dziedzinach życia. Wprowadzanie coraz to nowych wersji istniejących standardów, coraz doskonalszych interfejsów radiowych, technik takich jak OFDM, zwielokrotnienia strumieni transmisyjnych MIMO sprawiły, że możliwy jest transfer nawet dużych plików wideo w akceptowalnym przez użytkownika czasie.

Obecnie jesteśmy na progu wprowadzenia systemów 5G, integrujących komunikacje głosowe i danych oraz łączność M2M (w ramach łączności w sieciach IoT – internetu rzeczy) w ramach jednego systemu. Zakres wykorzystywanych częstotliwości wkroczył do pasm mikrofalowych – standard 5G zakłada wykorzystanie m.in. pasm częstotliwości 26 GHz i 58 GHz. Prace nad systemami 5G jeszcze trwają, a już są wprowadzane pojęcia sieci 6G i 7G, zakładające jeszcze większą integrację sieci radiokomunikacyjnych i jeszcze wyższe przepływności, rzędu dziesiątków Gb/s [23]. Powstawanie takich systemów jest właśnie odpowiedzią na potrzeby współczesnego społeczeństwa.

Literatura

1. Sarkar T. K., Mailloux R., Oliner A.A., Salazar-Palma M., Sengupta D.L. *History of Wireless*, John Wiley and Sons, 2006.
2. Janusz R. *Rola matematyki w postawianiu teorii pola J. C. Maxwella*, Zagadnienia Filozoficzne w Nauce, XXXVIII/2006, s. 47-60.
3. Spark Museum. Early Radio and Scientific Apparatus. http://www.sparkmuseum.com/BOOK_HERTZ.HTM, dostęp – czerwiec 2017.
4. Sarkar T. K., Sengupta D.L. *Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the Early History of Electromagnetic Waves*, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, No.2, April 2003, s. 13-19.
5. Rudersdorfer R. *Radio Receiver Technology. Principles, Architectures and Applications*, John Wiley & Sons Ltd 2014.
6. Bogucka H. *Technologie radia kognitywnego*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2013.
7. *12th Annual Report VNI Global Fixed and Mobile Internet Traffic Forecasts*, February 2017, opublikowany na platformie <http://www.cisco.com>.
8. Ambroziak S.J. *Radiowe sieci BAN*, Przegląd Telekomunikacyjny. Wiadomości Telekomunikacyjne, rocznik LXXXVI, nr 2-3/2017, s. 36-50.
9. Gajewska M. *Komunikacja M2M w sieciach BAN*, Przegląd Telekomunikacyjny. Wiadomości Telekomunikacyjne, rocznik LXXXVI, nr 2-3/2017, s. 64-69.
10. Domdouzis K., Kumar B., Anumba C. *Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction*, Advanced Engineering Informatics, Volume 21, Issue 4, October 2007, pp. 350-355.

11. Roberts C. M. *Radio frequency identification (RFID)*, Computers & Security, Volume 25, Issue 1, February 2006, pp. 18-26.
12. Ahsan K., Shah H., Kingston P. *RFID Applications: An Introductory and Exploratory Study*, International Journal of Computer Science Issues, IJCSI, Vol. 7, Issue 1, No. 3, January 2010, dostępne na stronie <https://arxiv.org/abs/1002.1179>.
13. ETSI EN 300 468 V1.5.1: Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems. ETSI 2003.
14. Fischer W. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide*, Springer, 2010.
15. Furht B., Ahsan S.A. *Handbook of Mobile Broadcasting: DVB-H, DMB, ISDB-T, and MediaFLO*, CRC Press, Auerbach 2008.
16. Arnold J., Frater M., Pickering M. *Digital television: technology and standards*, Wiley-Interscience, 2007.
17. Sadowski M., Piotrowski P. *Analiza strumienia transportowego w telewizji cyfrowej DVB*, Przegląd Telekomunikacyjny. Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6/2014, s. 587-590.
18. Informacja prasowa nt. rozpoczęcia testów systemu 5G w Warszawie, <http://www.telix.pl/artukul/testy-5g--rewolucja-mobilna-w-polsce-zaczyna-sie-dzis-3,80553.html>, dostęp 2017-07-12.
19. Iacobucci M.S. *Reconfigurable Radio Systems: Network Architectures and Standards*, Wiley & Sons, 2013.
20. Bonior J., Hu Z., Guo T. N., Qiu R. C., Browning J.P., Wicks M. C. *Software-Defined-Radio-Based Wireless Tomography: Experimental Demonstration and Verification*, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol.12, Iss.1, January 2015, pp 175-179.
21. El-Hajjar M., Nguyen Q. A., Maunder R. G., Xin S. N. *Demonstrating the practical challenges of wireless communications using USRP*, IEEE Communications Magazine, Vol.52, Is.5, May 2014, pp 194-201.
22. Sadowski M., Grześ M., Grześ P. *Stacja do odbioru danych meteorologicznych na potrzeby planowania misji bezzałogowych statków powietrznych*, Przegląd Telekomunikacyjny. Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6/2016, s. 417-420.
23. Gill J., Singh S. *Future Prospects of Wireless Generations in Mobile Communication*, Asian Journal of Computer Science and Technology Vol. 4 No. 2, 2015, pp. 18-22.

Techniki radiowe na przestrzeni XX i XXI wieku – historia i tendencje rozwojowe

Streszczenie

W rozdziale dokonano przeglądu rozwoju systemów radiokomunikacyjnych na przestrzeni XX i XXI w. Na wstępie omówiono początki radia, skupiając się głównie na pracach Maxwella, Hertza i Marconiego. Dalej przedstawiono najważniejsze trendy rozwojowe w systemach radiowych, skupiając się na wykorzystywaniu coraz wyższych zakresów częstotliwości, modulacji OFDM oraz metod odbioru z wykorzystaniem radia programowalnego i kognitywnego. Omówiono zostały wybrane zastosowania technik radiowych, dynamicznie rozwijające się w ostatnich latach: telewizję cyfrową DVB, systemy radiokomunikacji ruchomej 2G, 3G i 4G, sieci bezprzewodowe w standardzie IEEE 802.11 oraz techniki radia programowalnego i kognitywnego. Gwałtowny rozwój systemów radiowych jest odpowiedzią na potrzeby współczesnego świata.

Słowa kluczowe: radiokomunikacja, OFDM, LTE

Radio techniques in the XX and XXI century - history and development trends

Abstract

This chapter reviews the development of radiocommunication systems in the XX and XXI centuries. The introduction of the radio was first discussed, concentrating mainly on the work of Maxwell, Hertz and Marconi. Next, the most important development trends for radio systems were presented, focusing on the use of higher frequencies, OFDM modulation and using software and cognitive radios. Selected radio techniques evolving in last years were discussed: DVB digital television, 2G, 3G and 4G mobile radio, IEEE 802.11 wireless networks, and software and cognitive radio technology. The rapid development of radio systems is a response to the needs of the modern world.

Keywords: radiocommunication, OFDM, LTE

Technika druku filmowego – rozwiązanie technologiczne do tworzenia czujnika do pomiarów pneumografii

1. Wstęp

Popyt na nowości w dziedzinie inteligentnych tekstyliów, służących np. do monitorowania zdrowia prowadzi do rozwoju nowych technik ich wytwarzania. Wprowadzane są zminiaturyzowane układy czujników z możliwością połączenia ich ze strukturą gotowych wyrobów włóknistych.

Rozwój nowych czujników tekstylnych stwarza możliwości w zakresie wytwarzania różnych rodzajów sensorów. Coraz większym zainteresowaniem cieszą się czujniki drukowane, wytwarzane do tej pory głównie na płytkach, szkle, foliach [1-5].

Technologia druku z powodzeniem została wdrożona do przemysłu tekstylnego. Można zauważyć, iż druk na tekstyliach znajduje coraz szersze zastosowanie poprzez wykorzystanie coraz to nowszych technologii drukarskich, ale głównie w zakresie efektów barwnych.

Współcześnie znanych jest wiele technik druku, jednak do celów elektroniki zdecydowanie najczęściej stosuje się technikę druku filmowego oraz druku atramentowego (Ink-Jet). Wymienione techniki drukarskie różnią się między sobą diametralnie. Druk filmowy jest technologią wydajną, łatwo adoptowalną w warunkach przemysłowych, ale stosowaną przede wszystkim do druku wielkoformatowego. Druk Ink-Jet jest to druk o wysokiej precyzji i rozdzielczości stosowany głównie do drukowania skomplikowanych układów połączeń elektronicznych w skali mikrometrowej [6, 7].

Metody nadruku ze szczególnym uwzględnieniem druku cyfrowego i druku filmowego stanowią najbardziej obiecujące techniki wytwarzania elektroniki elastycznej elektroniki noszonej [8-11]. Znajduje ona lub może znaleźć zastosowanie w produkcji elastycznych ekranów dotykowych, ogniw słonecznych, inteligentnych tekstyliów, czy diod organicznych. Wybór metod druku jest istotny z punktu widzenia dalszej aplikacji opracowanych produktów. Drukowanie elementów przewodzących dla potrzeb elastycznej elektroniki odbywa się głównie w formie depozycji atramentu na elastycznych foliach polimerowych. Pozwala to zastosować precyzyjny druk Ink-Jet dedykowany do wysokorozdzielczych nadruków. Elektronika noszona, często będąca elementami funkcjonalnymi takimi jak piezo-sensory wymusza druk na skomli-

¹ ewa.skrzetuska@p.lodz.pl, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej, Politechnika Łódzka, <http://www.k48.p.lodz.pl>

² karolina.kopka92@gmail.com, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej, Politechnika Łódzka, <http://www.k48.p.lodz.pl>

³ izabella.krucinska@p.lodz.pl, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej, Politechnika Łódzka, <http://www.k48.p.lodz.pl>

kowanych podłożach tekstylnych takich jak dzianiny, tkaniny oraz włókniny. Do tego celu można zastosować druk Ink-jet, ale częściej stosuje się bardziej efektywny druk filmowy [10-14].

Rosnąca popularność systemów tekstronicznych (intelligent clothing) wiąże się ściśle z postępowaniem miniaturyzacji elektroniki oraz rozwojem technologii włókienniczych i tekstylnych. Umożliwiają one między innymi tworzenie nowych rozwiązań w zakresie pomiaru funkcji życiowych, będących istotnym elementem każdej z wcześniej wymienionych dziedzin. Systemy takie wbudowane w strukturę odzieży mają za założenia spełniać swoją funkcję bez zaburzania komfortu użytkowego osób ją noszących. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu charakterystycznych właściwości niektórych surowców, z których wytwarza się wyroby tekstylne takich jak właściwości piezoelektryczne, elektrostrykcyjne oraz pamięć kształtu. Materiały wykorzystujące te cechy nazywa się inteligentnymi i łączą one w sobie funkcje zarówno czujnika jak i aktywatora. Ich właściwości zmieniają się pod wpływem zewnętrznego bodźca, którym może być np. bodziec mechaniczny, lub impuls elektryczny [15].

W przypadku czujników funkcji życiowych systemy tekstroniczne bazują najczęściej na materiałach piezorezystywnych, w których zmiana rezystancji elektrycznej materiału następuje pod wpływem działającej siły mechanicznej, wywołanej np. ruchem klatki piersiowej użytkownika. Wykorzystanie technik drukarskich w tworzeniu sensorów odkształceń jest jedną z metod coraz częściej rozpatrywanych w aspektach funkcjonalizacji odzieży. Nadruki wykonywane na dzianinowym podłożu z użyciem past lub atramentów na przykład na bazie nanorurek węglowych mogą nieść ze sobą szereg nowych możliwości. Potencjalnie drukowane czujniki mają być wygodniejsze w użytkowaniu, elastyczne, niekrępujące ruchów, a przy tym czulsze i dawać adekwatne wyniki pomiaru [16].

Wybór pionierskiej nie tylko w Polsce, ale i też w skali światowej tematyki jest wynikiem analizy kierunków rozwoju przemysłu włókienniczego zmierzających m. in. w kierunku realizacji wizji stworzenia odzieży inteligentnej. Zadaniem jakimi mają spełniać nowe inteligentne materiały włókiennicze to pełnienie roli układów sensorycznych monitorujących np. czynności życiowe człowieka czy też wykrywające zagrożenia w postaci niebezpiecznych dla zdrowia i życia związków chemicznych w postaci ciekłej oraz lotnej. Nieinwazyjne lub minimalnie inwazyjne fizjologicznie urządzenia monitorujące mają duże znaczenie dla celów obronności oraz w aplikacjach dla sportowców. Integracja czujników i biosensorów bezpośrednio z odzieżą jest istotna między innymi dla rozwoju opieki zdrowotnej, analizy zagrożeń w przypadku służb mundurowych, a także w monitorowaniu poziomu wysiłku sportowców. Odzież inteligentna to przede wszystkim integracja elektroniki z odzieżą [17, 18].

Dotychczasowe rozwiązania w tej dziedzinie zmierzają do zastąpienia konwencjonalnych czujników elektronicznych opartych na sztywnych i niekomfortowych materiałach, detektorami bazującymi na zdobycach wiedzy z zakresu projektowania elastycznej elektroniki. Szerokie zastosowania mają tutaj nanomateriały takiej jak nanorurki węglowe, nanocząstki metali, które zwykle tworzą sensoryczną warstwę powierzchniową układu elastycznego. Zupełnie nowym podejściem jest implementacja

nanomateriałów do wnętrza materiału polimerowego jakim mogą być folie i włókna. Prace badawcze prowadzone m. in. w Katedrze Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej PŁ wykazały realną możliwość tworzenia płaskich wyrobów włóknistych o własnościach sensorycznych zawierających nanorurki węglowe. Podjęcie tematyki związanej z wykorzystaniem do tych celów różnych odmian węgla oraz polimerów elektroprzewodzących wynika ze światowych trendów w dziedzinie nanotechnologii. Ich dostępność komercyjna oraz poznane i zdefiniowane unikalne właściwości takie jak niska rezystywność, wysoka odporność mechaniczna, oraz sensoryczność zarówno biologiczna jak i chemiczna powodują, że podjęta problematyka wynika z naturalnej potrzeby nauki z zakresu fizyki i chemii polimerów, a także z dążenia do aplikacji nowych nanometriałów w życiu codziennym.

Najistotniejszą funkcją wyrobów odzieżowych, a co za tym idzie odzieży tekstonecznej jest zapewnienie użytkownikowi odpowiedniej bariery cieplnej, chroniącej zarówno przed wychłodzeniem jak i przegrzaniem organizmu. Przeciętny użytkownik wymaga ponadto, aby noszona odzież w jego subiektywnym odczuciu zapewniała mu komfort, czyli stan równowagi aspektów fizycznych i psychicznych między człowiekiem, garderobą i otoczeniem [19].

Komfort fizjologiczny człowieka określa poziom zapewnienia przez odzież właściwego mikroklimatu pododzieżowego, w chwili gdy jest wystawiony na działanie czynników klimatycznych przy zachowaniu sprawności fizycznej i umysłowej. Kluczową rolę w zapewnieniu komfortu biofizycznego stanowi odpowiedni dobór cech materiału do warunków, w których znajduje się użytkownik. Szczególne znaczenie mają tutaj wskaźniki materiału wpływające na wymianę ciepła i pary wodnej, takie jak opór cieplny, opór pary wodnej, przepuszczalność powietrza i sorpcja. [20].

Celem prezentowanej pracy było wytworzenie sensorów odkształceń do pomiarów pneumografii oraz zbadanie właściwości użytkowych materiałów dzianinowych przed i po procesie zadruku. Autorzy artykułu postanowili wykorzystać metody druku filmowego do wykonania czujnika do pomiaru impedancji elektrycznej klatki piersiowej. Na wielkość impedancji elektrycznej składają się między innymi objętość powietrza w płucach, objętość i prędkość przepływu krwi w naczyniach krwionośnych oraz zmiany kształtu lub przemieszczenia się narządów wewnętrznych w czasie oddechu. Na impedancję klatki piersiowej, czyli pomiary pneumografii wpływ mają przede wszystkim dwa składniki: impedancja bazowa, która w założeniu jest niezmienna oraz impedancja zmienna, która jest zależna od zmian objętości powietrza. W wyniku wdechu następuje wzrost objętości powietrza w klatce piersiowej, co skutkuje pomniejszeniem przewodności klatki piersiowej [21-24]. Ponadto w czasie przyrostu objętości klatki piersiowej następuje wydłużenie ścieżki przewodzenia między elektrodami, wynikiem, czego jest przyrost impedancji. W raporcie Amit K. Gupta przedstawił zależność pomiędzy impedancją a ilością powietrza w klatce piersiowej udowadniając, że zależność ta jest w przybliżeniu liniowa [21].

2. Materiał i Metodyka badawcza

2.1. Materiał badawczy

W pracy zastosowano dwie kompozycje drukarskie. Pierwsza z nich była wodną dyspersją z nanorurek węglowych o nazwie handlowej AQUACYL™ AQ0302 firmy Nanocyl. Dyspersja ta zawierała 3% wielościennych nanorurek węglowych (MWCNT) z linii NC7000™, charakteryzujących się przeciętnymi średnicami rzędu 9,5 nm, średnimi długościami rzędu 1,5 μm oraz czystością na poziomie 90% [25]. Dyspersję charakteryzowały następujące parametry: pH 7-11, temperatura wrzenia 100°C, temperatura topnienia 0°C, lepkość 100-200 cP [26].

Drugą kompozycją drukarską była mieszanina wyżej wymienionej pasty z nanorurek węglowych z 0,5%-ową domieszką sproszkowanego polipirolu firmy Sigma Aldrich® (nr CAS 30604-81-0).

Wydruki wykonano techniką druku filmowego na dzianinie wykonanej splotem lewoprawym o zróżnicowanym składzie surowcowym (Tabela 1).

Tabela 1. Charakterystyka materiału tekstylnego

Nr	Skład	Splot	Masa powierzchniowa, g/m ²	Grubość, mm
1	86%bawełna/ 14% lycra	lewoprawy	315,23	0,85
2	94% wiskoza/ 6% lycra	lewoprawy	241,00	0,60
3	87% poliester/ 13% lycra	lewoprawy	276,58	0,70

Źródło: Opracowanie własne

Drukowanie dzianin zostało przeprowadzone z wykorzystaniem maszyny do sitodruku MS-300FRO. Jest to wielofunkcyjne urządzenie pozwalające na wykonywanie nadruków na różnego rodzaju powierzchniach.

Próbki dzianin były rozciągane na stoliku maszyny w taki sposób, aby umożliwić jak najdokładniejsze ich pokrycie kompozycją drukarską. Zastosowano sito drukarskie o zagęszczeniu 43 oczka na cm².

2.2. Metodyka badawcza

2.2.1. Zastosowane metody badawcze oceny wpływu surowca oraz kompozycji drukującej na właściwości przewodzące

Ocenę przewodnictwa powierzchniowego zadrukowanych próbek dzianin przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1149-1:2008 – Odzież ochronna. Właściwości elektrostatyczne. Część 1: Metoda badania rezystywności powierzchniowej.

Badaniu poddano dzianiny z naniesionymi nadrukami z past przewodzących oraz próbki po ścieraniu i praniu. Aparaturę pomiarową stanowił układ elektrod składający się z elektrody walcowej i pierścieniowej, umieszczonych względem siebie współ-

osiowo oraz połączone z nimi omomierz. Próbkę każdego z wariantów dzianin umieszczano na płaskiej podstawie elektrody i badano 10-krotnie w różnych miejscach. Następnie obliczono średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe rezystancji dla poszczególnych próbek.

2.2.2. Zastosowane metody badawcze oceny wpływu surowca oraz kompozycji drukującej na komfort sensoryczny

Badanie komfortu sensorycznego próbek dzianin przed i po zadrukowaniu zostało przeprowadzone z wykorzystaniem Kawabata Evaluation System (KES). System ten umożliwia ocenę chwytu całkowitego w oparciu o mierzalne cechy fizyczne i mechaniczne materiałów przeznaczonych na odzież. Kawabata Evaluation System składa się z czterech modułów [19].

Pierwszy moduł umożliwia przeprowadzenie oceny właściwości materiału poprzez jednokierunkowe rozciąganie i ścinanie. Test rozciągania polega na przesuwanie się jednej ze szczęk w kierunku prostopadłym do trzymanego boku próbki, z kolei test ścinania jest realizowany poprzez przesuwanie tej samej szczęki w kierunku równoległym do trzymanego boku próbki. W trakcie badania rejestrowana jest wartość siły rozciągającej oraz wydłużenia w przypadku próby rozciągania i wartość siły ścinającej oraz kąt odkształcenia w przypadku próby ścinania. Test rozciągania jest prowadzony do momentu, w którym siła rozciągająca wynosi 500 N/m, po czym następuje odprężenie próbki [19].

Za pomocą drugiego modułu wyznaczane są właściwości materiałów poddanych czystemu zginaniu. Próbka zakleszczana jest w dwóch zaciskach i poddawana procesowi zginania, w taki sposób, aby krzywizna próbki mieściła się w wartościach $K = 2,5 \text{ cm}^{-1}$ i $K = -2,5 \text{ cm}^{-1}$. Zmiana krzywizny w trakcie testu zginania jest stała i wynosi $0,5 \text{ cm}^{-1}/\text{s}$. Moduł ten rejestruje zmiany momentu gnącego w funkcji krzywizny, dając wykres, w oparciu o który obliczane są: sztywność zginania odniesiona do szerokości próbki oraz wartość szerokości pętli histerezy momentu gnącego odniesioną do szerokości próbki [19].

Kolejny moduł pozwala na wyznaczenie właściwości badanych materiałów poddanych działaniu sił ściskających. Próbka jest ściskana poprzecznie tłokiem z prędkością 0,02 mm/s do momentu osiągnięcia naprężenia ściskającego o wartości 5 kN/m^2 . Podczas testu moduł rejestruje przebieg krzywej ściskania i odprężania, w oparciu o którą możliwa jest ocena wielkości charakteryzujących materiał w trakcie ściskania [19].

Ostatni moduł dokonuje oceny właściwości powierzchniowych materiału. Prowadzony jest tu pomiar chropowatości materiału dzięki stopce, która podczas przesuwania próbki porusza się po nierównościach jej powierzchni [19].

W badaniu tym autorzy wytypowali równanie KN-403-KTU (SUMMER) przeznaczone do badania letniej odzieży damskiej. Wyboru tego dokonano w oparciu o kryteria podziału tkanin przedstawionym w tabeli 2.

Tabela 2. Kryteria podziału tkanin na grupy

Materiały przeznaczone na ubiory damskie		
Rodzaj wskaźnika	Odzież cienka	Odzież średnio- gruba
Grubość przy ciśnieniu 0,05 kN/m ² , To, mm	0,131 - 1,460	0,323 - 2,490
Masa powierzchniowa, W, g/m ²	34,600 - 251,200	93,800 - 429,700
Moduł sztywności zginania odniesiony do szerokości próbki, B, 10-4N m ² /m	0,001 - 0,169	0,016 - 0,368

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19]

Parametrami branymi pod uwagę podczas analizy komfortu sensorycznego były:

- Koshi – sztywność zginania, charakteryzująca np. tekstylia o dużej gęstości lub wykonane z elastycznych przędz,
- Shari – kruchość, objawiająca się ostrym i suchym szelestem podczas pocierania materiału o siebie,
- Fukurami – wypełnienie, związane z grubością i sprężystością materiału
- THV – (ang. Total Hand Value) ocena chwytu całkowitego.

2.2.3. Zastosowane metody badawcze oceny wpływu surowca oraz kompozycji drukującej na właściwości biofizyczne

Ocena oporu cieplnego dzianin przeprowadzona została zgodnie z normą PN-EN ISO 11092:2014 Tekstylia. Właściwości fizjologiczne. Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda pocącej się zaizolowanej ciepłnie płyty).

Badania przeprowadzono na urządzeniu SGHP-8.2 firmy Measurement Technology – umieszczonym w komorze klimatyzowanej zapewniającej warunki pomiarowe (20 ± 0,5°C, 65 ± 3% Rh i przepływie powietrza – 1m/s). Aparatura symuluje proces wymiany ciepła między użytkownikiem a otoczeniem pozwalając na ocenę oporu cieplnego materiału umieszczonego na powierzchni płyty.

Ocena przepuszczalności powietrza została przeprowadzona zgodnie z normą PN-EN ISO 9237:1998 Tekstylia. Wyznaczanie przepuszczalności powietrza wyrobów włókienniczych.

Badania przeprowadzono na aparacie Air Permeability TesterFX 3300, umożliwiający automatyczny i precyzyjny pomiar. Dla każdego wariantu próbek (niezadrukowanych, zadrukowanych pastą z nanorurek węglowych oraz zadrukowanych pastą z nanorurek z dodatkiem polipirołu) wykonano po dziesięć pomiarów.

Ocena odporności na ścieranie dzianin pokrytych pastami przewodzącymi została przeprowadzona zgodnie z normą PN-EN ISO12947-4:2001 Tekstylia. Wyznaczanie

odporności płaskich wyrobów na ścieranie metodą Martindale'a. Ocena zmiany wyglądu.

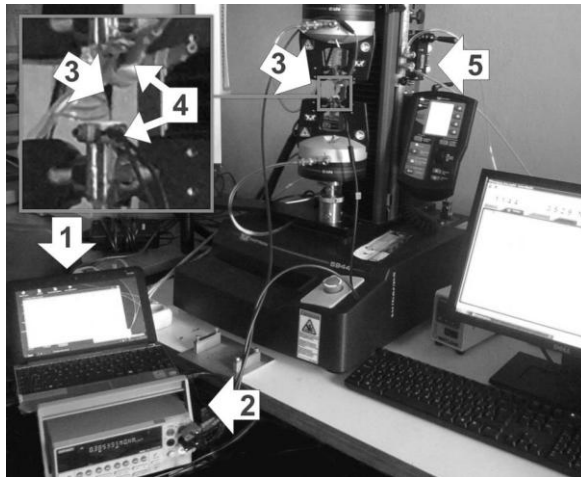
Badanie przeprowadzono w celu oceny zmian w przewodnictwie powierzchniowym zadrukowanych próbek dzianin przed i po teście użytkowym. Przyrządem pomiarowym zastosowanym w tym badaniu był aparat Martindale'a, służący do przeprowadzania testu ścierania płaskich wyrobów włókienniczych oraz testu pillingu.

Badanie odporności wybarwień dzianin zadrukowanych pastami przewodzącymi przeprowadzono zgodnie z normą PN-ISO 105-C06:2010 Tekstyliia. Badania odporności wybarwień. Część C06: Odporność wybarwień na pranie domowe i komunalne.

Badanie zostało przeprowadzone w celu porównania właściwości elektroprzewodzących nadruków przed i po teście użytkowym. Próbkki zadrukowanych dzianin o wymiarach 100x40 mm poddano praniu w czasie 30 minut w temperaturze 40°C.

2.2.4. Zastosowane metody badawcze oceny wpływu surowca oraz kompozycji drukującej na właściwości elektryczne

Głównym celem prowadzonych badań było uzyskanie sensorów czułych na odkształcenia mechaniczne. Czułość zadrukowanych dzianin/sfunkcjonalizowanych na odkształcenia sprężyste oceniano na podstawie zmian rezystancji jakie wywoływał zastosowany bodziec mechaniczny. Kinetyka zmian rezystancji pod wpływem zastosowanego bodźca rejestrowana była przy użyciu multimetru cyfrowego firmy Keithley (rys. 1).



Rysunek 1. Układ pomiarowy do badania reakcji czujników tekstylnych na bodziec mechaniczny (1. Komputer, 2. Multimetr Keithley, 3. Półka, 4. Zestaw elektrod pomiarowych, 5. Zrywarka Instron)
Źródło: [27]

3. Wyniki i dyskusja

Celem badań była ocena właściwości funkcjonalnych zadrukowanych podłoży tekstylnych oraz ocena ich trwałości po procesie użytkowania. Przeprowadzono szereg badań, takich jak:

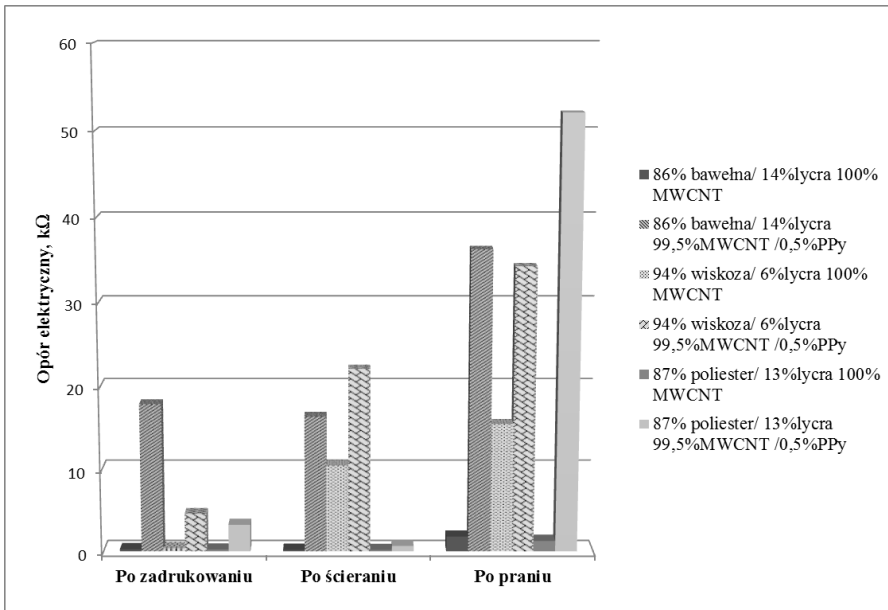
- badanie właściwości przewodzących,
- badanie właściwości sensorycznych na bodziec mechaniczny,
- badanie komfortu sensorycznego,
- badanie właściwości użytkowych.

Ocena właściwości przewodzących nadruków została przeprowadzona zgodnie z metodyką opisaną w punkcie 2.2.1. Badaniu poddano próbki dzianin po zadrukowaniu oraz próbki poddane testom użytkowym, przeprowadzonym zgodnie z metodyką opisaną w punkcie 2.2.3. W tabeli 3 oraz na rysunku 2 przedstawiono wartości średniego oporu elektrycznego.

Tabela 3. Wyniki badań właściwości przewodzących zadrukowanych materiałów tekstylnych

Skład dzianiny	Skład atramentu	Opór elektryczny, k Ω		
		Po zadrukowaniu	Po ścieraniu	Po praniu
86% bawełna/ 14% lycra	100% MWCNT	0,26	0,18	1,82
86% bawełna/ 14% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	17,90	16,39	36,27
94% wiskoza/ 6% lycra	100% MWCNT	0,39	10,49	15,52
94% wiskoza/ 6% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	4,61	22,10	34,25
87% poliester/ 13% lycra	100% MWCNT	0,22	0,17	1,29
87% poliester/ 13% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	3,27	0,66	52,07

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [28]



Rysunek 2. Porównanie średnich wartości oporu elektrycznego badanych próbek dzianin.
Źródło: Opracowanie własne

Analizując wyniki badań, można zaobserwować, że w przypadku dzianin o składzie surowcowym: 86% bawełna/ 14% lycra i/ 87% poliester/ 13% lycra, poddanych testowi ścierania właściwości przewodzące uległy poprawie. Zjawisko to mogło być spowodowane tym, że oba rodzaje dzianin miały wyższą masę powierzchniową i grubość, dzięki czemu w wyniku tarcia drobinki przewodzących polimerów migrowały z miejsc bardziej wystawionych na czynnik trący, do miejsc w których pasta drukarska miała trudniejszy dostęp w czasie wykonywania zadruków. Tego typu zjawisko jest związane z niejednorodną topografią wyrobów tekstylnych. Materiały cechujące się bardziej gładką powierzchnią, narażone są w większych obszarach na stykanie się z medium trącym, niż wyroby o nierównomiernej topografii. W przypadku wszystkich próbek spostrzeżono natomiast pogorszenie właściwości przewodzących po procesie prania, gdzie mniej odporne okazały się być nadruki z pasty z dodatkiem polipirolu.

Badanie przepuszczalności powietrza przeprowadzono zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 2.2.3. Aparat dokonywał obliczeń prędkości przepływu powietrza przechodzącego przez próbkę zgodnie ze wzorem (1).

$$R = \frac{\bar{q}_v}{A} \times 167 \quad (1)$$

gdzie: R – przepuszczalność powietrza, mm/s, \bar{q}_v – średnia arytmetyczna ilości przepływającego powietrza, dm³/min, A – badana powierzchnia wyrobu, cm², 167 – współczynnik przeliczeniowy

W tabeli 4 i na rysunku 3 przedstawiono wartości średniej przepuszczalności powietrza.

Badanie oporu cieplnego przeprowadzono zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 2.2.3. Opór cieplny badanych próbek dzianin obliczano zgodnie z wzorem (2).

$$R_{ct} = \frac{(T_m - T_a) \cdot A}{H - \Delta H_c} - R_{ct0} \quad (2)$$

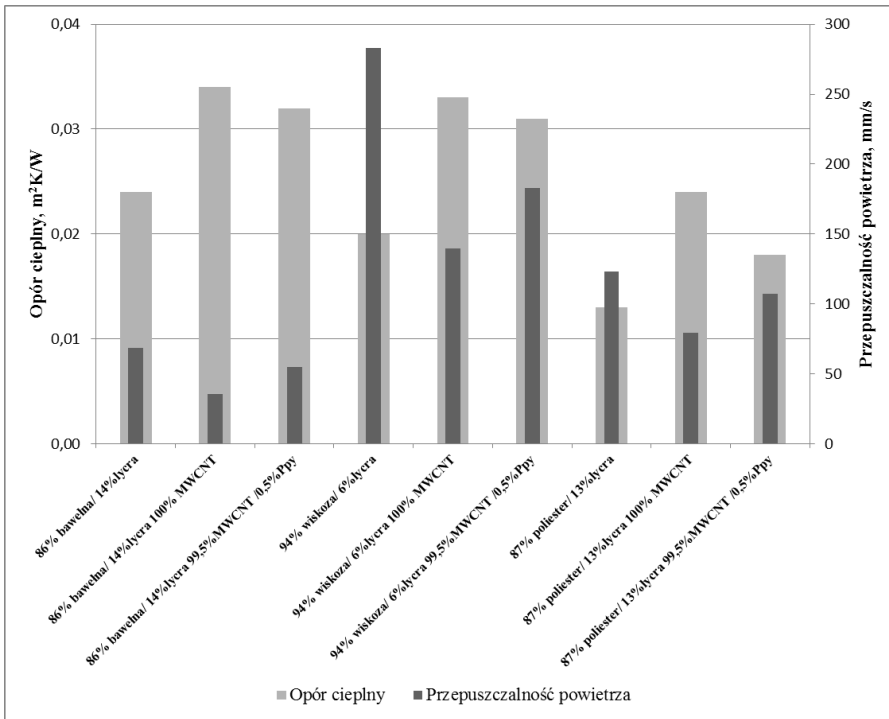
gdzie: R_{ct} – opór cieplny, m^2K/W , T_m – temperatura płyty pomiarowej, $^{\circ}C$, T_a – temperatura powietrza w komorze pomiarowej, $^{\circ}C$, A – powierzchnia płyty pomiarowej, m^2 , H – moc grzejna dostarczana do płyty pomiarowej, W , ΔH_c – poprawka mocy grzejnej, R_{ct0} – opór cieplny niez izolowanej płyty, m^2K/W .

W tabeli 4 przedstawiono wartości średnie oporu cieplnego.

Tabela 4. Wyniki badań przepuszczalności powietrza oraz oporu cieplnego badanych materiałów tekstylnych

Skład dzianiny	Skład atramentu	Przepuszczalność powietrza, mm/s	Opór cieplny, m^2K/W
86% bawełna/ 14% lycra	-	68,800	0,024
86% bawełna/ 14% lycra	100% MWCNT	35,620	0,034
86% bawełna/ 14% lycra	99,5%MWCNT /0,5%PPy	54,780	0,032
94% wiskoza/ 6% lycra	-	283,000	0,020
94% wiskoza/ 6% lycra	100% MWCNT	139,600	0,033
94% wiskoza/ 6% lycra	99,5%MWCNT /0,5%PPy	182,600	0,031
87% poliester/ 13% lycra	-	123,000	0,013
87% poliester/ 13% lycra	100% MWCNT	79,090	0,024
87% poliester/ 13% lycra	99,5%MWCNT /0,5%PPy	107,480	0,018

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [28]



Rysunek 3. Zestawieni wyników badań oporu cieplnego i przepuszczalności powietrza
 Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że dzianina o składzie surowcowym 94 % wiskoza/ 6 % lycra, charakteryzuje się najwyższą przepuszczalnością powietrza na poziomie 283 mm/s i najniższym oporem cieplnym – 0,02 m²K/W. Zaobserwowano również, że nadruk na bazie MWCNT w większym stopniu wpływał na obniżenie przepuszczalności powietrza dzianin i wzrost oporu cieplnego, niż nadruk z pasty z dodatkiem polipirolu. Najniższą przepuszczalnością powietrza charakteryzowała się dzianina o składzie surowcowym 86% bawełna/ 14% lycra, zadrukowana MWCNT – 35,62 mm/s.

Badanie komfortu sensorycznego przeprowadzono zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 2.2.2. Wyniki badań zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki analizy komfortu sensorycznego

Skład dzianiny	Skład atramentu	Koshi	Shari	Fukurami	THV
86% bawełna/ 14% lycra	-	11,59	13,14	0,40	2,74
86% bawełna/ 14% lycra	100% MWCNT	15,29	13,84	2,39	3,80
86% bawełna/ 14% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	14,48	13,88	2,60	3,60
94% wiskoza/ 6% lycra	-	8,64	14,85	2,68	1,44
94% wiskoza/ 6% lycra	100% MWCNT	10,88	13,11	1,60	2,15
94% wiskoza/ 6% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	11,08	11,64	0,73	2,79
87% poliester/ 13% lycra	-	8,35	14,28	1,20	2,11
87% poliester/ 13% lycra	100% MWCNT	14,54	13,62	3,00	3,76
87% poliester/ 13% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	14,60	14,05	1,86	3,66

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [28]

Analizując powyższe dane można zaobserwować, że chwyt ulega poprawie w związku z wykonaniem zadruków na powierzchni tekstylnej. Dla dzianiny o składzie surowcowym 87% poliester/ 13% lycra, chwyt (THV) wzrasta z 2,11 do 3,76 po zadrukowaniu MWCNT. Zaobserwowano ponadto, że poza dzianiną o składzie surowcowym 94% wiskoza/ 6% lycra, THV wzrasta mocniej po zadrukowaniu próbek pastą z nanorurek węglowych niż po zadrukowaniu pastą z dodatkiem polipirołu. W przypadku sztywności zginania – Koshi najwyższą wartością, charakteryzowała się dzianina o składzie surowcowym 86% bawełna/ 14% lycra, było to spowodowane największym procentowym udziałem przędz elastycznych. Zaś analizując parametry Shari i Fukurami w przypadku dzianiny 94% wiskoza/ 6% lycra, obserwowano pogorszenie się tych parametrów dla Fukurami z 14,85 do 11,64 po zadrukowaniu kompozycją drukarską 99,5% MWCNT /0,5% PPy oraz Shari z 2,68 do 0,73 dla tego samego układu.

Ocena właściwości sensorycznych badanych dzianin została przeprowadzona zgodnie z metodyką opisaną w punkcie 2.2.4. Współczynnik sensoryczności dla poszczególnych cykli naprężania i odprężania próbek obliczono zgodnie ze wzorem (3):

$$R_{rel} = \frac{R-R_0}{R_0} \times 100 \quad (3)$$

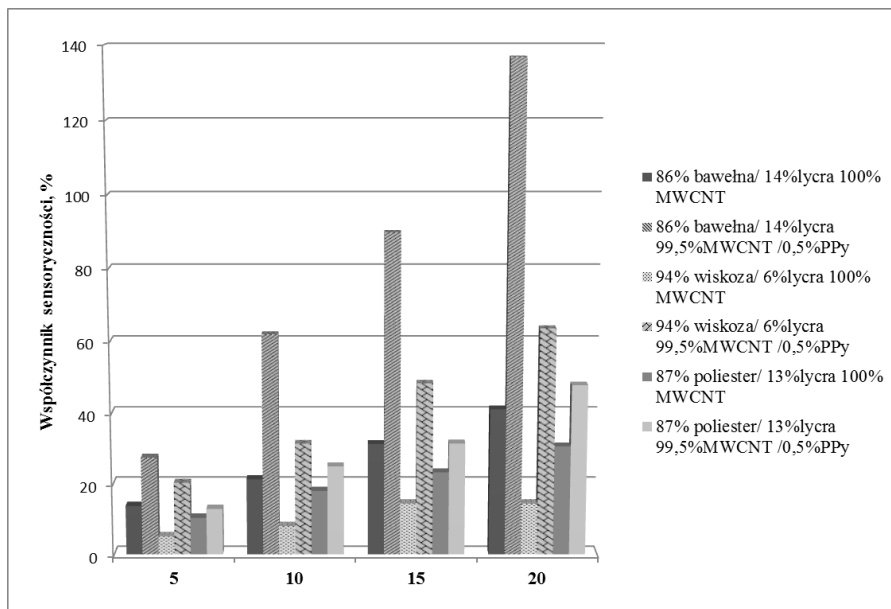
gdzie: R_{rel} – współczynnik sensoryczności, %, R_0 – opór początkowy w pojedynczym cyklu, Ω , R – opór końcowy w pojedynczym cyklu, Ω .

Następnie z uzyskanych wyników obliczono średnią arytmetyczną współczynnika sensoryczności dla poszczególnych wariantów dzianin podczas testu naprężania i odprężania próbek na odległość 5 mm, 10 mm, 15 mm i 20 mm. W tabeli 6 przedstawiono wyniki współczynników sensoryczności, odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności właściwości sensorycznych poszczególnych wariantów dzianin.

Tabela 6. Wyniki badań współczynnika sensoryczności na bodziec mechaniczny

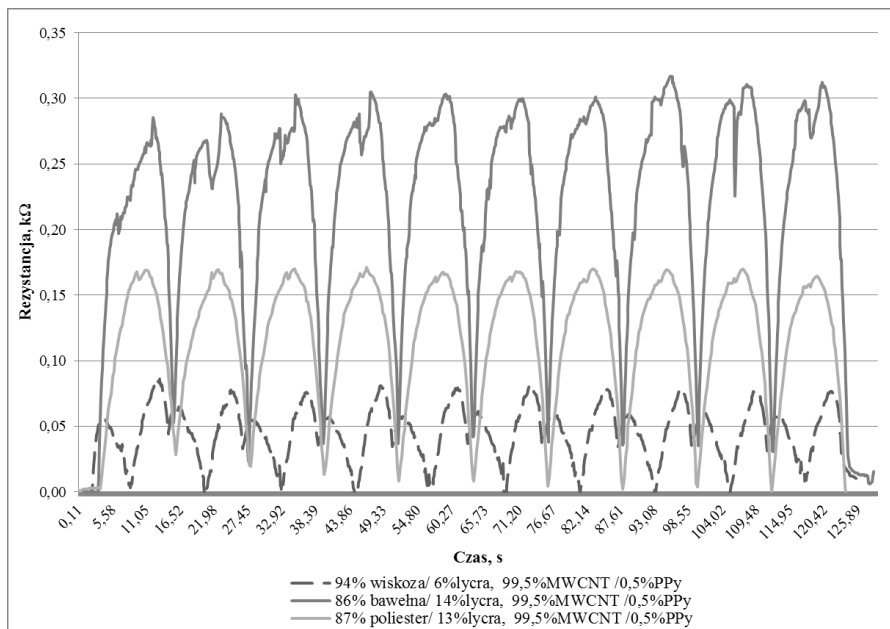
Skład dzianiny	Skład atramentu	Współczynnik sensoryczności, %			
		Odległość rozciągania, mm			
		5	10	15	20
86% bawełna/ 14% lycra	100% MWCNT	13,81	21,39	31,37	41,12
86% bawełna/ 14% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	27,49	61,93	89,89	136,91
94% wiskoza/ 6% lycra	100% MWCNT	5,16	8,09	14,52	14,49
94% wiskoza/ 6% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	20,37	31,42	48,34	63,56
87% poliester/ 13% lycra	100% MWCNT	10,45	18,10	23,34	30,70
87% poliester/ 13% lycra	99,5% MWCNT /0,5% PPy	12,98	25,05	31,52	47,85

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [28]



Rysunek 4. Zestawieni wyników badań współczynnika sensoryczności.
Źródło: Opracowanie własne

Analizując dane przedstawione w tabeli 6 i rysunku 4, można stwierdzić, że większą czułością na bodziec mechaniczny charakteryzują się próbki zadrukowane pastą z dodatkiem polipirolu niż próbki pokryte pastą z samymi nanorurkami. Najwyższymi wartościami współczynnika sensoryczności odznaczała się próbka dzianiny o składzie surowcowym 86% bawełna/ 14% lycra pokryta pastą o składzie 99,5% MWCNT /0,5% PPy – 61,93% dla odległości rozciągania 10mm, 136,91% dla odległości rozciągania 20mm. Najmniejszą czułością charakteryzowała się próbka dzianiny oznaczona 94% wiskoza/ 6% lycra pokryta 100% MWCNT – 8,09% dla odległości rozciągania 10mm, 14,49% dla odległości rozciągania 20mm.



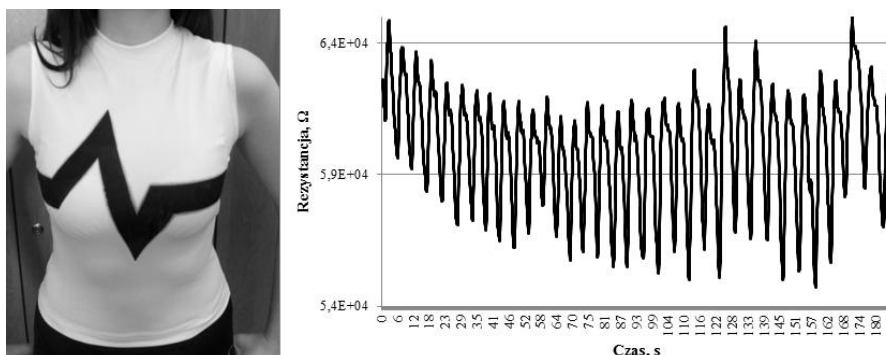
Rysunek 5. Przebieg zmian rezystancji w trakcie badania czułości sensorycznej.

Źródło: Opracowanie własne

Analizując powyższy wykres, można zauważyć, że próbki o składzie surowcowym 86% bawełna/ 14% lycra, charakteryzowały się najwyższą sensorycznością dla rozciągu 10%, o czym świadczą zmiany rezystancji w trakcie odkształcania dzianiny. Ponadto w przypadku dzianiny o składzie surowcowym 87% poliester/ 13% lycra, można zauważyć, że charakteryzowała się ona najlepszą powtarzalnością – była najbardziej rewersyjna. Każdy cykl rozciągania i relaksacji był prawie identyczny, może to oznaczać, że zawartość lycry w tym przypadku była najbardziej optymalna. Zaobserwowano również, że w przypadku dzianiny o składzie surowcowym 87% poliester/ 13% lycra, występowało najmniej zakłóceń, dlatego też wykres nie posiada poszarpanych wierzchołków występujących przy maksymalnym rozciągnięciu, widocznych dla dzianin o składzie surowcowym 86% bawełna/ 14% lycra i 94% wiskoza/ 6% lycra. Przeprowadzone badania, ich analiza oraz fakt, że przygotowane czujniki działały w sposób cykliczny i powtarzalny, co prezentuje rysunek 5, autorzy opracowali czujnik do pomiaru pneumografii w formie koszulki.

Po przeanalizowaniu wyników wszystkich badań stwierdzono, że optymalnym wariantem będzie połączenie dzianiny o składzie surowcowym 87% poliester/ 13% lycra oraz nadruku z pasty 99,5%MWCNT /0,5%PPy do wykonania koszulki do pomiarów częstotliwości oddechu. Wybór dzianiny uzasadniono jej właściwościami biofizycznymi, takimi jak najniższy spośród badanych materiałów opór cieplny na poziomie 0,013 m²K/W, dobra przepuszczalność powietrza -123,00 mm/s, które najbardziej odpowiadają potencjalnemu przeznaczeniu koszulki na wyroby sportowe.

Wyroby tego typu powinny charakteryzować się dobrą oddychalnością oraz oporem cieplnym zapobiegającym przegrzaniu organizmu użytkownika. Ponadto spostrzeżono, że w przypadku dzianiny poliestrowej wykonanie nadruku przewodzącego w najmniejszym stopniu wpływało na zmiany właściwości biofizycznych oraz w największym stopniu wpłynęło na poprawę oceny chwytu całkowitego z 2,11 do 3,66. Zaś kompozycja atramentowa z dodatkiem polipirołu miała korzystny wpływ na współczynnik sensoryczności na bodziec mechaniczny. Na rysunku 6 przedstawiono koszulkę do pomiarów pneumografii wraz z wykresem ilustrującym reakcje spowodowane zmianą objętości klatki piersiowej.



Rysunek 6. Koszulka do pomiarów pneumografii. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [28]

Z badań przeprowadzonych przy użyciu koszulki wynika, że częstotliwość oddechu wynosi około 12 oddechów na minutę, co stanowi prawidłowy pomiar dla zdrowego człowieka. Ponadto przeprowadzone badania pozwoliły zaobserwować, że kształt wykonanego wydruku w sposób pozytywny wpływa na jakość uzyskiwanych wyników w trakcie prowadzenia badań dynamicznych. Badania prowadzone były zarówno w stanie spoczynku oraz w ruchu i nie występowały przerwy w przekazaniu danych, co niejednokrotnie autorzy obserwowali w przypadku czujników komercyjnych wykonanych w formie pasa. Komercyjne pasy w trakcie biegu lub szybkiego chodzenia potrafiły się przesunąć i przestać zbierać sygnał. Czujniki wykonane przez autorów nawet w trakcie ruchu zbierały cały czas wyniki pomiarów w sposób prawidłowy i nieprzerwalny. Jest to wynikiem szerokiego wzoru w kształcie EKG sięgającego z jednej strony powyżej biustu z drugiej poniżej biustu. Przesunięcie nadruku w jednym miejscu pozwalało na zbieranie sygnału w innym miejscu nadruku w sposób ciągły.

4. Wnioski

Technika druku filmowego stanowi doskonałe rozwiązanie technologiczne do tworzenia czujników służących do pomiarów pneumografii. Analiza badań przedstawionych w artykule pozwala stwierdzić, że metody druku filmowego do wytworzenia tekstylnych czujników rezystancyjnych, umożliwiając w szybki i nieinwazyjny sposób wytworzyć inteligentne tekstylia przydatne w monitorowaniu parametrów życiowych.

Należy jednak pamiętać, że nanoszenie past drukarskich na powierzchnie tekstylne powoduje obniżenie przepuszczalności powietrza, co najlepiej ilustruje przykład dzianiny o składzie surowcowym 94% wiskoza/ 6% lycra, która przed nadrukiem wynosiła 283,00 mm/s a po zadrukowaniu kompozycją o składzie 100% MWCNT – 139,60 mm/s. Zaś opór cieplny analogicznie wzrastał z 0,020 m²K/W do 0,033 0,020 m²K/W. W związku z powyższym należy pamiętać, aby wydruki wykonywać w taki sposób, aby miały jak najmniejszy wpływ na komfort biofizyczny użytkownika.

Analizując badania komfortu sensorycznego zaobserwowano, że po naniesieniu na powierzchnię dzianin nadruków wzrasta ich chwyt całkowity (THV). W przypadku dzianiny o składzie 94% wiskoza/ 6% lycra dla niezadrukowanej dzianiny wynosił on 1,44, a po zadrukowaniu kompozycją 99,5%MWCNT /0,5%PPy wzrósł do 2,79. Na tego typu zachowanie wpływ miał fakt, że po wykonaniu wydruków poprawiły się parametry związane ze sztywnością zginania, kruchością oraz wypełnieniem.

Najlepszymi właściwościami sensorycznymi na bodziec mechaniczny charakteryzowały się dzianiny zadrukowane kompozycją 99,5%MWCNT /0,5%PPy. Działania o składzie surowcowym 86% bawełna/ 14% lycra zadrukowana kompozycją 100% MWCNT wykazywała czułość na poziomie 31,37% dla rozciągania o 15%, zaś zadrukowana 99,5%MWCNT /0,5%PPy- 89,89% dla tej samej odległości. Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że współczynnik sensoryczności wzrasta liniowo wraz z odległością rozciągania.

Bardzo ważną cechą tak przygotowanych czujników jest to, że mogą ulegać stosunkowo dużym odkształceniom sprężystym. Zarówno zginanie jak i rozciąganie podłoża tekstylnego nie wpływa negatywnie na sygnał przesyłany przez czujnik. Ponad to czujniki tego typu mogą pracować w sposób ciągły bez uszczerbku na poprawności przekazywanych danych.

Przeprowadzona analiza badań pozwala stwierdzić, że na jakość przesyłanego sygnału nie wpływa w sposób istotny kształt wydruku, co potwierdza fakt wykonania wydruków w kształcie prostokątów do badań symulowanych za pomocą maszyny wytrzymałościowej Instron oraz wydruków wykonanych na koszulce w kształcie sygnału EKG, ale tylko w przypadku badań prowadzonych w warunkach statycznych. Należy jednak pamiętać, że wyroby inteligentne służące do monitorowania zdrowia powinny być spersonalizowane w taki sposób, aby dokładnie przylegały do ciała i nie powodowały nadmiernego ucisku na klatkę piersiową.

Analiza badań uwypukliła również, istniejące niedoskonałości związane z codziennym użytkowaniem odzieży, nad którymi autorzy będą dalej pracowali. Wyroby tekstylne w przeciwieństwie do sztywnych układów elektronicznych stosowanych aktualnie w służbie zdrowia, są elementami wielorazowego użytku, narażonymi na procesy tarcia w trakcie użytkowania i wymagającymi konserwacji (prania). W związku z powyższym stawiane im są wyższe wymagania niż jednorazowym elektrodom. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że należy przeprowadzić bardziej szczegółowe badania związane z połączeniem kompozycji drukarskich z podłożami tekstylnymi. Jest to związane z faktem, że surowce polimerowe mają różne napięcie powierzchniowe, co w sposób bezpośredni wiąże się z trwałymi połączeniami pomiędzy podłożem a nadrukiem.

Podziękowania

Prace badawcze były finansowane ze środków przeznaczonych na działalność statutową 14-148-1-2117 Politechniki Łódzkiej, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej.

Literatura

1. Catrysse M., Puers R., Hertleer C., Van Langenhove L., van Egmond H., Matthys D. *Towards the integration of textile sensors in a wireless monitoring suit*, Sensors and Actuators A-Physical, 114, (2004), s. 302-311.
2. Wlasny I., Rogala M., Dabrowski P., Kowalczyk P.J., Busiakiewicz A., Kozłowski W., Lipinska L., Jagiello J., Aksienionek M., Sieradzki Z., Krucinska I., Puchalski M., Skrzetuska E., Draczynski Z., Klusek Z. *Finding optimal HBr reduction of inkjet printed graphene oxide for flexible electronics*, Materials Chemistry and Physics, 181, (2016), s. 409-414.
3. Rogala M., Wlasny I., Dabrowski P., Kowalczyk P.J., Busiakiewicz A., Kozłowski W., Lipinska L., Jagiello J., Aksienionek M., Strupiński W., Krajewska A., Sieradzki Z., Krucinska I., Puchalski M., Skrzetuska E., Klusek Z. *Graphene oxide overprints for flexible and transparent electronics*, Applied Physics Letters, 106, 4, (2015), s. 041901.
4. Skrzetuska E., Puchalski M., Krucińska I. *Chemically Driven Printed Textile Sensors Based on Graphene and Carbon Nanotubes*, Sensors, 14, 9 (2014), s. 16816-16828.
5. Krucińska I., Skrzetuska E., Urbaniak-Domagala W. *Prototypes of Carbon Nanotube-Based Textile Sensors Manufactured by the Screen Printing Method*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 20, 2, (2015), s. 79-83.
6. Torrisi F., Hasan T., Wu W., Sun Z., Lombardo A., Kulmala T.S., Hsieh G.W., Jung S., Bonaccorso F., Paul P.J., Chu D., Ferrari A.C. *Inkjet-Printed Graphene Electronics*, ACS Nano, 6, (2012), s. 2992-3006.
7. Cie Ch. *Ink Jet Textile Printing*, Woodhead Publishing, (2015), ISBN: 9780857092304.
8. Sirringhaus H., Kawase T., Friend R.H., Shimoda T., Inbasekaran M., Wu W., Woo E.P. *High-resolution inkjet printing of all-polymer transistor circuits*, Science, 290, (2000), s. 2123-2126.
9. Shaheen S.E., Radspinner R., Peyghambarian N., Jabbour G.E. *Fabrication of bulk heterojunction plastic solar cells by screen printing*, Applied Physics Letters, 79, 18, (2001), s. 2996-2998.
10. Lu H., Yi H., Jiajie L., Xiangjian W., Yongsheng Ch. *Graphene-based conducting inks for direct inkjet printing of flexible conductive patterns and their applications in electric circuits and chemical sensors*, Nano Research, 4,7, (2011), s. 675-684.
11. Wei T., Ruan J., Fan Z.J., Luo G.H., Wei F. *Preparation of a carbon nanotube film by ink-jet printing*, Carbon, 45, (2007), s. 2712-2716.
12. Krucińska I., Skrzetuska E., Urbaniak-Domagala W. *Printed Textiles with Chemical Sensor Properties*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 22, 4, (2014), s. 68-72.
13. Furtak N.T., Skrzetuska E., Krucińska I. *Development of Screen-Printed Breathing Rate Sensors*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 21, 6, (2013), s. 84-88.
14. Krucińska I., Skrzetuska E., Urbaniak-Domagala W. *The Use of Carbon Nanotubes in Textile Printing*, Journal of Applied Polymer Science, 121, 1, (2011), s. 483-490.
15. Skrzetuska E., *Trendy rozwojowe w tekstronice-Rozwiązania tekstroniczne dla ochrony zdrowia*, Przegląd Elektrotechniczny, 4, (2014), s. 34-40.

16. Pałko T., Pawlicki WG.. *Reografia impedancyjna, Problemy Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej*, Tom 2 Biopomiary, Wydawnictwo EXIT, Warszawa, (2001).
17. Paul G., Torah R., Beeby S., Tudor J. *Novel active electrodes for ECG monitoring on woven textiles fabricated by screen and stencil printing*, *Sensors and Actuators A*, 221, (2015) s. 60-66.
18. Yang K., Freeman C., Torah R., Beeby S., Tudor J. *Screen printed fabric electrode array for wearable functional electrical stimulation*, *Sensors and Actuators A*, 213, (2014) s. 108-115.
19. Konecki W., Krucińska I., Michalak M. *Systemy pomiarowe we włókiennictwie*, Politechnika Łódzka, Podręczniki Akademickie, Łódź 2006.
20. Song G. *Improving Comfort In Clothing*, Woodhead Publishing, Philadelphia 2011.
21. Gupta AK. *Respiration Rate Measurement Based on Impedance Pneumography*, Texas Instruments, (2011).
22. Singh A, Chaudhary A. *Human Breathing Rate Measurement Techniques*, *International Journal of Recent Scientific Research*, 4 (2016), s. 10102-10104.
23. Grenviket A. *Impedance Pneumography. Comparison between Chest Impedance and Respiratory*, *Healthy Volunteers*. American College of Chest Physicians, 11, (1972), s. 30-38.
24. Sinha PK., Koshy T. *Monitoring Devices for Measuring the Depth of Anaesthesia- An Overview*, *Indian Journal of Anaesthesia*, 51,5, (2007), s. 365-381.
25. Nanocyl, karta charakterystyki nanorurek węglowych NC7000™, <http://www.nanocyl.com/wp-content/uploads/2016/07/DM-TI-02-TDS-NC7000-V08.pdf>, data pobrania 20.06.2017r.
26. Nanocyl, karta charakterystyki wodnej dyspersji nanorurek węglowych AQUACYL™ AQ0302, <http://www.nanocyl.com/wp-content/uploads/2016/02/Technical-Data-Sheet-AQUACYL-AQ0302-V03.pdf>, data pobrania 20.06.2017r.
27. Skrzetuska E. Rozprawa doktorska: *Badania nad wytworzeniem funkcjonalnych nanomateriałów w postaci dyspersji wodnych i ich deponacją na podłoża tekstylne*, 2013.
28. Kopka K. Praca inżynierska: *Wytworzenie i analiza czujnika do pomiaru częstotliwości oddechu z wykorzystaniem technik drukarskich*, Politechnika Łódzka, 2017.

Technika druku filmowego – rozwiązanie technologiczne do tworzenia czujnika do pomiarów pneumografii

Streszczenie

Autorzy w swoich pracach rozważali wykorzystanie technik drukarskich w tworzeniu sensorów odkształceń służących do pomiaru pneumografii. W założeniu drukowane czujniki elektroprzewodzące mają być wygodniejsze w użytkowaniu, elastyczne, niekrepujące ruchów, a przy tym czulsze i dawać adekwatne wyniki pomiaru.

W pracy przeprowadzono analizę wpływu surowca wykorzystanego podłoża tekstylnego na właściwości przewodzące uzyskanych wydruków oraz wpływu składu pasty drukarskiej na właściwości sensoryczne dzianiny. W tym celu wytworzono sensory odkształceń do pomiarów impedancji elektrycznej klatki piersiowej oraz przeprowadzono badania komfortu biofizycznego i sensorycznego podłoża tekstylnych przed i po procesie zadruku.

Zastosowano znormalizowane metody badawcze mające odpowiedzieć na pytanie jak wpływa proces zadruku na komfort sensoryczny i właściwości biofizyczne. Do tego celu przeprowadzono badania za pomocą Kawabata Evaluation System i pocącej się zaizolowanej ciepłnie płyty. Ponadto przeprowadzono badania właściwości przewodzących celem których było zweryfikowanie poprawności działania sensorów odkształceń. Badania te przeprowadzono za pomocą układu do pomiaru badania reakcji czujników na bodziec mechaniczny. W artykule zestawiono wyniki badań dla zadrukowanych podłoży tekstylnych przy użyciu kompozycji drukarskich na bazie nanorurek węglowych i polipirolu, przed i po procesach użytkowych oraz czułości sensorycznej na bodziec mechaniczny.

Słowa kluczowe: druk filmowy, tekstronika, sensory, pneumografia

Screen printing technique - a technological solution for creating a sensor for pneumography measurement

Abstract

The authors in their work considered the use of printing techniques in the creation of strain sensors for the measurement of pneumography. Ideally, the printed sensors should be more comfortable to use, flexible, unhindered, and more responsive to the measurement results.

The paper analyzes the influence of the raw material used on the textile substrate on the conductive properties of the obtained prints and on the influence of the composition of the printing paste on the sensory properties of the fabric. For this purpose, deformation sensors for electrical impedance measurements of the thoracic cavity and biophysical and sensory comfort of textile substrates was tested before and after the printing process.

Standardized research methods have been used to answer the question of how the printing process affects sensory comfort and biophysical properties. To this end, studies were performed using the Kawabata Evaluation System and sweating heat-insulated plates. In addition, conductivity tests were conducted to verify the correctness of the deformation sensors. These tests were carried out using a system for measuring sensor response tests on mechanical stimulus. This article summarizes the results of research on printed textile substrates using carbon-based and polypropylene carbon-based printing compositions, before and after application processes and sensory sensitivity to mechanical stimuli.

Key words: screen printing, textronic, sensors, pneumography

Termoemisyjne generatory energii elektrycznej – problemy, rozwiązania, zastosowania

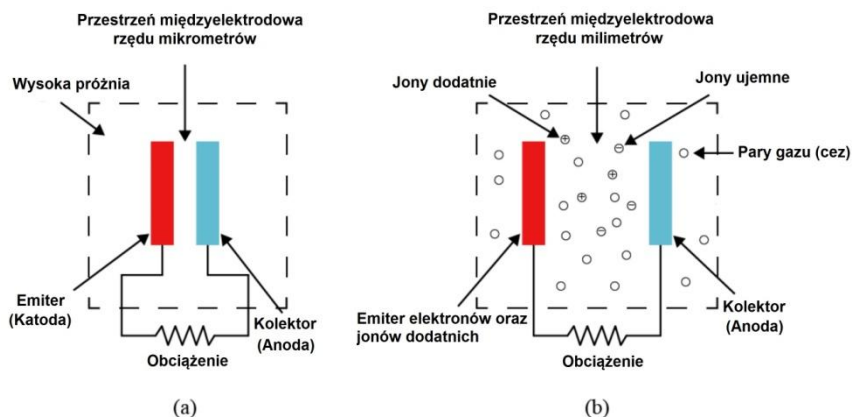
1. Wprowadzenie

Obecnie w Polsce energia elektryczna produkowana jest przede wszystkim z paliw kopalnych – węgla kamiennego i brunatnego. Skończona ilość tych paliw każe szukać alternatywnych źródeł energii, a także sposobów poprawy sprawności generatorów energii elektrycznej. W ostatnich dziesięcioleciach rozwijane były m.in. technologie pozyskiwania energii słonecznej poprzez ogniwa słoneczne czy fotowoltaikę. Jednak ostatnimi czasy zauważa się zwiększenie zainteresowania naukowców innymi formami przetwarzania energii elektrycznej – bezpośrednią konwersją łatwo dostępnej energii cieplnej w energię elektryczną. Jedną z tych metod jest generacja energii elektrycznej na bazie zjawiska termoemisyjii elektronowej odkrytego w 1882 roku przez Edisona [1]. Efektywna, bezpośrednia konwersja energii cieplnej w elektryczną może stać się bardzo dobrą alternatywą dla konwencjonalnych generatorów, ponieważ nie występują tu straty mechaniczne i nie występują elementy ruchome, które ulegają zużyciu. Ponadto generatory te są kompaktowe, oferują wysoką gęstość mocy, bezgłośną pracę, długą żywotność i nie zanieczyszczają środowiska. Technologia termoemisyjnych generatorów energii elektrycznej (ang. *Thermionic Energy Converter*, TEC) została odkryta i opisana w latach 50. XX wieku [2], jednak rozwój tego typu generatorów był skutecznie powstrzymany przez główny problem TEC, jakim jest występowanie ładunku przestrzennego ograniczającego sprawność. Po latach znów widać zainteresowanie naukowców tą technologią ze względu na postęp technologiczny, który może pomóc w rozwiązaniu problemów konstrukcyjnych TEC.

Niedługo po opracowaniu technologii TEC zaproponowano podział na generatory próżniowe i parowe. Generator próżniowy posiada elektrody umiejscowione w wysokiej próżni, blisko siebie w odległości rzędu kilku do kilkudziesięciu mikrometrów (rys. 1a). W generatorach parowych odległość elektrod ma mniejsze znaczenie tzn. może być większa, z drugiej strony przestrzeń między nimi wypełniona jest zjonizowanymi parami (np. cezu) przy niskim ciśnieniu (rys. 1b). Pary łatwo jonizującego się cezu eliminują problem ładunku przestrzennego, a z drugiej strony zwiększają przewodność cieplną pogarszając warunki przetwarzania.

Próżniowe generatory są znacznie trudniejsze w praktycznej realizacji, ale potencjalne sprawności są większe, w przypadku generatorów parowych obecne konstrukcje dają większe sprawności, ale teoretyczny limit jest mniejszy.

¹ b.kania@pollub.pl, Katedra Automatyki i Metrologii, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska



Rysunek 1. Schemat ogólny termoemisyjnego generatora energii elektrycznej: a) próżniowego, b) parowego [opracowanie własne na podstawie 2]

2. Zasada działania

Termoemisyjny generator energii elektrycznej w swojej podstawowej formie składa się z elektrod, tj. gorącej katody zwanej także emiterym i chłodniejszej anody zwanej kolektorem umieszczonych w bliskiej odległości w próżni, wyprowadzeń elektrycznych, zewnętrznego połączenia elektrycznego (rys. 1.). Katoda musi mieć dostatecznie wysoką temperaturę, aby samoczynnie emitowała wysokiej energii elektrony, natomiast anoda musi mieć znacznie mniejszą temperaturę, aby zminimalizować emisję zwrotną elektronów. Źródło ciepła dołączone jest do katody, zapewniając energię dla elektronów mających wykonać pracę. Z kolei anoda może być chłodzona w celu zapewnienia możliwie dużej różnicy temperatur między katodą i anodą.

Elektrony w warstwie walencyjnej atomów katody pozostają swobodne, ale nie mogą wyrwać się z jej powierzchni, ponieważ są hamowane przez barierę potencjału nazywaną pracą wyjścia. Innymi słowy praca wyjścia to energia, jaką należy dostarczyć do elektronu, aby był w stanie opuścić atom w kierunku próżni. W przypadku, gdy energia cieplna jest dostarczana do katody energia kinetyczna elektronów wzrasta. Jeśli dostarczona została dostateczna energia elektrony są w stanie pokonać barierę potencjału. Wyemitowane elektrony są odbierane przez anodę, co powoduje nagromadzenie ujemnego ładunku na anodzie, a tym samym powstawanie dodatniego ładunku na katodzie. Powstaje między nimi różnica potencjałów, która zwarta w zewnętrznym obwodzie spowoduje przepływ prądu elektrycznego. W takim układzie można traktować TEC jak silnik cieplny, wówczas część energii cieplnej przetwarzana jest na energię elektryczną, a część odbierana przez chłodzenie anody.

Teoretyczny limit sprawności może zostać wyznaczony ze sprawności silnika Carnot'a, która może zostać zapisana jako:

$$\eta = 1 - \frac{T_a}{T_k} \quad (1)$$

gdzie η to teoretyczna sprawność, T_a to temperatura anody, T_k to temperatura katody [3]. Maksymalna temperatura katody jest ograniczona przez temperaturę topnienia materiału, z którego jest wykonana. Teoretycznie TEC mogą osiągać bardzo wysoką sprawność dzięki dużej różnicy temperatur, jednak w rzeczywistości ograniczona jest przez problemy konstrukcyjne.

Emisja elektronów z ciała stałego może odbywać się na 3 sposoby. Pierwszy z nich to termoemisja (ang. *Thermionic Emission*, TE), która występuje, gdy elektrony osiągają odpowiednio wysoką energię dzięki energii cieplnej dostarczonej do ciała. Jest to sposób emisji elektronów, na którym bazuje mechanizm działania termoemisyjnych generatorów energii. Oprócz termoemisji elektrony mogą być emitowane dzięki fotoemisji (ang. *photoemission*, PE), gdzie energia elektronu potrzebna do jego emisji dostarczana jest poprzez fale elektromagnetyczne, np. światło. Trzeci sposób zwiększenia emisji elektronów to zmniejszenie potencjału jaki muszą osiągnąć, aby ulec emisji, poprzez wprowadzenie zewnętrznego pola elektrycznego. W praktycznych rozwiązaniach TEC spotyka się konstrukcje wykorzystujące oprócz termoemisji także fotoemisję (PETE), jak również układy wykorzystujące napięcia przyspieszające.

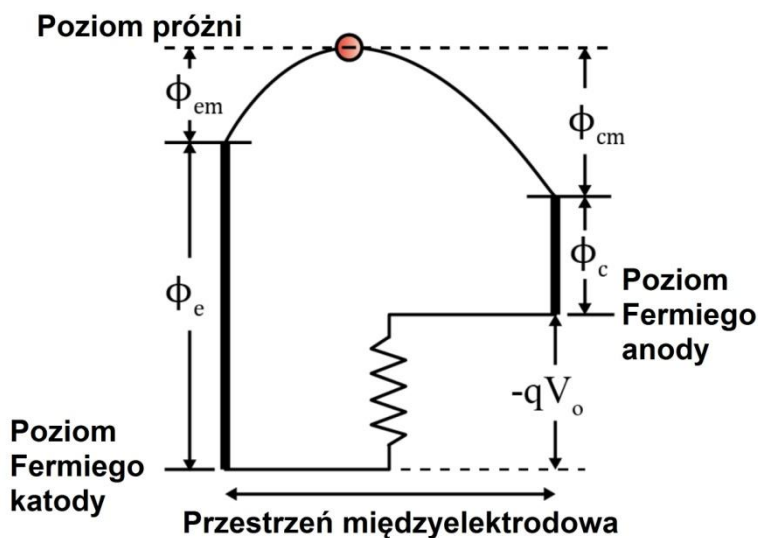
W przypadku termoemisji gęstość prądu elektronowego opisana jest wzorem (2):

$$J = AT^2 e^{\left(\frac{-\phi}{kT}\right)} \quad (2)$$

gdzie T jest bezwzględną temperaturą ciała, ϕ jest pracą wyjścia materiału, k to stała Boltzmann'a, A jest stałą Richardson'a typową dla danego materiału [4]. Jak wynika ze wzoru (2), na gęstość prądu termoemisji największy wpływ ma praca wyjścia oraz temperatura materiału. W najlepszym wypadku praca wyjścia powinna być możliwie niska, a temperatura możliwie wysoka.

3. Główne problemy i ich rozwiązania

Jak już wspomniano, na wartość prądu termoemisji ma wpływ m.in. praca wyjścia. Jest to parametr bezpośrednio zależny od materiału elektrody, często jest też zależny od temperatury. Praca wyjścia to minimalna ilość energii wymaganej do wyemitowania elektronu z ciała stałego w kierunku próżni. W przypadku termoemisyjnych generatorów energii elektrycznej stanowi ona barierę, która utrudnia emisję elektronów. Wpływ pracy wyjścia na poziom napięcia wyjściowego zaprezentowany został na rys. 2.



Rysunek 2. Diagram energetyczny termoemisyjnego generatora energii: φ_e – praca wyjścia emitera (katody), φ_c – praca wyjścia kolektora (anody), φ_{em} , φ_{cm} – dodatkowe bariery wynikające z obecności ładunku przestrzennego wokół emitera i kolektora, V_o – różnica napięć pomiędzy elektrodami, $-q$ – ładunek elektronu [opracowanie własne na podstawie 2].

Jak wynika z przedstawionego rozkładu potencjałów, aby elektrony, wyemitowane z katody, dotarły do anody muszą mieć energię co najmniej równą $\varphi_c + qV_o + \varphi_{cm}$, gdzie q – ładunek elektronu. Natężenie I_c prądu katoda-anoda można zapisać następująco:

$$I_c = SA_0 T_c^2 \exp\left(-\frac{\varphi_c + \varphi_{cm} + qV_o}{k T_c}\right) \quad (3)$$

gdzie: S – powierzchnia katody, A_0 – stała Richardsona, T_c – temperatura katody. Z kolei emisja elektronów z anody do katody może wystąpić, jeżeli elektrony posiadają energię równą co najmniej $\varphi_c + \varphi_{cm}$, stąd natężenie prądu anoda-katoda opisuje poniższe wyrażenie:

$$I_a = SA_0 T_a^2 \exp\left(-\frac{\varphi_c + \varphi_{cm}}{k T_a}\right) \quad (4)$$

gdzie T_a – temperatura anody. Natężenie prądu płynącego w obciążeniu R jest różnicą natężeń I_c oraz I_a :

$$I = I_c - I_a = SA_0 T_c^2 \exp\left(-\frac{\varphi_c + \varphi_{cm} + qV_o}{k T_c}\right) - SA_0 T_a^2 \exp\left(-\frac{\varphi_c + \varphi_{cm}}{k T_a}\right) \quad (5)$$

Moc elektryczną wydzielaną w obciążeniu można zapisać następująco:

$$P = IV_o = SA_0 \left[T_c^2 \exp\left(-\frac{\varphi_c + \varphi_{em} + qV_o}{k T_c}\right) - T_a^2 \exp\left(-\frac{\varphi_c + \varphi_{em}}{k T_a}\right) \right] V_o \quad (6)$$

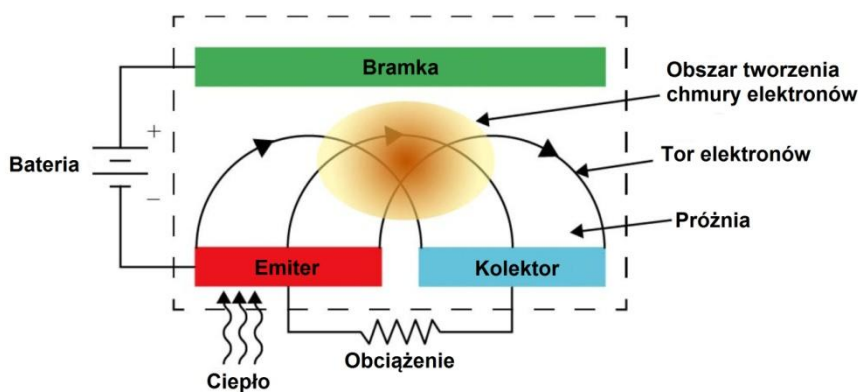
Im mniejsza jest praca wyjścia danego materiału tym większy prąd elektronowy można uzyskać przy danej temperaturze. Dobierając materiały elektrod generatora należy uwzględnić zachowanie możliwie dużej różnicy pracy wyjścia (min. 1 eV) przy niskich wartościach tego parametru dla obydwu elektrod [2]. Zmniejszenie prac wyjścia jest korzystne, ponieważ owocuje zmniejszeniem temperatur pracy, a tym samym zmniejszeniem strat ciepła do otoczenia. Obecnie jednak niewiele jest dostępnych materiałów, które pozostają stabilne w wysokich temperaturach i posiadają niską pracę wyjścia. Materiał elektrod musi być przewodnikiem w wysokich temperaturach, mieć wysoką temperaturę topnienia i niski współczynnik parowania. Niemniej jednak, podejmowane są próby alternatywnych rozwiązań problemów materiałowych.

Jednym z nich jest stosowanie elektrod z trudno topliwego metalu, np. wolframu, z bardzo cienką warstwą materiału o niskiej pracy wyjścia, np. tlenku baru, BaO. Innym rozwiązaniem zaprezentowanym w [5] jest tlenek baru na podłożu z węgla krzemu. W rozwiązaniu tym uzyskano pracę wyjścia na poziomie 1.7 eV, podczas gdy praca wyjścia czystych, trudno topliwych metali jak wolfram, molibden itp. zazwyczaj przekracza 4 eV. Domieszkowany fosforem polikrystaliczny diament na podłożu metalowym pozwolił na uzyskanie wartości pracy wyjścia na poziomie 0.9 eV [6]. Inną metodą redukcji pracy wyjścia jest zastosowanie nanostruktur na powierzchni elektrody [7]. Z kolei jak wykazano w [8], adsorpcja atomów metali alkalicznych cechujących się bardzo niską elektroujemnością na powierzchni półprzewodnika może znacząco zredukować pracę wyjścia. Dalsze badania prowadzone w tym kierunku [9] pokazały, że adsorpcja cezu na podłożu krzemowym doprowadziła do znaczącego zmniejszenia pracy wyjścia tych materiałów. Ponadto adsorpcja cezu na podłożu platynowym pozwoliła zmniejszyć pracę wyjścia z 5.6 eV do 1.4 eV. Natomiast powleczenie krzemowego podłoża typu p potasem w atmosferze tlenu zmniejszyły pracę wyjścia z 4.7 do 1.35 eV. Nieustannie prowadzone są badania nad nowymi materiałami, które potencjalnie mogą stać się bardzo dobrym wyborem jako materiały elektrod TEC.

Kolejnym problemem, który stoi na drodze do wysokich sprawności termoemisyjnych generatorów energii elektrycznej jest zjawisko ładunku przestrzennego, czyli chmury elektronów, która zbiera się bezpośrednio przy powierzchni katody. Ze względu na ładunek jaki posiadają elektrony powodują one wzajemnie odpychanie utrudniając emisję elektronów w kierunku próżni. Zwiększają w ten sposób barierę potencjału jaką elektrony muszą pokonać. Tylko elektrony z dostatecznie dużą energią są w stanie pokonać ładunek przestrzenny. Istnieje kilka propozycji rozwiązania tego problemu, jednak wszystkie z nich posiadają znaczące wady. Przykładem rozwiązania problemu ładunku przestrzennego może być wtrącenie pozytywnie naładowanych jonów w przestrzeń międzyelektrodową. Chętnie jest tu wykorzystywany łatwo jonizujący się cez. W ten sposób powstała odmiana parowa generatora, jednak

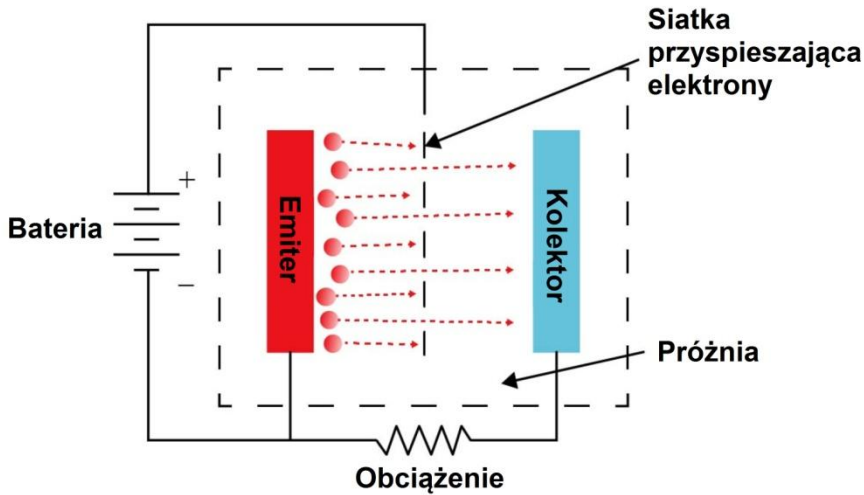
zasadniczą wadą tego rozwiązania jest koszt energii potrzebnej na jonizację cezu i zwiększone straty przez przewodzenie. Ponadto zastosowanie radioaktywnego materiału jakim jest cez powoduje skomplikowanie układu. Kolejnym sposobem redukcji negatywnego wpływu ładunku przestrzennego jest zmniejszenie odległości pomiędzy elektrodami. Jeśli odległość ta jest dostatecznie mała to ładunek przestrzenny nie ma miejsca by się ulokować, w związku z czym nie występuje. Badania dowodzą, że praktyczna odległość, przy której ładunek przestrzenny nie występuje to odległości $< 1 \mu\text{m}$. Dotychczas sposób ten był uznawany za niemożliwy do praktycznego zrealizowania ze względu na ograniczenia technologiczne. Dziś jednak są naukowcy, którzy dowodzą, że takie rozwiązania mają szansę na zaistnienie [10], o ile odległość między elektrodami będzie aktywnie kontrolowana. Niemniej jednak zachowanie małej odległości przy dużych różnicach temperatur stanowi wyzwanie, przede wszystkim ze względu na zjawisko rozszerzalności cieplnej. Ponadto zmniejszenie odległości do dystansów rzędu $1 \mu\text{m}$ powoduje zwiększenie strat ciepła przez zjawisko promieniowania bliskiego pola, które wielokrotnie zwiększa straty cieplne, jeśli odległość jest zbyt mała [11, 12]. Za optymalną odległość elektrod uznaje się zakres $0.9\text{-}3 \mu\text{m}$.

Ładunek przestrzenny może także zostać zniwelowany przez zastosowanie zewnętrznego pola elektrycznego i magnetycznego. Dwie konfiguracje trójelektrodowe zostały zaprezentowane w [2]. Pierwsza z nich wykorzystuje skrzyżowane pola elektryczne i magnetyczne, a zarazem zmniejsza przekazywanie ciepła do anody przez radiację. W konfiguracji tej elektrony są emitowane termicznie z katody oraz przyspieszane przez pole elektryczne wytwarzane przez trzecią elektrodę zwaną bramką o dodatniej polaryzacji względem katody. Tor lotu rozprędzonych elektronów ulega zakrzywieniu przez prostopadłe przyłożone pole magnetyczne. Wówczas elektrony trafiają na anodę. Rys. 3. przedstawia schemat tego typu generatora.

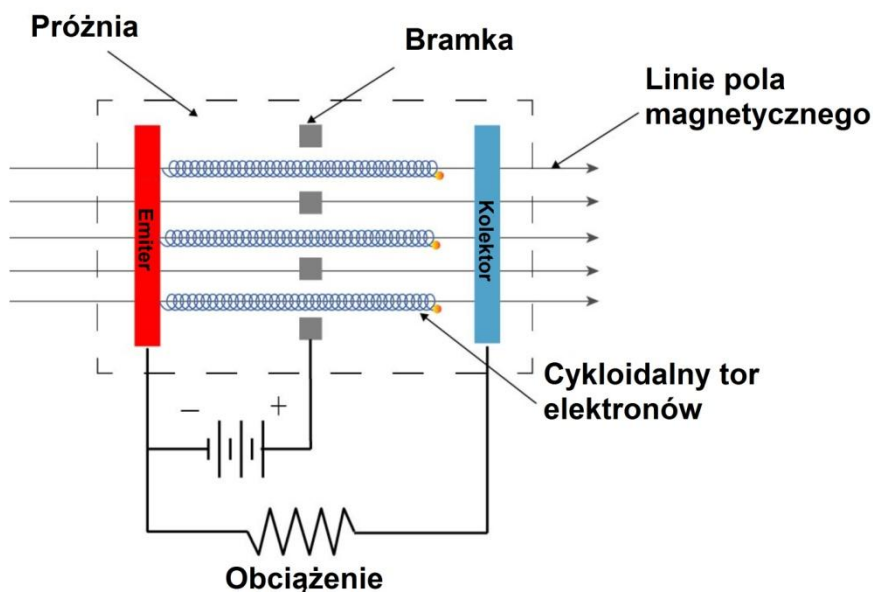


Rysunek 3. Schemat trójelektrodowego TEC z polem magnetycznym [opracowanie własne na podstawie 2].

Jednak jak się okazało, napięcie przyspieszające zniwelowało ładunek przestrzenny w otoczeniu powierzchni katody, ale utworzył się on w połowie drogi elektronów. Ponadto część elektronów trafia do bramki tworząc w niej prąd pasożytniczy zmniejszający ostateczną sprawność. Druga z zaprezentowanych w [2] konfiguracji to elektrostatyczny, trójelektrodowy generator, w którym pomiędzy elektrodami wstawiona została cienka siatka jako bramka, rys. 4. Jej pozytywne względem katody napięcie przyspiesza elektrony, jednak występuje tu podobny problem – większość elektronów trafia do bramki zamiast do anody.



Rysunek 4. Schemat elektrostatycznego TEC [opracowanie własne na podstawie 2].



Rysunek 5. Schemat elektrostatycznego TEC z polem magnetycznym [opracowanie własne na podstawie 13].

Oba wspomniane rozwiązania były podstawą do nowego opracowania [13], które łączy w sobie zalety jednego i drugiego. Koncepcja ta polega na wzbogaceniu elektrostatycznego TEC o pole magnetyczne, które zakrzywia ruch elektronów powodując, że nie trafiają one w bramkę, lecz w anodę, rys. 5.

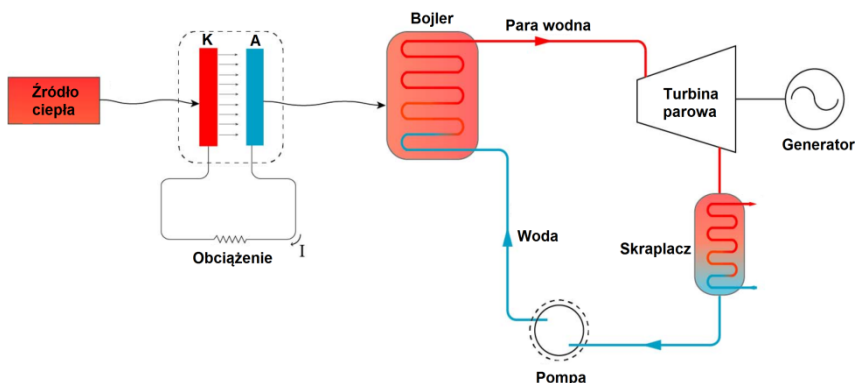
4. Zastosowania

Pierwsze badania ukierunkowane na aplikacyjne zastosowanie termoemisyjnych generatorów energii elektrycznej miały miejsce w latach 60. XX wieku w Stanach Zjednoczonych oraz w Związku Radzieckim. Źródłem finansowania były programy kosmiczne, a za źródło energii cieplnej miały służyć energia słoneczna lub jądrowa. Wówczas badania naukowe prowadzone w Stanach Zjednoczonych nie przyniosły żadnego rozwiązania aplikacyjnego, natomiast w Związku Radzieckim zbudowano dwa reaktory jądrowe z generatorami termoemisyjnymi o mocy 5 kW każdy w ramach programu TOPAZ w 1987 roku. Prawdopodobnie badania byłyby kontynuowane, niestety zostały zaniechane z powodu braku finansowania. W latach 90. Grupa naukowców zaproponowała generator wykorzystujący metale alkaliczne (ang. AMTEC) o sprawności sięgającej 18% [14]. Badania nad tą wersją generatora nadal są prowadzone. W zbliżonym czasie w Stanach Zjednoczonych zapoczątkowany został program HPALM, w którym generatory miałyby być zasilane energią słoneczną. Powstało kilka prototypów tego typu generatora, a sprawność sięga 6.5% [15-18]. Wszystkie powyższe doniesienia dotyczą zastosowań kosmicznych, jednak są prowadzone badania w wiodących światowych ośrodkach jak również w Katedrze Automatyki i Metrologii Politechniki Lubelskiej dotyczące rozwiązań naziemnych

cywilnych. Wiele uwagi poświęca się zastosowaniom skoncentrowanej energii słonecznej (ang. *Concentrated Solar Power*, CSP). Dzieje się tak ze względu na odkrycie możliwości połączenia zjawiska fotoemisji (PE) i termoemisji (TE) w jednej aplikacji, co ma szansę drastycznie zwiększyć sprawność generatora [19]. Te połączone zjawiska noszą nazwę PETE (ang. *photon-enhanced thermionic emission*). Aby wykorzystać możliwości PETE należy jako materiał katody zastosować półprzewodnik typu p zamiast metalu. W rozwiązaniu tym energia słoneczna zarówno podgrzewa katodę dostarczając energię cieplną elektronom jak również wywołuje zjawisko fotoemisji. Teoretyczne badania generatorów PETE zakładają, że maksymalna sprawność możliwa do osiągnięcia wynosi 70.4% o ile zastosowany zostanie dodatkowy system przetwarzania energii (np. silnik Stirlinga), a koncentracja energii słonecznej wynosi 1000. Wyniki eksperymentalnej weryfikacji powyższych założeń nie zostały jeszcze opublikowane.

Powyższe rozwiązania to nie koniec puli możliwych zastosowań TEC. Ze względu na wysoką temperaturę pracy tych generatorów możliwe jest sprzęgnięcie ich w konwencjonalnymi generatorami w elektrowniach, co w efekcie zwiększy sumaryczną sprawność przetwarzania energii elektrycznej. Spalanie paliw kopalnych pozwala wytworzyć energię cieplną o temperaturze 1500-2000 K, ale klasyczne turbiny mogą pracować przy temperaturze na poziomie 800-1300 K. Różnica temperatur spalania paliw kopalnych i pracy generatorów klasycznych stanowi lukę, gdzie znaleźć mogą swoje miejsce termoemisyjne generatory energii elektrycznej. Wysoka temperatura spalania paliw mogłaby stanowić źródło ciepła dla katody TEC, natomiast ciepło odbierane z anody zostałoby użyte do zasilenia klasycznej turbiny parowej [20], rys. 6.

Istnieją też propozycje pracy równoległej generatorów termoemisyjnych i klasycznych, ale nie są one zalecane ze względu na mniejszy zysk energetyczny względem układów kaskadowych wg rys. 6. Istnieją także doniesienia, że termoemisyjne generatory mogą sprawdzić się w motoryzacji jako generatory energii dla silników elektrycznych czy też jako dodatkowe źródło energii elektrycznej odzyskanej ze spalin [20-21]. Analiza przeprowadzona w [22] dowodzi, że generatory termoemisyjne mają szansę na zastosowanie w przemyśle wszędzie tam, gdzie występują wysokie temperatury oraz w gospodarstwach domowych, przede wszystkim w ramach centralnego ogrzewania.



Rysunek 6. Schemat układu hybrydowego TEC – klasyczny generator [opracowanie własne na podstawie 20].

W latach 90. opracowany został kogeneracyjny system wytwarzania energii elektrycznej i ciepła wyposażony w termoemisyjny generator energii elektrycznej, zasilany gazem ziemnym, z wstępnym podgrzaniem powietrza przeznaczanego do spalania, produkował ok. 1,5 kW energii elektrycznej [23].

5. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiona została zasada działania generatorów termoemisyjnych, główne problemy konstrukcyjne, a także propozycje ich rozwiązania i możliwe zastosowania. W ogólności można podzielić je na dwie grupy: generatory próżniowe i parowe. Generatory próżniowe wydają się być trudniejsze w realizacji, ale mogą zaferować wyższe wydajności. Analiza światowej literatury pokazuje, że istnieje wiele koncepcji bazujących na osiągnięciach nanotechnologii i nowych materiałach, które mogą zaowocować skutecznym zwiększeniem sprawności TEC i docelowo wdrożeniem produktu. Ponadto przyczyniają się do tego aktualnie prowadzone na świecie badania dotyczące redukcji pracy wyjścia, zniwelowaniu efektu ładunku przestrzennego, doborze struktury powierzchni elektrod, izolacji termicznej itp. Największymi zaletami termoemisyjnych generatorów energii elektrycznej jest bezgłośna praca, skalowalność, niezawodność czy brak elementów ruchomych.

Aktualnie w Katedrze Automatyki i Metrologii Politechniki Lubelskiej prowadzone są badania mające na celu uruchomienie i doskonalenie termoemisyjnego generatora energii elektrycznej w kontekście wykorzystania jako hybryda z konwencjonalnym generatorem parowym, a także jako niezależny generator bazujący na skoncentrowanej energii słonecznej.

Literatura

1. Paska J. *Urządzenia bezpośredniej przemiany energii pierwotnej w elektryczną*, Energetyka, 8 (2006), s. 577-600.
2. Hatsopoulos G. N., Gyftopoulos E.P. *Thermionic Energy Conversion: Processes and Devices*, vol. 1. Cambridge, USA: MIT Press, 1973
3. Kocoloski M., Eger C., McCarty R., Hallinan K., Kissock K. *Industrial solid-state energy harvesting: Mechanisms and examples*, in Proc. ACEEE Summer Study Energy Efficiency Ind. (2007), s. 55-68.
4. Marshall A. C. *A reformulation of thermionic theory for vacuum diodes*, Surface Science, 517 (2002), s. 186-206.
5. Lee J.-H. et al. *Microfabricated thermally isolated low work-function emitter*, Journal of Microelectromechanical Systems., 23, 5 (2014), s. 1182-1187.
6. Koeck F. A. M., Nemanich R. J., Lazea A., Haenen K. *Thermionic electron emission from low work-function phosphorus doped diamond films*, Diamond and Related Materials, 18 (2009), s. 789-791.
7. Tavkhelidze A. N. *Nanostructured electrodes for thermionic and thermotunnel devices*, Journal of Applied Physics, 108, 4 (2010), s. 044313.
8. Langmuir I. *Vapor pressures, evaporation, condensation and adsorption*, Journal of the American Chemical Society, 54, 7 (1932), s. 2798-2832.
9. Sinsarp A., Yamada Y., Sasaki M., Yamamoto S. *Microscopic study on the work function reduction induced by Cs-adsorption*, Japanese Journal of Applied Physics, 42, 7B (2003), s. 4882-4886.
10. Fitzpatrick G. O., Koester J. K., Chang J., Britt E. J., McVey J. B. *Close-spaced thermionic converters with active spacing control and heat-pipe isothermal emitters*, in Proc. 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC) (1996), s. 920-927.
11. Gerstenmaier Y. C., Wachutka G. *Efficiency of thermionic and thermoelectric converters*, in Proc. AIP Conference, 890, 1 (2007), s. 349-360.
12. Lee J.-H., Bargatin I., Melosh N. A., Howe R. T. *Optimal emitter-collector gap for thermionic energy converters*, Applied Physics Letters, 100, 17 (2012), s. 173904.
13. Meir S., Stephanos C., Geballe T. H., Mannhart J. *Highly-efficient thermoelectronic conversion of solar energy and heat into electric power*, Journal of Renewable and Sustainable Energy, 5, 4 (2013), s. 043127.
14. Van Hagan T. H., Smith J. N., Schuller M. *Thermionic/AMTEC cascade converter concept for high-efficiency space power*, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 12, 7 (1997), s. 10-15.
15. Begg L. L., Streckert H. S., Peltier D., Watson J. *Conceptual design of high power advanced low mass (HPALM) solar thermionic power system*, in Proc. 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC) (2004), s. 7-11.
16. Clark P. N., Desplat J.-L., Streckert H. H., Adams S. F., Smith J. W. *Solar thermionic test in a thermal receiver*, in Proc. AIP Conference, 813, 1 (2006), s. 598-606.
17. Adams S.F. *Solar thermionic space power technology testing: A historical perspective*, in Proc. AIP Conference, 813, 1 (2006), s. 590-597.
18. Martinez M. R., Izhvanov O., Robertson B., Clark P. N., Streckert H. H., Desplat J.-L. *Cylindrical inverted multi-cell (CIM) thermionic converter for solar power and propulsion systems*, in Proc. AIP Conference, 746, 1 (2005), s. 926-934.
19. Schwede J.W. et al. *Photon-enhanced thermionic emission for solar concentrator systems*, Nature Materials, 9, 9 (2010), s. 762-767.

20. Morris J. F. *Comments on tec trends*, in Proc. International Conference on Plasma Science Institute of Electrical and Electronics Engineers (1979), s. 166.
21. Tanner P. G., Fraser D. A., Irving A. D. *Developments in thermionic energy converters*, IEE Proceedings A - Science, Measurement and Technology, 152, 1 (2005), s. 1-6.
22. Margulies A. E., DeLuga R. A., Miskolczy G. *Thermionic cogeneration in an industrial boiler application*, in Proc. American Power Conference (1985), s. 264-269.
23. Veltkamp W. B., van Kemenade H. P., Sampers W. F. J. *Combustion heated thermionic systems*, SAE Technical Paper 929355, 1992.

Termoemisyjne generatory energii elektrycznej – problemy, rozwiązania, zastosowania

Generatory termoemisyjne (ang. Thermionic Energy Converter, TEC) są to urządzenia próżniowe lub plazmowe będące silnikami cieplnymi, które generują energię elektryczną bezpośrednio z energii cieplnej, gdzie wykorzystane jest zjawisko emisji termoelektronowej, a czynnikiem roboczym są elektrony. Pomimo znacznego potencjału wykorzystania ich w roli wysokosprawnego przetwornika energii cieplnej w elektryczną, postęp w ich rozwoju od dawna był hamowany przez problem ładunku przestrzennego oraz niedostępność materiałów z niską pracą wyjścia. W ostatnich latach zauważa się ponowne zainteresowanie tym tematem ze względu na ciągły postęp w dziedzinie nowych materiałów i technologii wytwarzania. Dzięki temu coraz bardziej realne staje się rozwiązanie największych problemów związanych z generatorami termoemisyjnymi otwierając drogę do powszechnego zastosowania tych generatorów w praktyce. Niniejsza praca opisuje zasadę działania, rodzaje, główne problemy konstrukcyjne, dotychczas opracowane rozwiązania oraz obiecujące wyniki badań generatorów termoemisyjnych. Ponadto przybliżone zostały potencjalne zastosowania, które obecnie lub w niedalekiej przyszłości mają szansę na wdrożenie. Słowa kluczowe: termoemisja, generator energii elektrycznej.

Thermionic Energy Converters – problems, solutions, applications

Thermionic energy converters (TEC) are devices that uses vacuum or low pressure vapor environment, high temperature and thermionic phenomenon to produce electric energy directly from the heat. They have large application potential but it was limited through years due to the lack of low work function and stable materials and unsolved problem of the space charge. In recent years one can notice increased interest in the thermionic converters because of the progress in the new materials and the manufacturing. This is chance to solve the most important problems of TECs and produce the thermionic converters for wide use. This paper describes the principle of work, types, the main problems, propositions of solutions and promising investigations results of TECs. Moreover, real and potential applications of TECs are featured, which can be implemented in the near future.

Keywords: thermionic emission, electric energy generator.

Sieci filamentów aktywnych jako model obliczeniowy

1. Wstęp

W najbliższej przyszłości najprawdopodobniej powstanie tak zwany białkowy robot będący swoistym „sztucznym bulionem polipeptydowym” (metakomórką), który będzie mógł efektywnie rozwiązywać różne logiczne zadania (związane z orientacją w przestrzeni, przemieszczaniem, przewożeniem jedzenia, itd.). Robot ten może zostać zaprojektowany na bazie sieci filamentów aktywnych. Zakładamy, że zgodnie z naszymi wstępnymi rezultatami istnieje tzw. rojowy intelekt (*swarm intelligence*), który odpowiada za efektywne rozwiązanie zadań logicznych, używając sieci filamentów aktywnych. Oznacza to, że jeśli białkowy robot rzeczywiście będzie możliwy do zrealizowania, to będzie stworzony na sieciach filamentów aktywnych.

Zamierzeniem pracy jest opracowanie *sztucznych sieci filamentów aktywnych* (*artificial actin filament networks* – AAFN) [5] z wyjaśnieniem klasy obliczeniowych zadań dla AAFN takich jak opracowanie informacji, zarządzanie procesami wielkich danych (*Big Data*), nawigacja, rozpoznanie obrazów, itd. W przyszłości AAFN może znaleźć ogromną liczbę różnych komercyjnych zastosowań. AAFN jest silnym uogólnieniem sztucznych sieci neuronowych i nowa sieć może być wykorzystana efektywniej niż sieci neuronowe. Zamierzam przedstawić AAFN jako nową teorię gier, która może być zastosowana np. w formalizacji procesów sądowych w ramach elektronicznego sądownictwa (*e-justice*).

W projekcie *PhyChip* [1] (*Physarum Chip: Growing Computers from Slime Mould*; FP7-ICT-2011-8) opracowaliśmy nowatorski model matematyczny, który może programować zachowanie się plazmodiów. Obecnie jesteśmy w stanie poszerzyć ów model ogólnej teorii AAFN jako teorii masywno-równoległego zachowania pojawiających się i znikających agentów ze stałą zmianą topologii ich związków.

Innowacyjna idea zaproponowana w projekcie dotyczy programowania struktury *Big Data* i przedstawia zachowania jako proces obliczenia. Filamenty aktywnych zostaną bio-inspirowanym modelem *Big Data*. Nasze rezultaty będą przedstawione jako nowa teoria gier, zdolna modelować systemy związków milionów ruchomych agentów. Te rezultaty mogą być wykorzystane do analizy rynków, *Web mining*, czy innych rozwiązań.

¹ andrew.schumann@gmail.com, Kierownik Zakładu Kognitywistyki, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, www.wsiz.rzeszow.pl.

2. Szczegóły i stosowność zadań

W projekcie *PhyChip* zakładamy, że plazmodium wykorzystuje w swoim zachowaniu takie same algorytmy pobudzenia przez repelenty i atraktanty, jakie wykorzystuje każdy rój [4]. Przykładowo przedstawiciel *prokaryota*, czyli jednokomórkowy organizm pozbawiony wyraźnej błony jądrowej (*karyolemy*) może tworzyć kolonie w formie plazmodium. Tego rodzaju kolonie określane są często mianem „biofilmów”. Komórki tworzące biofilmy są organizowane w dynamiczne sieci i mogą przekazywać sygnały (tak zwane szczytowanie kworum). W rezultacie organizmy te m.in. niektóre bakterie należy *de facto* traktować jako osobliwe byty społeczne. Klasycznym przykładem owadów społecznych są liczne gatunki mrówek reprezentujących rozległą rodzinę *Formicidae*. Są one zdolne do rozdzielania pracy – budują prawdziwe społeczeństwo swojego gniazda i dysonują możliwością podporządkowania innych kolonii mrówek. Również krewetki *Synalpheus regalis*, które zazwyczaj żyją w rafach koralowych, demonstrują podobne do mrówek zachowania kolektywne. Wśród osobników tej samej kolonii jest samica-królowa, a także krewetki-robotnice. Organizacja kolonii zbliżona do tej jaką tworzą mrówki występuje także wśród pewnych ssaków, np. wśród gołców piaszkowych *Heterocephalus glaber*. W każdej kolonii posiadają one tylko jedną królową i od jednego do trzech samców-reproduktorów, podczas gdy inni członkowie kolonii są tylko robotnicami. Analogiczne zachowania są również typowe dla kretoszczura damarskiego *Fukomys damarensis*, w tym przypadku mamy ponownie do czynienia z jedną królową i licznymi robotnicami.

Wszystkie wymienione typy zorganizowanych zachowań roju można modelować na podstawie zmienności czynnościowej plazmodium śluzowca *Physarum polycephalum*, analizowanym przez nas w *PhyChip*. Co ciekawe również pewne grupy ludzi jak przykładowo piesi w strukturze miasta, mogą zachowywać się podobnie do roju, lub w sposób zbliżony do tabunu koni lub ławicy ryb. Zazwyczaj ludzie wolą unikać człowieka, którego traktują jako potencjalnego agresora, i jeśli istotna część grupy (nie mniej niż 5%) zmienia kierunek poruszania się, to pozostali podążają w nową stronę. Opierając się na algorytmie właściwym mrówkom, można między innymi wyjaśnić zachowania obserwowane przy rejestracji pasażerów na określone trasy połączeń lotniczych. W przypadku panicznej ucieczki istotna część ludzi realizuje zachowanie charakterystyczne dla roju. Co szczególnie istotne, dynamiką zachowań każdego roju można zazwyczaj kierować, rozmieszczając w określonych miejscach odpowiednie bodźce: atraktanty oraz repelenty. Możemy nawet projektować logiczne bramki i układy oparte na topologii bodźców, co wykazaliśmy w projekcie *PhyChip*. W jednym z naszych wstępnych badań wykazaliśmy, że uzależnieni od alkoholu ludzie również ucieleśniają wersję intelektu rojowego dla optymalizacji zachowania się po spożyciu alkoholu.

Można zatem hipotetycznie przyjąć, że dany model intelektu ucieleśniony w każdym roju zależy od sieci filamentów aktywnych. Na poziomie tych struktur komórkowych mamy do czynienia z głównym mechanizmem intelektu rojowego

w optymalizacji przemieszczenia: (i) boczna aktywacja (*lateral activation*, LA), która jest strukturyzowaniem sieci tak, żeby pewne jednostki aktywizowały swoich sąsiadów dla powiększenia ich własnej reakcji, i (ii) boczne hamowanie (*lateral inhibition*, LI), które jest uporządkowaniem sieci w taki sposób, żeby pewne jednostki zabroniły swoim sąsiadom aktywować się. W ten sposób model sieci filamentów aktywny staje się fundamentalny dla wszystkich potencjalnych rojów: od bakterii do ludzi, ponieważ LA i LI w reakcjach na bodźce realizują się już na wewnątrzkomórkowym poziomie filamentów aktywnych, które zdają się odpowiadać za optymalizację logistyki.

W postulowanej *machine learning* wykorzystywane są pewne biologicznie inspirowane sieci takie jak sztuczne sieci neuronowe, gdzie mamy stały zestaw procesorów zaangażowanych w obliczenia. Jednakże, elementarne jednostki obliczeniowe rozumiane jak procesory nigdy nie są stabilne w realnych sieciach biologicznych. Stopniowo kumulują się i orientują w reakcji na różne napięcia z zewnątrz. Jednym z najlepszych przykładów owych jednostek w układach biologicznych jest sieć filamentów aktywnych. Ich przestrzenne sieci są kluczowe dla zachowywania funkcjonalnej formy komórki oraz zagwarantowania możliwości jej aktywnego ruchu. Filamenty aktywny są odpowiedzialne za zmiany morfologii komórki, np. w trakcie podziałów, za deformacje związane z wytwarzaniem rosnących pseudopodiów podczas pobierania pokarmu etc. Mamy tu do czynienia z dynamicznym modelem przebudowy filamentów aktywny, które jednocześnie powstają i ulegają destrukcji. Jest to utrwalony w czasie proces równoległej polimeryzacji i depolimeryzacji tych kluczowych elementów cytoszkieletu.

3. Koncepcja i metodologia

Ruchy plazmodium *Physarum polycephalum* są w pewnym topologicznym i funkcjonalnym sensie racjonalne i mogą być zaprogramowane przy wykorzystaniu chemotaksji w projektowaniu komputerów. Sieci filamentów aktywny wydają się być uniwersalnym mechanizmem recepcji i przekazywaniu zewnętrznych sygnałów w każdym organizmie biologicznym. Za pomocą substancji chemicznych można kierować polimeryzacją i depolimeryzacją aktywny. Przykładowo, cytochalazyna B uniemożliwia wydłużanie filamentów aktywnych poprzez blokowanie możliwości przyłączania cząsteczek G-aktywny, natomiast falloidyna łącząc się z filamentami hamuje ich depolimeryzację. Z kolei latrunkulina powoduje natychmiastową depolimeryzację, poprzez odłączanie cząsteczek G-aktywny od filamentu. W ten sposób rozmaite toksyny mogą regulować dynamikę cytoszkieletu, zresztą nie tylko aktywnego. Teoretycznie możemy założyć, że można syntetyzować i następnie kierować/programować AAFN. Ta sieć jest fundamentalna przy każdej reakcji komórki na bodźce. W rezultacie tego typu sztuczna sieć może być także przedstawiona jako biologiczny komputer. Jego procesy obliczeniowe byłyby podstawą dla organicznego intelektu. Inne obliczeniowe właściwości AAFN są następujące:

(1) Mamy tu doczynienie z systemem (N_0, V_0, w_0) , gdzie (i) N_0 jest nieufundowanym (*non-well-founded*) zbiorem procesorów nazwanych „filamentami”; ten zbiór jest nieufundowany, ponieważ nie można rozdzielić N_0 na atomy albo

przynajmniej na rozłączne podzbiory n_j , które formują podział N_0 ; innymi słowy, procesory są stopniowo przeprojektowane i mogą pojawiać się lub znikać i zmieniać własne właściwości; (ii) V_0 jest szeregiem ciągów $\{(i_t, j_t): i_t, j_t \in N_0\}$, którego elementy są połączeniem filamentu i_t i filamentu j_t w czasie t ; więc, zbiór V_0 jest też nieufundowany (*non-well-founded*), także – jako liczba procesorów – może zamieniać się z czasem t ; (iii) w_0 jest funkcją od V_0 do ${}^*\mathbf{R}$, gdzie ${}^*\mathbf{R}$ jest zbiorem hyper-rzeczywistych liczb, takich jak $w_0(({}^*i, {}^*j))$, gdzie ${}^*i = i_0i_1i_2i_3\dots$ i ${}^*j = j_0j_1j_2j_3\dots$, nazywamy wagą połączenia między filamentem *i i filamentem *j w czasie $t = 0, 1, 2, 3, \dots$; zauważymy, że filament *i może być ukryty (nie istnieć) w rzeczywistym czasie.

(2) Każdy filament zachowuje się jak sztuczny organizm (np. jak sztuczna komórka): (i) może rosnąć; (ii) jego zachowanie może być kierowane (przyciągane lub odpychane) chemotaksją. W komórkach zawsze są filamente aktywne, jedne znikają, inne powstają.

(3) Każda sieć filamentów aktywnych zachowuje się jak sztuczny rój: (i) może rosnąć; (ii) jej zachowanie może być kierowane chemotaksją; (iii) dwa roje (dwie sieci filamentów aktywne) mogą łączyć się w jeden rój (jedną sieć); (iv) może nastąpić rozszczepienie jednego roju (jednej sieci) na dwa roje (dwie sieci). W komórkach zawsze istnieją sieci filamentów aktywnych.

(4) Każda mocno związana sieć filamentów aktywne zachowuje się jak metarój: reaguje na mechaniczne zewnętrzne bodźce i może być tylko częściowo reorganizowana. Poprzecznie wiązane sieci wykorzystywane są w komórkach, aby przekazywać mechaniczny sygnał z powierzchni komórki. Te siły generują fale sygnału najniższej granicy sprężystości, która szybko rozpowszechnia się przez warstwy napięcia aktywne. Takie zewnętrzne mechaniczne napięcia mogą tworzyć dyfuzję sieci filamentów aktywne. Obrót dookoła ich osi uderzający sieci filamentów może je rozdzielać, ale w przypadku obecności cytoskeletonu sygnał mechaniczny zostaje przekazany sieciom, nie burząc ich.

W ten sposób możliwe jest rozpatrzenie wszystkich możliwych stanów deformacji komórki jako form przekazywania sygnałów poprzez filamente. Każdy stan odkształcenia jest rezultatem oddziaływania odpowiedniej siły mechanicznej. Generowany z zewnątrz sygnał mechaniczny przekazywany jest w komórce zgodnie z typem jej deformacji. Komórka może być wówczas oszacowana jako rewersyjna bramka logiczna [5], przy której ma takie same numery wejść (mechanicznych sił) i wyjść (przekazania sygnału deformacji). Forma deformacji komórki jest formą sygnałowego przekazywania.

4. Arytmetyczne funkcje w sieciach filamentów aktywnych

Rozpatrzmy dyskretny czas $t = 0, 1, 2\dots$ przypuszczając, że za każdym razem poruszając się etapami t , filamente aktywne widzą nie więcej niż n atraktantów albo repelentów i reagują na n pobudek. Wtedy ruch filamentów aktywnych może być przedstawiony jako arytmetyczna funkcja $f_n(x) = y$, gdzie $x, y \in \{0, 1, \dots, 2^n - 1\}$, na przykład, w bramce Friedkina mamy arytmetyczną funkcję f_3 , gdzie wejścia i wyjścia

przepisane są jak naturalne liczby: $x_0x_1x_2 = \sum_{i=0}^2 x_i \cdot 2^i$. Na przykład, $000 = 0$ oraz $111 =$

$\sum_{i=0}^2 1 \cdot 2^i = 7$. Jeśli u nas jest n sygnałów podczas kroku t , wtedy sieci filamentów aktywny obliczają arytmetyczną funkcję f_n w tym t . Dane f_n , faktycznie zależą od topologii n pobudek (ich intensywności, lokalizacji, kombinacji itd.). W ten sposób, jeśli sieć filamentów aktywny spotyka nie więcej niż n pobudek za $t = 0, 1, 2, \dots$, to otrzymujemy ciąg funkcji: $f_n^{t=0} f_n^{t=1} f_n^{t=2} \dots$, gdzie w każdym $t = i$ arytmetyczna funkcja $f_n^{t=i}$ może być różna. Zaznaczymy ten ciąg przez f . Można teraz określić p -adyczną funkcję dla $p = 2^n$:

$$f(\alpha) = \beta, \tag{1}$$

gdzie $\alpha = a_0a_1a_2\dots$ i $\beta = \beta_0\beta_1\beta_2\dots$ w ten sposób, że mamy $f_n^{t=i}(\alpha_i) = \beta_i$ dla każdego $i = 0, 1, 2, \dots$. Liczby α i β są p -adyczne, ponieważ

$$\alpha = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \cdot p^i, \quad \beta = \sum_{i=0}^{\infty} \beta_i \cdot p^i$$

i $\alpha_i, \beta_i \in \{0, \dots, p-1\}$ dla każdego $i = 0, 1, 2, \dots$. A zatem, długotrwała reakcja sieci filamentów aktywnych może być modelowana jak p -adyczna arytmetyczna funkcja postaci (1). W artykule [4] została zaproponowana p -adyczna logika do modelowania ruchów plazmodium *Physarum polycephalum*. Ta sama logika może być zastosowana do modelowania sieci filamentów aktywny. W tej logice możemy rozwijać wiele trajektorii postaci (1), którym odpowiadają różne sieci filamentów aktywnych. Zauważymy, że arytmetyczne operacje w p -adycznej logice mogą być określone korekursywnie. Przypuścimy, że $[\]$ jest pustą listą i $\mathbf{a}:\mathbf{S}$ jest nieskończoną listą całych liczb z $\{0, \dots, p-1\}$ z głową \mathbf{a} i resztą \mathbf{S} . Jeśli reszta jest konstantą, to oznacza, że dana konstanta powtarza się zawsze. Na przykład, $\mathbf{a}:\mathbf{0}$ oznacza, że za \mathbf{a} idzie nieskończona lista $\mathbf{0}$. Lista $\mathbf{a}:\mathbf{S}$ może być określona jak $\mathbf{a}:\mathbf{b}:\mathbf{S}'$, lista $\mathbf{a}:\mathbf{b}:\mathbf{S}'$ jak $\mathbf{a}:\mathbf{b}:\mathbf{c}:\mathbf{S}''$ itd. Tym czasem, \mathbf{b} jest pierwszym elementem reszty \mathbf{S} , \mathbf{c} jest pierwszym elementem reszty \mathbf{S}' itd. Każda reszta jest swoją drogą nieskończoną listą: $\mathbf{S} = \mathbf{b}:\mathbf{S}'$, $\mathbf{S}' = \mathbf{c}:\mathbf{S}''$ itd. Niech $\text{next}(\mathbf{a}:\mathbf{b}:\mathbf{S}) = \mathbf{b}:\mathbf{S}$. Określimy p -adyczną sumę w następujący sposób:

$$\text{sum}(\mathbf{a}, \mathbf{c}):[\] = \text{sum}(\mathbf{a}:[\], \mathbf{c}:[\])$$

$$\text{next}(\text{sum}(\mathbf{a}:\mathbf{b}:\mathbf{S}, \mathbf{c}:\mathbf{d}:\mathbf{S}')) = \text{sum}(\mathbf{b}:\mathbf{S}, \mathbf{d}:\mathbf{S}')$$

Dalej p -adyczne mnożenie:

$$\text{prod}(\mathbf{a}, \mathbf{c}):[\] = \text{prod}(\mathbf{a}:[\], \mathbf{c}:[\])$$

$$\text{next}(\text{prod}(a:b:s, c:d:s')) = \text{sum}(\text{prod}(a:0, d:s'), \text{prod}(b:s, c:d:s'))$$

Teraz przypuścimy, że $0:0$ jest minimalną p -adyczną całą liczbą (to nieskończona lista 0) i $p-1:p-1$ jest maksymalną p -adyczną całą liczbą (to nieskończona lista $p-1$). Wtedy określimy p -adyczną koniunkcję korekursywnie:

$$\text{min}(a,c):[] = \text{min}(a:[], c:[])$$

$$\text{next}(\text{min}(a:b:s, c:d:s')) = \text{min}(b:s, d:s')$$

podobnie jak p -adyczną alternatywę:

$$\text{max}(a,c):[] = \text{max}(a:[], c:[])$$

$$\text{next}(\text{max}(a:b:s, c:d:s')) = \text{max}(b:s, d:s')$$

Negacją wyjaśnia się w następujący sposób:

$$\text{not}(a):[] = p-1 - (a:[])$$

$$\text{next}(\text{not}(a:b:s)) = p-1:p-1 - (b:s)$$

W ten sposób otrzymujemy pierścień p -adycznych całych liczb, \mathbf{Z}_p , gdzie $p = 2^n$, z p -adyczną koniunkcją, alternatywą i negacją. Dla $t \rightarrow \infty$ poruszanie sieci filamentów aktywnych realizuje arytmetyczne funkcje na \mathbf{Z}_p . Pole p -adycznych liczb, \mathbf{Q}_p , istnieje tylko dla prostych liczb p , ale nasze p równe jest parzystej liczbie 2^n . Wtedy nie możemy otrzymać pola dla $p = 2^n$, a jedynie pierścień. Inną ważną właściwością jest to, że \mathbf{Z}_p posiada nieskończone całe liczby i zbiór \mathbf{Z}_p jest nieskończony. W związku z tym faktem, \mathbf{Z}_p mocno wyróżnia się od pierścienia całych liczb, \mathbf{Z} (kardynalna liczba \mathbf{Z}_p większa jest niż kardynalna liczba \mathbf{Z} , czyli jest większa niż \aleph_0). W szczególności, pewne arytmetyczne funkcje na \mathbf{Z}_p są nierozwiązywalne według samego określenia. \mathbf{Z}_p jest zbiorem kodanych, *codata* (nieindukcyjny zbiór, czyli korekursywne albo koindukcyjne dane) z nie-Archimedesową metryką. Dla \mathbf{Z}_p , według określenia nie istnieją ogólne algorytmy dla wyliczania wszystkich arytmetycznych funkcji, ponieważ ich przedmioty określone są koindukcyjnie, nie indukcyjnie.

Teraz możemy wyliczyć wszystkie arytmetyczne funkcje, które można ucieleścić w sieciach filamentów aktywnych w następujący sposób. Weźmiemy podział wszyst-

kich arytmetycznych funkcji na \mathbf{Z}_p dla różnego p . Dla każdego p jest następne wyliczenie wszystkich arytmetycznych funkcji przy zdefiniowanym t . Każda funkcja $f_n \in F_n^t$ jest t -m przestawieniem liczb $(0, 1, \dots, 2^n - 1)$ i może być wyrażona następującym kodem:

$$\overset{=}{f_n^t} = \sum_{i=0}^t \left(\sum_{j=0}^{2^n-2} c_{ji} \cdot j! \right) \cdot ((2^n - 1)!)^i \quad (2)$$

gdzie c_{ji} oznacza liczbę położeń w i -m przestawieniu, które pojawiają się napravo od liczby j i mają wielkość mniejszą niż j . Na przykład, dla bramki Friedkina jest przestawienie $(0, 1, 2, 3, 4, 6, 5, 7)$. To oznacza, że

$$\sum_{j=0}^{2^3-2} c_{j1} \cdot j! = 0 \cdot 0! + 0 \cdot 1! + 0 \cdot 2! + 0 \cdot 3! + 0 \cdot 4! + 0 \cdot 5! + 1 \cdot 6! = 720.$$

Przypuścimy, że bramka Friedkina była zastosowana dwa razy i $t = 1$. Wtedy:

$$\sum_{i=0}^1 \left(\sum_{j=0}^{2^3-2} c_{ji} \cdot j! \right) \cdot ((2^3 - 1)!)^i = 720 + 720 \cdot 7! = 3629520.$$

Dla funkcji f_n^∞ , jej kod jest następujący:

$$\overset{=}{f_n^\infty} = \sum_{t=0}^{\infty} \left(\sum_{j=0}^{2^n-2} c_{jt} \cdot j! \right) \cdot ((2^n - 1)!)^t \quad (3)$$

Ten kod jest $(p - 1)!$ -adyczny. A zatem każda p -adyczna arytmetyczna funkcja (1) zakodowana przez (3) oznacza nieskończoną trajektorię jednej sieci filamentów aktywny pod warunkiem nie więcej niż n wejść z czasem t . Te trajektorie mogą być kombinowane arytmetycznymi i logicznymi operacjami p -adycznej logiki [4].

5. Zastosowania do nowej teorii gier

W projekcie *PhyChip*² stworzony został bio-morficzny komputer na bazie organizmu *Physarum polycephalum*. Jest on w istocie siecią aktywną spełniającą funkcje aktywnego nieliniowego transduktora informacji. Komputer na bazie *Physarum polycephalum* ma równoległe wejścia (optyczne, chemiczne i elektryczne) oraz wyjścia (elektryczne i optyczne). Kwestią zasadniczą w projektowaniu komputera na bazie *Physarum* jest to, że system ten nie jest deterministyczny i może zmieniać swoje przeszłe decyzje w poszukiwaniu żywności. Innymi słowy, plazmodium *Physarum polycephalum* zachowuje się rozumnie, ale niealgorytmicznie. Oznacza to,

² <http://www.phychip.eu/>

że przy projektowaniu komputera na bazie plazmodium potrzebujemy matematyki bez aksjomatu regularności, tj. pozbawionej algorytmów konwencjonalnych. Dlatego zaproponowaliśmy teorię gier kontekstowych jako przykład matematyki p -adycznej, która mogłaby być zastosowana w układaniu programów urządzeń biologicznych na bazie plazmodium [3].

Standardowa teoria gier może być prezentowana jako multiplikatywna logika liniowa. Matematycznie jest to bardzo prosty system. Teoria gier kontekstowych zaproponowanych przez nas jest skonstruowana na bazie nieliniowych systemów tranzytowych, gdzie agenci mogą zmieniać swoje przeszłe decyzje. Tak więc, formułujemy tzw. matematykę p -adyczną (*non-well-founded*), która jest używana w szyfrowaniu informacji o systemach behawioralnych dla plazmodium. Standardowa teoria gier, jak i standardowa matematyka nie mogą być weryfikowane przez plazmodium jak procesor z powodu wolności behawioralnej i kontekstowości w decyzjach plazmodium. Ta nowa teoria gier może stanowić nową gałąź w tzw. grach bio-inspirowanych.

Naszym celem jest kontynuacja badań w zakresie teorii gier i zaproponowanie nowych narzędzi zarządzania refleksyjnego. Mogą one być używane w systemach bezpieczeństwa dla kontroli zasobów sieci WWW i zabezpieczenia ich przed atakami informacyjnymi. Głównym problemem w przekazywaniu informacji w Internecie jest proces równoległego pojawiania się miliardów nowych tekstów rocznie. Niektóre teksty są klasyfikowane jako fale informacyjne i pewna ilość tych fal może być oceniana jako niebezpieczne ataki informacyjne. Nasuwają się jednak kluczowe pytania. Kto jest w stanie to przeanalizować w skończonym czasie? Czy jest w ogóle możliwe odczytywanie miliard tekstów rocznie, celem identyfikacji podejrzanej fali informacyjnej? Kto może bronić przed takimi falami?

W klasycznej teorii gier, stosującej miarę addytywną, wszyscy gracze są rozpatrywani jako całkowicie racjonalni. Teoretycy gier rozważają systemy ekonomiczne jako wzajemne stosunki przyczynowe, a więc jako systemy fizyczne. Dla wzajemnych oddziaływań symbolicznych nie istnieje żadna równowaga w sensie Nasha. Zgodnie z moją hipotezą, możemy odnosić się do innego założenia z teorii gier w grach refleksyjnych, w szczególnym przypadku w zarządzaniu refleksyjnym:

- (i) Każda gra może być nieskończona dlatego, że może zmieniać swoje reguły;
- (ii) Gracze mogą mieć różne poziomy refleksji: jeden gracz może wiedzieć wszystko o innym, ale drugi może identyfikować tylko fałszywe komunikaty od pierwszego;
- (iii) Niektóre użyteczne przedmioty mogą mieć znaczenia symboliczne. Te znaczenia są rezultatami przyjęcia symbolicznych wartości przez niektórych graczy. Na zerowym poziomie refleksji wynagrodzenia nie mają symbolicznego znaczenia. Dla uzyskania konsensusu gracze szukają wspólnych znaczeń symbolicznych;
- (iv) Równowagi w sensie Nasha mogą być tylko na zerowym poziomie refleksji;
- (v) Wspólne znaczenia symboliczne mogą się zmieniać w trakcie gry, jeżeli gracz powiększa własny poziom refleksji;
- (vi) Dla dowolnej gry może istnieć performatywna efektywność, kiedy wszystkie znaczenia symboliczne są takie same dla poszczególnych graczy.

Chcę zaproponować model zarządzania refleksyjnego dla automatycznej kontroli zasobów sieci WWW dla blokowania albo realizowania ataków informacyjnych.

6. Wnioski

Sieci filamentów aktywnych są odpowiedzialne za racjonalne reakcje komórkowe na wszystkie bodźce zewnętrzne. Jeżeli zostanie stworzony sztuczny bulion polipeptydowy, który otrzyma atrybuty robota rozwiązującego szereg różnych zadań (nauczanie, orientacja w przestrzeni, podejmowanie decyzji o przemieszczeniu itd.), to z największym prawdopodobieństwem będzie on oparty na filamentach aktywnych. Sztuczne sieci aktywne mogą być wykorzystane w analizie *Big Data* i w grach refleksyjnych.

Literatura

1. Adamatzky A., Erokhin V., Grube M., Schubert T., Schumann A. *Physarum Chip Project: Growing Computers From Slime Mould*, International Journal of Unconventional Computing, vol. 8, no. 4, (2012), pp. 319-323.
2. Adamatzky A., Mayne R. *Actin automata: Phenomenology and localizations*, International Journal of Bifurcation and Chaos, vol. 2, no. 2, (2015), 1550030.
3. Schumann A. *Payoff Cellular Automata and Reflexive Games*, Journal of Cellular Automata, vol. 9, no. 4, (2014), pp. 287-313.
4. Schumann A. *p-Adic valued logical calculi in simulations of the slime mould behavior*, Journal of Applied Non-Classical Logics, vol. 25, no. 2, (2015), pp. 125-139.
5. Schumann A. *Toward a Computational Model of Actin Filament Networks*, Proceedings of the 9th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, (2016), pp. 290-297.
6. Siccardi S., Tuszynski J.A., Adamatzky A. *Boolean gates on actin filaments*, Physics Letters A, vol. 380, no. 1, (2016), pp. 88-97.

Sieci filamentów aktywnych jako model obliczeniowy

Streszczenie

Aktyna jest jednym z najbardziej istotnych białek odpowiedzialnych za reakcję komórek na zewnętrzne bodźce. Istnieje tak zwana monomeryczna aktyna albo aktyna G oraz polimeryczna aktyna albo aktyna F. Monomery aktyny G budują się jako spiralne filamety aktyny F za pomocą procesów nukleatyacji, polimeryzacji i depolimeryzacji. Filamety mają ok 78 nm średnicy i kilka mikronów długości. Oprócz tego, filamety mogą być zorganizowane w kompleksowe sieci różnych kształtów: niestabilne grono (równoległe niezwiązane filamety), drzewa (rozgałęziony filamety), stabilne grona (związane filamety). Sieci z filamentów aktywnych mogą być rozpatrywane jako naturalny komputerowy model komórek odpowiadających na bodźce zewnętrzne. Tak więc, w modelu tym mamy wejścia jako różne bodźce i wyjścia jako uformowania i destrukcje filamentów, z jednej strony, i jako zgromadzenia i rozebrania sieci filamentów aktywnych, z drugiej strony. Przy różnych warunkach zewnętrznych obserwujemy dynamiczne zmiany w długości filamentów aktywnych i w kształcie sieci filamentowych. Jak widzimy, główną cechą sieci filamentów aktywnych odróżniającą od innych sieci włącznie ze sztucznymi sieciami neuronowymi jest to, że topologia filamentów aktywnych zmienia się w odpowiedziach na dynamiczny sygnał zewnętrzny. Na przykład, neuronalna sieć jest potrójnością (N, V, w) , gdzie N jest zbiorem neuronów/procesorów, V jest zbiorem związków między neuronami/procesorami, i w jest wagą dla każdego związku. W sytuacji filamentów aktywnych obserwujemy zmienność filamentów/procesorów. Niektóre nowe filamety/procesory mogą pojawiać się w jednych warunkach i znikać w innych. Wartykule proponujemy model sztucznych sieci filamentów aktywnych. Zakładamy, że roboty biologiczne będą z „zupy białkowej”, w szczególności z sieci filamentów aktywnych. Słowa kluczowe: filamety aktywne, filamentowe sieci, neuronalna sieć

Teoretyczne podstawy oceny spawalności stali

1. Wprowadzenie

Spawalność jest jednym z trudniejszych pojęć do zdefiniowania z uwagi na zespół czynników decydujących o przydatności danego materiału do wykonania konstrukcji spawanej. Pojęcie spawalności obejmuje szereg czynników, których wypadkowa decyduje o przydatności danego materiału do wykonania określonej konstrukcji spawanej. Spawalność stali można podzielić na trzy kategorie: spawalność konstrukcyjna, metalurgiczna i technologiczna. W skład poszczególnych kategorii wchodzi: skład chemiczny i problemy dotyczące spawalności konstrukcyjnej i technologicznej takie jak: grubość elementów, rozmieszczenie i grubość spoin, metoda spawania, energia źródła ciepła oraz prędkość spawania [1-5]. Graficzną interpretację spawalności przedstawia rysunek 1. Spawalność definiuje się jako zdolność stali do tworzenia w określonych warunkach złączy spawanych o właściwościach zbliżonych do takich, jakie ma materiał rodzimy [4]. Stal przeznaczona na konstrukcję spawane musi zapewnić możliwość uzyskania połączeń spawanych o wymaganych właściwościach mechanicznych takich jak wytrzymałość na rozciąganie (R_m), granica plastyczności (R_e), wydłużenie procentowe po zerwaniu (A), przewężenie procentowe przekroju (Z) oraz uderność (KC) i twardość (HV).

Jednym z głównych czynników oceny spawalności stali jest określenie zmian zachodzących w strefie wpływu ciepła (SWC). Ponieważ w tej strefie z powodu zmiennych temperatur zachodzą największe zmiany struktury. Zmiany te powodują m.in. niejednorodność właściwości mechanicznych złącza spawanego. Ocena jakościowa i ilościowa tych zmian jest niezbędna, aby w odpowiedni sposób dobrać parametry wykonania połączenia spawanego, zmniejszyć wrażliwość na naprężenia własne materiału i szybkie zmiany temperatury.

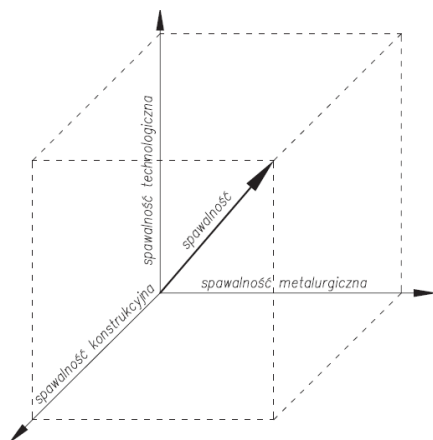
¹ goszczyńska@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, www.pcz.pl

² piekarska@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, www.pcz.pl

³ saternus@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, www.pcz.pl

⁴ kubiak@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, www.pcz.pl

⁵ domanski@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, www.pcz.pl



Rysunek 1. Graficzna interpretacja spawalności jako wypadkowej ze spawalności metalurgicznej, konstrukcyjnej i technologicznej [4]

Znane są różne rodzaje technologicznych i eksperymentalnych prób jakościowych umożliwiających ocenę spawalności stali. Należą do nich badania eksperymentalne rzeczywistych połączeń spawanych, badania symulacyjne, badania dylatometryczne a także metody analityczne. Badania eksperymentalne wymagają odpowiedniego wyposażenia badawczego w związku z tym są bardzo drogie i czasochłonne. Jednym ze sposobów przyspieszenia i obniżenia kosztów badań nad oceną spawalności stali jest zastosowanie metod obliczeniowych. Analizując literaturę poświęconą zastosowaniu metoda analitycznych [1, 2, 3, 6] w badaniach spawalności stali, można wyróżnić dwa podstawowe kierunki. Pierwszy to teoretyczne modelowanie procesu spawania [1]. Ten kierunek opisuje proces spawania jako zespół zjawisk cieplnych, mechanicznych i przemian strukturalnych sprzężonych ze sobą. Modele termomechaniczne opisują złożoność procesów zachodzących podczas spawania, uwzględniając dylatację cieplną, przemiany fazowe, przemiany plastyczne itp. Drugi kierunek to metody analityczne wykorzystujące złożone modele wsparte szerokim zakresem badań doświadczalnych. Metody te pozwalają na opracowanie grupy zależności mających bezpośrednie zastosowanie w analizie spawalności i projektowaniu technologii spawania.

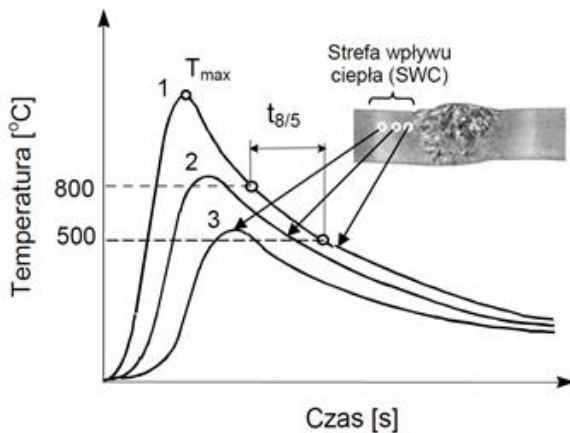
W pracy wykorzystano zastosowanie metod analitycznych jako jeden z kierunków badań nad oceną spawalności stali. Przeprowadzono analizę przydatności wybranych zależności opisujących charakterystyczne temperatury i czasy przemian służące do opracowania wykresów CTPc-S. Zaprezentowano otrzymane analitycznie wykresy CTPc-S oraz końcowy skład strukturalny stali przy założeniu różnych temperatur austenitizacji. Przedstawiono analityczne metody służące do prognozowania własności mechanicznych strefy wpływu ciepła połączenia spawanego stali o podwyższonej wytrzymałości. Zaprezentowano przebieg zmian granicy plastyczności (R_e), wytrzymałości na rozciąganie (R_m), przewężenia (A), wydłużenia (Z) oraz twardości

(HV) w funkcji czasu chłodzenia $t_{8/5}$. Wyniki obliczeń porównano z odpowiednimi wynikami otrzymanymi doświadczalnie.

2. Wpływ cyklu cieplnego na strukturę i właściwości mechaniczne SWC

W procesie spawania materiał w spoinie i obszarze przylegającym do spoiny zostaje nagrzwany do zróżnicowanych temperatur, w zależności od odległości od źródła ciepła a następnie chłodzony jest on do temperatury otoczenia. Rysunek 2 przedstawia teoretyczny cykl cieplny spawania w zależności od odległości osi źródła spawającego [7]. Cykl cieplny jest funkcją rodzaju źródła, kształtu i wzajemnego położenia spawanych elementów, zabiegów cieplnych zastosowanych przed i po spawaniu oraz właściwości cieplnych spawanego materiału. Rodzaj powstałej struktury i wynikające stąd własności strefy wpływu ciepła zależą od składu chemicznego, szybkości nagrzewania i chłodzenia, maksymalnej temperatury oraz czasu przebywania w temperaturze powyżej A_{c3} .

Parametrami charakteryzującymi warunki chłodzenia w procesie spawania jest szybkość chłodzenia $v_{8/5}$ lub czas chłodzenia $t_{8/5}$ w zakresie temperatur 800-500°C.



Rysunek 2. Cykle cieplne spawania w różnej odległości od linii wtopienia spoiny [7]

3. Modele matematyczne kinetyki przemian fazowych

Analizę przemian fazowych zachodzących podczas spawania w SWC prowadzi się najczęściej na podstawie wykresów rozpadu przechłodzonego austenitu w warunkach spawalniczych cykli cieplnych (CTPc-S) [3]. Zazwyczaj wykres ten uzupełnia się wykresami zmian własności mechanicznych w funkcji czasu $t_{8/5}$.

Skład strukturalny złącza spawanego wyznacza się w oparciu o klasyczne matematyczne modele kinetyki przemian fazowych w stanie stałym, bazujące na spawalniczych wykresach CTP_A przy nagrzewaniu i CTPc-S przy chłodzeniu dla przyjętego gatunku stali.

Fundamentalnym równaniem opisującym przyrost powstającego ułamka austenitu podczas nagrzewania jest równanie Johnsona Mehla-Avramiego [8]:

$$\tilde{\eta}_A(T, t) = \eta_{(.)} (1 - \exp(-bt^n)) \quad (1)$$

gdzie $\eta_{(.)}$ jest sumą ułamków objętościowych faz struktury wyjściowej ($\eta_{(.)}=1$), b i n to współczynniki określane na podstawie warunku początku i końca przemiany [3].

W trakcie procesu nagrzewania przyrost powstającego ułamka austenitu w granicach temperatur austenitacji $A_{c1}(t)$ i $A_{c3}(t)$ wyznaczyć można także zgodnie ze formułą podaną przez V.I. Machnienkę [9]:

$$\tilde{\eta}_A(T, t) = 1 - \exp\left(-k \frac{T_{sA} - T}{T_{sA} - T_{fA}}\right) \quad (2)$$

gdzie T_{sA} i T_{fA} to temperatury początku i końca przemiany austenitycznej, współczynnik $k \in [2.5-3]$.

W procesie chłodzenia ułamki powstałych faz są zależne od temperatury i szybkości chłodzenia w przedziale od 800-500°C. Udział nowej fazy wyznacza się najczęściej za pomocą równania Johnsona-Mehla-Avramiego uwzględniając w nim istniejące już udziały fazowe:

$$\begin{aligned} \eta_{(.)}(T, t) &= \eta_{(.)}^{\%} \tilde{\eta}_A (1 - \exp(-b(t(T))^n)) \\ \eta_A - \sum_k \eta_k &\geq 0 \\ \sum_k \eta_k^{\%} &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie $\eta_{(.)}^{\%}$ jest to maksymalny ułamek fazy, $\tilde{\eta}_A$ jest ułamkiem austenitu który powstał w procesie nagrzewania, η_k jest ułamkiem fazy powstałej wcześniej podczas chłodzenia.

Podczas procesu chłodzenia w zakresie przemian dyfuzyjnych wykorzystać można także model V.I. Machnienko (4), natomiast w przypadku przemiany martenzytycznej analizę przeprowadza się na podstawie zmodyfikowanej formule Koistinen-Marburgera (5) [9]:

$$\tilde{\eta}_i(T, t) = \eta_{(.)}^{\%} \tilde{\eta}_A \left(1 - \exp\left(-k \frac{T_s^i - T}{T_s^i - T_f^i}\right) \right) \quad (4)$$

gdzie $\eta_{(.)}^{\%}$ to maksymalny ułamek fazy dla ustalonej prędkości chłodzenia, oszacowany na podstawie wykresu ciągłego chłodzenia CTPc-S, $\tilde{\eta}_A$ ułamek austenitu

powstałego w procesie nagrzewania, T_s^i i T_f^i to odpowiednio temperatury początku i końca przemian, określa się na podstawie wykresu CTPc-S, natomiast k to współczynnik z zakresu 2.5-3.

$$\tilde{\eta}_M(T) = \eta_{(\cdot)}^{\%} \tilde{\eta}_A \left(1 - \exp \left(-k \left(\frac{M_s - T}{M_s - M_f} \right)^m \right) \right), T \in [M_s, M_f(v_{8/5})] \quad (5)$$

gdzie M_s i M_f to temperatury początku i końca przemiany martenzytycznej, k i m to stałe określane na podstawie badań doświadczalnych.

4. Analityczne metody analizy przemian fazowych, składu strukturalnego i własności mechanicznych złącza

Modele analityczne dotyczą prognozowania struktury stali na podstawie składu chemicznego stali, a następnie budowania uproszczonych wykresów CTPc-S. Wzory wyznacza się za pomocą analizy statystycznej zbioru wyników serii badań doświadczalnych dla pewnych grup materiałowych. W wyniku tych badań podane są wzory pozwalające wyznaczyć wielkości charakterystyczne przemiany austenitu. Zależności te dotyczą temperatur początku przemian przy nagrzewaniu i chłodzeniu, czasów początku i końca występowania poszczególnych faz, prędkości chłodzenia jako funkcji mocy źródła oraz krytycznych prędkości chłodzenia, przy których występują struktury hartownicze [1, 3, 10-12]. Podane we wszystkich wzorach empirycznych symbole pierwiastków chemicznych oznaczają udział procentowy danego pierwiastka w stali, np. C → %C.

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane dwa modele analityczne pozwalające na budowę wykresów CTPc-S oraz prognozę własności mechanicznych dla grupy stali spawalnych niskowęglowych i stali o podwyższonej wytrzymałości. Model analityczny I zawiera wzory zamieszczone w pracach [11, 12], natomiast model II zawiera wzory poddane weryfikacji doświadczalnej.

Czasy $t_{8/5}$ inicjacji dyfuzyjnych poszczególnych przemian fazowych według [1, 11, 12] można wyznaczyć następująco:

Model analityczny I:

$$M_s = 506 - 37C - 24.2Mn - 14.4Si - 14.7Ni + 214Nb \quad (6)$$

$$\ln t_B = -2.4 + 0.45\sqrt{C} + 0.91Mn + 0.37Si + 0.57 + 0.91Mo + 0.75Ni \quad (7)$$

$$\ln t_F = -3.3 + 6.9\sqrt{C} + 2.0Mn + 1.52Cr + 2.66Mo - 3.76V \quad (8)$$

$$\ln t_P = 0.825 + 1.64Mn + 0.76Si + 1.64Cr + 2.17Mo + 0.94N \quad (9)$$

$$\ln t_k = -0.07 + 0.84Mn + 1.40Cr + 3.35\sqrt{C} \quad (10)$$

Model analityczny II:

$$M_s = 530 - 415C + 90C^2 - 35Mn - 30Cr - 20Ni - 15W - 10Mo \quad (11)$$

$$M_f = 381.76 - 252.44C - 111.12Mn + 54.538Si + \\ 114.17Cr - 23.779Ni - 57.381Mo + 215.7V \\ + 945.4Nb + 1821.7Ti - 1746.5B \quad (12)$$

$$t_B = -1.8 + 28.3C + 17.1Mn - 59.6Si - 20Cr + 13.2Ni + 0.1Mo \\ - 5.3V + 47.0Nb - 289.6C^2 - 3.7Mn^2 + 65.4Si^2 + 38.6Cr^2 \\ - 7.0Ni^2 - 21.0Mo^2 - 9.8CMn - 19.5MnSi + 232.1CSi \quad (13)$$

$$t_F = 10^{[5.8(C+Si/291+Mn/14+Ni/67+Cr/16+Mo/6+V/425)-0.83]} \quad (14)$$

$$t_P = 10^{[5.14(C+Si/17+Mn/19+Ni/25+Cr/16+Mo/4+V/3)+0.06]} \quad (15)$$

gdzie M_s jest temperaturą początku przemiany martenzytycznej, M_f jest temperaturą końca przemiany martenzytycznej, t_B , t_F , t_P , t_k to czasy początku poszczególnych przemian fazowych.

Zależne od czasu ($t=t_{8/5}$) temperatury początku powstawania ferrytu, bainitu oraz perlitu i temperatura końca przemian, można wyznaczyć za pomocą wzorów [11, 12]. Wzory te można zastosować dla obu modeli analitycznych:

$$B_s(t) = T_{B0} + \Delta T_B \operatorname{erf}[(\ln t - \ln t_{B0})K_B] + K_{Bt} \ln t \rightarrow T_{B0} = T_{B0}(t) = M_s \quad (16)$$

$$F_s(t) = T_{F0} + \Delta T_F \operatorname{erf}[(\ln t - \ln t_{F0})K_F] + K_{Ft} \ln t \rightarrow T_{k0} = T_{k0}(t) = M_s \quad (17)$$

$$P_s(t) = T_{P0} + \Delta T_P \operatorname{erf}[(\ln t - \ln t_{P0})K_P] + K_{Pt} \ln t \rightarrow T_{F0} = B_s(t_{F0}) \quad (18)$$

$$T_k(t) = T_{k0} + \Delta T_k \operatorname{erf}[(\ln t - \ln t_{k0})K_k] + K_{kt} \ln t \rightarrow T_{P0} = B_s(t_{P0}) \quad (19)$$

Natomiast wielkości: ΔT_B , K_B , ΔT_F , K_F , ΔT_P , K_P , ΔT_k , K_k zależą od składu chemicznego badanej stali:

$$\Delta T_B(^{\circ}C) = 172 + 88C - 17Mn - 34Cr - 19Ni \quad (20)$$

$$K_B = 0.68 + 1.2C + 0.34Si - 0.25Cr - 0.17Ni \quad (21)$$

$$\Delta T_F (^\circ\text{C}) = 235 - 244C - 60.6Mn - 30Si - 34Cr + 45Ni + 200V \quad (22)$$

$$K_F = 0.62 + 0.2Cr - 0.45Mo \quad (23)$$

$$\Delta T_p (^\circ\text{C}) = 74 + 114C - 32Si + 94Cr - 74\sqrt{Ni} \quad (24)$$

$$K_p = 0.45 + 0.3C + 0.9Mo - 0.4Ni \quad (25)$$

$$\Delta T_k (^\circ\text{C}) = 101 + 200C - 45.8Si - 41.3Cr - 350V + 670Ti - 1100Nb \quad (26)$$

$$K_k = 3.36 + 0.39Mn - 0.32Si + 0.31Mo + 0.4Ni - 0.94V \quad (27)$$

Współczynniki K_{Bt} , K_{Ft} , K_{Pt} , K_{kt} wzrastają wraz z zawartością węgla i zmieniają się następująco: K_{Bt} , K_{Ft} i $K_{kt} \in [5-15]$, $K_{Pt} \in [3-12]$.

W analizie przemian fazowych zachodzących podczas spawania bardzo przydatny jest analityczny model określania składu fazowego, w zależności od prędkości chłodzenia. Ułamki objętościowe powstających struktur ferryt+perlit (η_{FP}), martenzyt (η_M) oraz bainit (η_B), podane w funkcji czasu chłodzenia $t_{8/5}$, wyznacza się następująco [3, 13]:

$$\begin{aligned} \eta_{FP} &= 0.5 \left[1 + \operatorname{erf} \frac{((\ln t) - \ln \Delta t_M)}{\ln S_M} \right] \\ \eta_M &= 0.5 \left[1 - \operatorname{erf} \frac{((\ln t) - \ln \Delta t_{FP})}{\ln S_{FP}} \right] \\ \eta_B &= 1 - \eta_M - \eta_{FP} \end{aligned} \quad (28)$$

gdzie:

$$\ln \Delta t_{FP} = 0.85 + 7.43C + 1.84Mn + 0.55Cr + 3.2Mo + 0.95Ni - 9.26C^2 \quad (29)$$

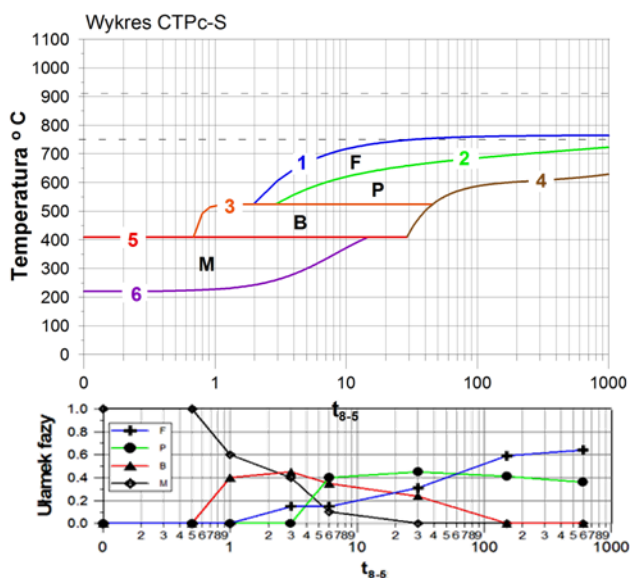
$$\ln S_{FP} = 1.42 - 1.6C + 0.23Mn + 0.42Si + 0.22Ni + 0.32Mo \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \ln \Delta t_M &= -1.49 + 13.6C + 1.0Mn + 0.33Si + 0.48Cr + 0.94Mo \\ &+ 0.87Ni - 14.2C^2 \end{aligned} \quad (31)$$

$$\ln S_M = 0.65 - 0.52C + 0.23Mn + 0.16Cr + 0.18Mo \quad (32)$$

Występujące w powyższych wzorach wielkości Δt_{FP} , Δt_M oznaczają przewidywane czasy chłodzenia od temperatury 800°C do uzyskania 50% udziału fazy ferrytyczno-perlitycznej lub martenzytycznej, $t=\Delta t_{8,5}$ jest czasem chłodzenia pomiędzy temperaturami 800-500°C.

Na rysunku 4 przedstawiono wyznaczony za pomocą wzorów analitycznych teoretyczny wykres CTPc-S oraz ułamki objętościowe [3].



Rysunek 3. Wykres CTPc-S oraz ułamki objętościowe wyznaczone analitycznie [3]

Podczas procesu spawania z powodu zróżnicowanych warunków nagrzewania i chłodzenia występują zmiany struktury, a co za tym idzie zmiany właściwości mechaniczne połączeń spawanych. Niezbędne jest zatem określenie powstałych zmian. Właściwości mechaniczne połączenia spawanego można określić na podstawie składu strukturalnego oraz własności każdej ze struktur, wykorzystując wzory empiryczne. Jeżeli znany jest skład strukturalny materiału, a dokładniej udział poszczególnych faz (ferryt+perlit, martenzyt i bainit) oraz właściwości poszczególnych składników strukturalnych W_i można z dużym prawdopodobieństwem prognozować właściwości mechaniczne całej strefy, takie jak granica plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie, przewężenie, wydłużenie oraz twardość według zależności [3]:

$$W = \sum_{i=M,B,F,P} W_i \eta_i \quad (33)$$

przy czym W może oznaczać twardość (HV), granicę plastyczności (Re), wytrzymałość na rozciąganie (Rm), przewężenie (A) lub wydłużenie (Z) natomiast η_i oznacza udział poszczególnych składników strukturalnych.

Właściwości mechaniczne takie jak twardość (HV_i), granica plastyczności (Re_i) i wytrzymałość na rozciąganie (Rm_i) poszczególnych faz (feryt+perlit, martenzyt i bainit) określa się za pomocą składu chemicznego [1, 2, 3, 10].

Twardość:

$$\begin{aligned} HV_{FP} &= 98 + 275C - 15.4Mn \\ HV_M &= 309 - 494C + 622C^2 + 17.7Mn \\ HV_B &= 234 + 122C \end{aligned} \quad (34)$$

Granica plastyczności:

$$\begin{aligned} Re_{FP} &= 187 + 92C + 47Mn + 90V \\ Re_M &= 602 + 2150C + 500Mo \\ Re_B &= 500 + 460C - 120C^2 + 150V + 360Mo \end{aligned} \quad (35)$$

Wytrzymałość na rozciąganie:

$$\begin{aligned} Rm_{FP} &= 297 + 1360C + 60Mn + 140V \\ Rm_M &= 798 + 3215C \\ Rm_B &= 590 + 960C + 39.7Mn + 200V \end{aligned} \quad (36)$$

Wydłużenie (A_i) oraz przewężenie (Z_i) dla poszczególnych składników fazowych można wyznaczyć według [1, 11, 12] jako funkcję składu chemicznego stali i czasu (t) (czas chłodzenia pomiędzy temperaturami 800-500 °C):

Wydłużenie:

$$\begin{aligned} A_M &= 12.2 - 67C^2 - 1.5Mn + 0.76 \ln t \\ A_B &= 21.3 - 35.6C - 4.0Mn - 5.0V + 1.84 \ln t \\ A_{FP} &= 36.5 - 127C + 153C^2 - 1.16Mn + 8.0V + 0.66 \ln t \end{aligned} \quad (37)$$

Przewężenie:

$$\begin{aligned} Z_M &= 48.5 - 158C + 116C^2 - 0.98 \ln t \\ Z_B &= 53.3 - 132C + 103C^2 - 5.1Mn - 10V + 3.4 \ln t \\ Z_{FP} &= 65.4 - 88C - 82C^2 - 6.7Mn + 18V + 0.6 \ln t \end{aligned} \quad (38)$$

5. Modele spawalniczych źródeł ciepła w analizie pola temperatury

Pole temperatury w procesach spawania odgrywa kluczową rolę i jest przedmiotem wielu badań i analiz [3, 14, 15]. Rozkład temperatury ma wpływ na wiele czynników, które decydują o jakości otrzymanego złącza spawanego. Wymienić tu można takie aspekty jak np. strukturę spoiny i obszaru strefy wpływu ciepła oraz jej wielkość, czy też powstające deformacje i naprężenia własne [3]. Charakter pola temperatury jaki powstaje podczas spawania zależy od zastosowanej metody spawania, a w szczególności od rodzaju i parametrów spawalniczego źródła energii. Dlatego też znajomość

rozkładu temperatury jaki powstaje jest niezwykle cenna, ponieważ pozwala przewidywać pewne zjawiska w materiałach spawanych, a przez to sterować parametrami spawania w taki sposób, aby złącze spawane charakteryzowało się pożądanymi własnościami. Do wyznaczania pola temperatury stosuje się metody analityczne (uproszczone), numeryczne (oparte na MES) oraz eksperymentalne (np. pomiary kamerą termowizyjną czy z użyciem termopar). W literaturze [3, 16, 17] można znaleźć wiele zależności mających na celu oszacowanie pola temperatury przy spawaniu. Jednym z nich jest analityczny sposób wyznaczenia pola temperatur.

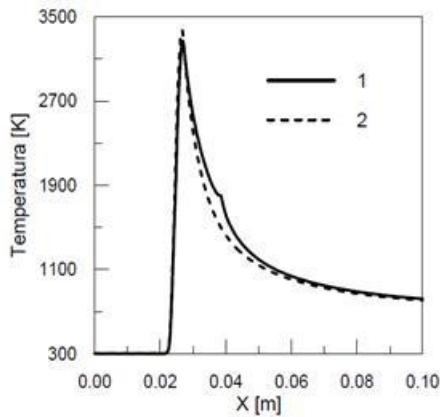
Na przełomie lat zostało napisanych wiele prac dotyczących budowy modeli źródeł ciepła w procesach nagrzewania laserem. Prace dotyczą źródeł powierzchniowego nagrzewania jak i numerycznych źródeł przy spawaniu [18, 19]. Większość opublikowanych prac uwzględniających przepływ ciepła podczas procesu spawania uznaje, że źródło ciepła skoncentrowane jest w bardzo małej objętości materiału. Po takim spostrzeżeniu uzyskano rozwiązania analityczne zakładające punktowe, liniowe lub płaskie źródła ciepła. Początkowo badania analityczne opisujące procesy spawania za pomocą modeli źródeł ciepła zaproponowanych przez Rosenthala (1941) znacząco odbiegały od rzeczywistości. Zaproponowane przez autorów prac [18-22] w kolejnych latach modele są aktualnie najczęściej stosowanymi modelami źródeł ciepła.

Najczęściej stosowanym modelem źródła ciepła jest model opisany rozkładem Gaussa oraz podwójnie elipsoidalny model źródła Goldaka, opisujące odpowiednio proces spawania laserowego oraz proces spawania łukiem elektrycznym.

Model źródła ciepła o rozkładzie Gaussa jest jednym z najczęściej używanych modeli, wykorzystywanych do opisywania zagadnień związanych z procesami nagrzewania laserem. Przykładowy rozkład temperatur na powierzchni górnej i dolnej w płaszczyźnie działania źródła przedstawiono na rysunku 4 [3].

$$q(r) = \frac{fQ}{\pi r_0^2} \exp\left(-f \frac{r^2}{r_0^2}\right) \quad (39)$$

gdzie Q jest mocą wiązki laserowej [W], r_0 jest promieniem wiązki [m], natomiast r jest promieniem bieżącym [m], a współczynnik f (najczęściej przyjmowany jako $f = 3$) charakteryzuje rozkład wiązki.



Rysunek 4. Przykładowy rozkład temperatur na powierzchni górnej w płaszczyźnie działania źródła (1 – topnienie i krzepnięcie). [3]

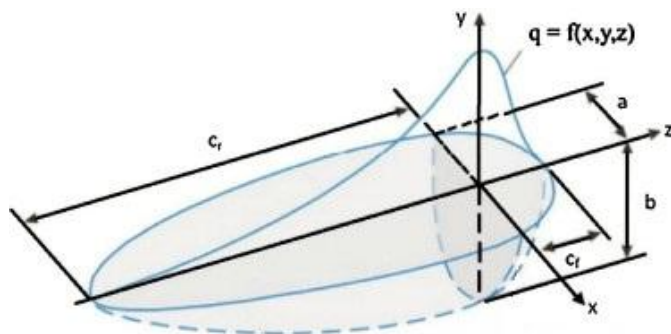
Do opisu modelu źródła ciepła występującego podczas spawania łukiem elektrycznym stosuje się podwójnie elipsoidalny model źródła ciepła zaproponowany przez J. A. Goldaka. W 1983 roku Goldak jako pierwszy zaproponował trójwymiarowe (3D) podwójnie elipsoidalne ruchome źródło ciepła. Model podwójnie elipsoidalny (rys. 5) składa się z dwóch pół-elipsoidalnych objętości, które zostały wspólnie połączone tworząc nowy strumień cieplny. W modelu tym należy więc osobno opisać równaniem dwie pół-elipsy występujące przed oraz za źródłem ciepła przyjmując określone parametry geometryczne: a , b , c_f , c_r .

$$q_f(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}f_f Q}{abc_f \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-3\frac{x^2}{a^2}\right) \exp\left(-3\frac{y^2}{b^2}\right) \exp\left(-3\frac{z^2}{c_f^2}\right) \quad (40)$$

$$q_r(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}f_r Q}{abc_r \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-3\frac{x^2}{a^2}\right) \exp\left(-3\frac{y^2}{b^2}\right) \exp\left(-3\frac{z^2}{c_r^2}\right) \quad (41)$$

gdzie: a , b , c_f oraz c_r [m] są ustawieniem osi definiującym przednią i tylną elipsoidę, Q jest mocą źródła ciepła, f_r oraz f_f reprezentują rozkład energii na przedniej i tylnej sekcji źródła ciepła, wypadkowa rozkładu energii źródła jest całkowitą sumą opisaną jako:

$$q(x, y, z) = q_f(x, y, z) + q_r(x, y, z)$$



Rysunek 5. Model podwójnie elipsoidalny Goldaka spawalniczego źródła ciepła [22]

W rozwiązaniach równania przewodnictwa ciepła zarówno analitycznych, jak i numerycznych często spotyka się także model źródła Mazzumdera. Uwzględnia on absorpcję energii i głębokość penetracji:

$$q(r, z) = \frac{2\beta Q}{\pi r_0^2} \exp\left(-2\frac{r^2}{r_0^2} - \beta z\right) \quad (42)$$

gdzie Q jest mocą wiązki laserowej [W], r_0 jest promieniem wiązki [m], β jest współczynnikiem absorpcji energii natomiast r jest promieniem bieżącym [m].

6. Przykłady zastosowania metod analitycznych w analizie przemian fazowych i własności mechanicznych SWC

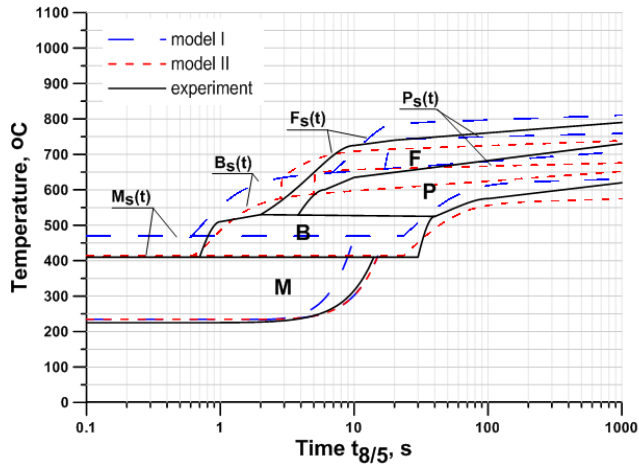
W pracy przedstawiono wykorzystanie metod analitycznych do oceny spawalności stali S355, S460. Stale te należą do grupy stali spawalnych niskowęglowych. Skład chemiczny badanych stali przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny stali S355, S460, [%]

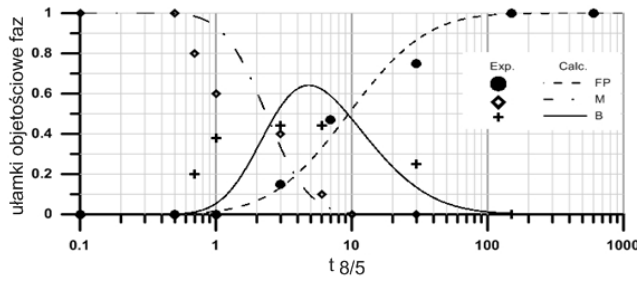
Stal	C	Mn	Si	P	Al	Cr	Ni	S	Cu	V	Nb
S355	0.19	1.05	0.2	0.028	0.006	0.08	0.11	0.01	---	---	---
S460	0.19	1.62	0.60	---	0.032	0.10	0.09	---	0.11	0.10	0.012

Źródło: Opracowanie własne

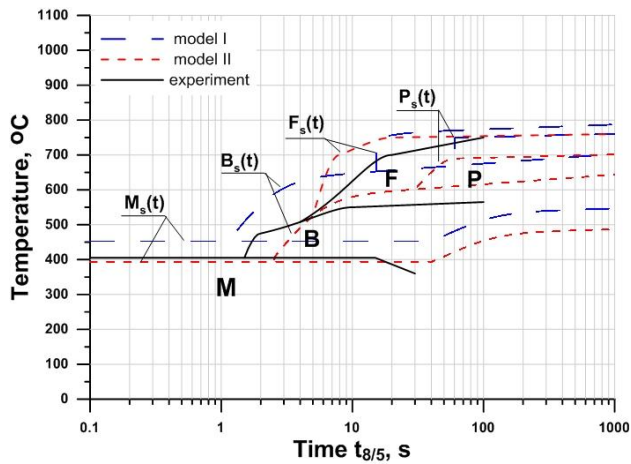
Obliczeniowe wykresy CTPc-S dla stali S355 i S460 wyznaczone za pomocą zależności (5)-(27) przedstawiono na rysunkach 6 i 8. Dodatkowo w celu weryfikacji zamieszczono wyniki badań eksperymentalnych. Końcowy skład strukturalny czyli udział poszczególnych składników strukturalnych określony za pomocą wzorów (28)-(32) przedstawiono na rysunkach 7 i 9.



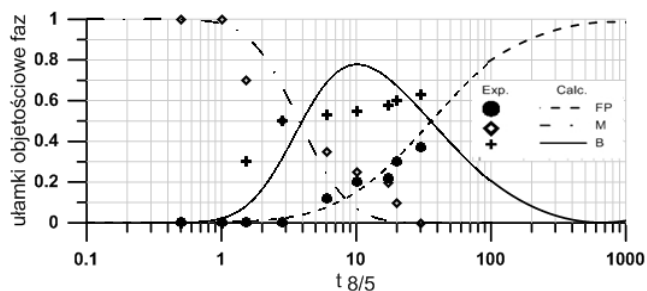
Rysunek 6. Analityczny i doświadczalny wykresy CTPc-S stali S355 [opracowanie własne]



Rysunek 7. Analityczne i doświadczalne udziały poszczególnych przemian fazowych w zależności od czasu $t_{8/5}$ stali S355 [opracowanie własne]

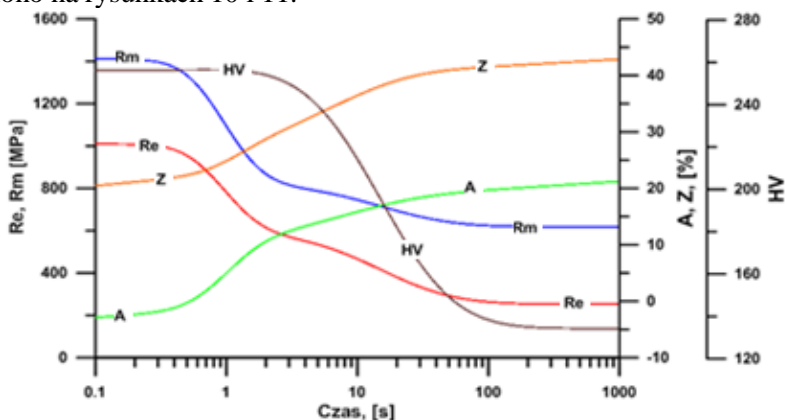


Rysunek 8. Analityczny i doświadczalny wykresy CTPc-S stali S460 [opracowanie własne]

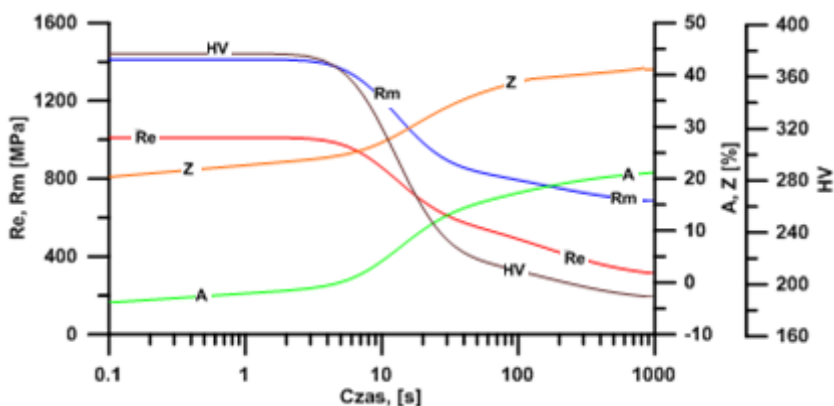


Rysunek 9. Analityczne i doświadczalne udziały poszczególnych przemian fazowych w zależności od czasu $t_{8/5}$ stali S460 [opracowanie własne]

Prognozowane rozkłady własności mechanicznych w funkcji czasu chłodzenia $t_{8/5}$ dla stali S355 i S460 otrzymanych za pomocą metod analitycznych (33)-(38) przedstawiono na rysunkach 10 i 11.



Rysunek 10. Prognozowany rozkład własności mechanicznych stali S355 [opracowanie własne]



Rysunek 11. Prognozowany rozkład własności mechanicznych stali S460 [opracowanie własne]

7. Podsumowanie

Metody analityczne budowania uproszczonych wykresów CTPc-S na podstawie składu chemicznego stali są bardzo przydatnym i tanim narzędziem oceny spawalności stali. Dla badanych gatunków stali spawalnych, można z dużą dokładnością opracować modele analityczne służące do budowy analitycznych wykresów CTPc-S, które w dużej mierze identyfikują się z wynikami eksperymentalnymi. Na podstawie analitycznych wykresów ułamków objętościowych faz, można prognozować skład strukturalny w strefie wpływu ciepła. Za pomocą zależności analitycznych możliwe jest wyznaczenie wykresów CTPc-S z dokładnością wystarczającą do celów praktycznych. Zastosowanie metod analitycznych do oceny spawalności stali może być wykorzystywane zarówno podczas badań materiałowych jak i w praktyce przemysłowej.

Określone na drodze analitycznej własności mechaniczne złącza spawanego mogą być wykorzystane do wstępnej analizy własności materiału przeznaczonego na konstrukcje spawane, jak również jako dane wejściowe w numerycznych metodach wyznaczania naprężeń i deformacji elementów spawanych, zastępując w tym zakresie drogę badania doświadczalne.

Literatura

1. Miłkuła J. *Analityczne metody oceny spawalności stali*, Zeszyty Naukowe Mechanika nr 85, Politechnika Krakowska, Kraków 2001.
2. Tasak E. *Metallurgia spawania*, wyd. JAK, Kraków 2008.
3. Piekarska W. *Analiza numeryczna zjawisk termomechanicznych procesu spawania laserowego. Pole temperatury, przemiany fazowe i naprężenia*, seria Monografie nr 135, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
4. Kozioł P., Organek P., Gosowski B. *Ocena spawalności stali konstrukcyjnych*, Przegląd budowlany, 1(2015), s. 22-26.
5. Grigorenko G.M., Kostin W.A. *Spawalność stali i kryteria jej oceny*, Przegląd spawalnictwa, 7(2013), s. 11-17.
6. Cerjak H., Easterling K. *Mathematical modeling of weld phenomena*, The Institute of Materials, London 1993.
7. <http://is.gliwice.pl/strona-cms/fizyczna-symulacja-procesow-spawalniczych-symulatorcykli-cieplno-odkształceniowych>.
8. Avrami M., *Journal of Chemical Physics*, 7(1939), s. 1103-1112.
9. Makhnenko V.I., Veliokivanenki E. a., Makhnenko O.V., Rozyńska G.F., Pivtorak N.I. *Issledovanie vlijanija fazovykh prevraschenij na ostatocnyje naprjazeniya pri svarke kol'cevych stykov trub*, Avtomat. Svarka, 5 (2000), s. 3-8.
10. Seyffarth P., Kasatkin O. G. *Mathematisch-statistische Beschreibung der Austenitumwandlung in der Wärmeinflußzone*, Schweißtechnik, 29 (1979), s. 117-119.
11. Kasatkin O. G., Seyffarth P. *Interpolacionnyje modeli dlâ ocenki fazovogo sostava zony termičeskogo vliâniâ pri dugovoj svarke nizkolegirovannyh stalej*, Avtomat. Svarka, 1 (1984), s. 7-11.
12. Seyffarth P., Kasatkin O.G. *Rascentnyje modeli dla ocenki mechaniceskich svojstv metalla ZTV pri svarke nizkolegirovannyh stalej*, Proc. Int. Conference mechanical Modelling and Information Technologies in Welding and Related Processes, ed. V.I.Makhnenko, Katsiveli, Crimea, E.O. Paton Welding Inst. of NAS of Ukraine, Kiev 2002, s. 103-106.
13. Shen H., Shi Y., Yao Z., Hu J. *An analytical model for estimating deformation in laser forming*, Computational Materials Science, 37 (2006), s. 593-598.

14. Kubiak M., Piekarska W., Stano S., Saternus Z. *Numerical modelling of thermal and structural phenomena in Yb:YAG laser butt-welded steel elements*, archives of Metallurgy and Materials, 60 (2015), s. 821-828.
15. Kubiak M., Piekarska W. *Comprehensive model of thermal phenomena and phase transformations in laser welding process*, Computers and Structures, 172 (2016), s. 29-39.
16. Śloderbach Z. *Analityczne oszacowania zakresu I obszarów strefy wpływu ciepła (SWC) przy spawaniu stali węglowej*, Przegląd Mechaniczny, 1(2000), s. 6-9.
17. Piekarska W. *Analiza numeryczna przemian fazowych w SWC połączenia spawanego laserowo ze wstępny podgrzewaniem*, Inżynieria Materiałowa, 27 (2006), s. 830-834.
18. Chang W.S., Na S.J. *A study on the prediction of the laser weld shape with varying heat source equations and the thermal distortion of a small structure in micro-joining*, Journal of Materials processing Technology, 120 (2002), s. 208-214.
19. Mackwood a.P., Cafer P.C. *Thermal modelling of laser welding and related process: a literature review*, Optic and Laser Technology, 37 (2005), s.99-115.
20. Liu Y.N., Kannatey-Asibu E. *Laser beam welding with simultaneous Gaussian preheating*, Journal of Heat transfer, 2 (1993), s. 34-41.
21. Goldak J., Bibby M., Moore J., House R., Patel B. *Computer modeling of heat flow welds*, Metallurgical Transactions, 17B (1986), s. 587-599
22. Xiaolei J., Jie X., Zhaoheng L., Shaojie H., Yu F., Zhi S. *A new method to estimate heat source parameters in gas metal arc welding simulation process*, Fusion Engineering and Design, 89 (2014), s.40-48.

Teoretyczne podstawy oceny spawalności stali

Spawalność jest jednym z trudniejszych pojęć do zdefiniowania z uwagi na zespół czynników decydujących o przydatności danego materiału do wykonania konstrukcji spawanej. Jednym z kierunków badań nad oceną spawalności stali stanowią analityczne metody tej oceny. Prace z tego zakresu otwierają możliwość oceny spawalności w projektowaniu technologii spawania. W niniejszej pracy przedstawiono zastosowanie tych metod do analizy przemian fazowych w prognozowaniu składu strukturalnego połączeń spawanych. Przeprowadzono analizę przydatności wybranych zależności opisujących charakterystyczne temperatury i czasy przemian służące do opracowania wykresów CTPc-S. Zaprezentowano analitycznie wyznaczone wykresy CTPc-S oraz prognozowany końcowy skład strukturalny stali przy założeniu różnych temperatur austenitizacji. Przedstawiono przydatność metod analitycznych do prognozowania własności mechanicznych strefy wpływu ciepła połączenia spawanego stali o podwyższonej wytrzymałości. Zaprezentowano zmiany granicy plastyczności (Re), wytrzymałości na rozciąganie (Rm), przewężenia (Z), wydłużenia (A) oraz twardości (HV) w funkcji czasu chłodzenia $t_{8/5}$. Otrzymane wielkości porównano z wynikami otrzymanymi doświadczalnie.

Słowa kluczowe: spawalność, metody analityczne, własności mechaniczne, przemiany fazowe, strefa wpływu ciepła

Theoretical basics for estimating the steel weldability

Weldability is one of most difficult terms to define due to a set of factors deciding the suitability of specified material for the welded construction. One of the research directions on the steel weldability are the analytical methods of this assessment. Papers in this field of study open a possibility of assessment of weldability in the design of welding technology. Application of these methods is presented in this paper for the analysis of phase transformations and in prediction of structural composition of welded joints. The analysis is performed of the suitability of selected relationships describing characteristic transformation temperatures and transformation times which can be used to build continuous cooling transformation (CCT) diagrams. The analytically determined CCT diagrams and predicted final structural composition are presented in a function of different austenitization temperatures. The usefulness of analytical methods for the prediction of mechanical properties of heat affected zone in joints made of high strength steel is presented. Distributions of yield strength (Re), tensile strength (Rm), contraction (Z), elongation (A) and Hardness (HV) in the function of time $t_{8/5}$ are presented. Obtained values are compared with experimentally obtained results.

Keywords: weldability, analytical methods, mechanical properties, phase transformations, heat affected zone

Zastosowanie pakietu inżynierskiego Abaqus do rozwiązywania problemów procesu spawania

1. Wprowadzenie

Współczesne rozwiązania technologiczne stosowane w przemyśle wynikają z ciągłego wzrostu zapotrzebowania rozwijającego się społeczeństwa. Wdrażane do produkcji nowe rozwiązania technologiczne niosą ze sobą powstawanie coraz to nowszych problemów, z którymi muszą zmagać się projektanci i konstruktorzy. Dodatkowo ciągły wzrost zapotrzebowania wpływa znacząco na zwiększenie szybkości produkcji przy zachowaniu wysokiej jakości wytwarzanych produktów i niskich kosztach [1, 2].

Jedną z najczęściej wykorzystywanych metod łączenia metali zarówno w przypadku wielkogabarytowych konstrukcji, jak i małych elementów są technologie spawalnicze [3, 4]. W zależności od zastosowanego źródła spawającego istnieje wiele metod wykonywania połączeń spawanych. Powszechnie stosowana jest metoda spawania łukowego, która jest ciągle rozwijana i udoskonalana [2].

Intensywny rozwój zarówno elektroniki, jak i optyki przyczynił się do powstania nowej koncepcji spawania a mianowicie spawania wiązką promieniowania laserowego. Wprowadzenie technik laserowych do produkcji otworzyło nowe możliwości zastosowania procesu spawania w wielu gałęziach przemysłu. Główną zaletą tej metody było zwiększenie efektywności procesu spawania oraz możliwość automatyzacji i robotyzacji procesu [4-6].

Zastosowanie wiązki promieniowania laserowego przyczyniło się do powstania nowych innowacyjnych konstrukcji np. paneli sandwich [7]. Jednym z najnowszych rozwiązań technologicznych procesu spawania jest spawanie źródłem hybrydowym laser + łuk elektryczny. Metoda ta stanowi połączenie zalet dwóch technik spawania – spawania wiązką laserową i spawania łukiem elektrycznym [2, 8]. W przypadku spawania hybrydowego źródła spawające pracują w tandemie co znacznie poprawia efektywność procesu spawania i zwiększa jakość powstałego połączenia. Technologie

¹ goszczyńska@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, <http://www.pcz.pl>

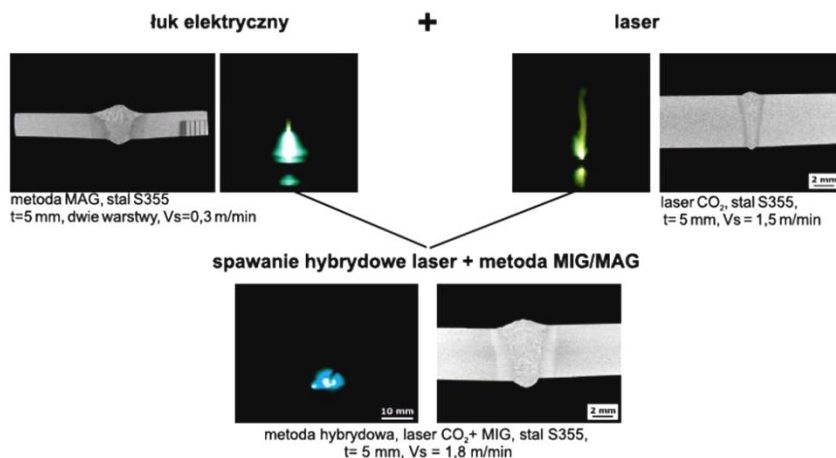
² saternus@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, <http://www.pcz.pl>

³ piekarska@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, <http://www.pcz.pl>

⁴ kubiak@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, <http://www.pcz.pl>

⁵ domanski@imipkm.pcz.pl, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, <http://www.pcz.pl>

spawania laserowego i hybrydowego gwarantują wysoką ekonomiczność procesu spawania i nie wymagają stosowania dodatkowej obróbki wykańczającej [1, 8]. Technologie spawania wiązką promieniowania laserowego są ciągle rozwijane i udoskonalane. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe przekroje poprzeczne połączeń spawanych uzyskanych z wykorzystaniem różnych technik spawania.



Rysunek 1. Przekroje poprzeczne połączeń spawanych z zastosowaniem różnych technik spawania [9]

W przypadku zastosowania spawania wiązką laserową jako źródła spawalniczego proces rozprzeczania ciepła przebiega nieco inaczej niż przy użyciu tradycyjnych łukowych źródeł ciepła. Istotnym problemem procesu są deformacje spawalnicze, które powstają w wyniku nierównomiernego rozszerzania i kurczenia się spoiny podczas jego nagrzewania i chłodzenia [1, 8, 10]. Wielkość powstałej deformacji w głównej mierze zależy od ilości ciepła wprowadzanego do materiału podczas spawania [1, 8]. Zastosowanie w produkcji technik laserowych znacząco minimalizuje wpływ obciążenia cieplnego na zmianę mikrostruktury oraz deformacje spawalnicze. Placówki badawcze na etapie budowy prototypu produktu do oceny zjawisk cieplnych i mechanicznych wykorzystują metody numeryczne [11, 12]. Modelowanie numeryczne daje możliwość dobrego odwzorowania rzeczywistych zjawisk cieplnych i mechanicznych występujących w trakcie trwania procesu spawania [1, 4, 13].

W przedstawionej pracy główną uwagę poświęcono modelowaniu zjawisk termomechanicznych w jednym z popularnych programów do prowadzenia analiz wytrzymałościowych – Abaqus FEA. Program bazuje na popularnej metodzie elementów skończonych (MES). W celu przeprowadzenia symulacji numerycznych procesu spawania z uwzględnieniem przemian fazowych w stanie stałym program Abaqus FEA wymaga implementacji dodatkowych autorskich procedur numerycznych. Dodatkowe podprogramy pozwalają na modelowanie rozkładu mocy ruchomego źródła spawającego poruszającego się przyjętej linii spawania oraz analizę składu

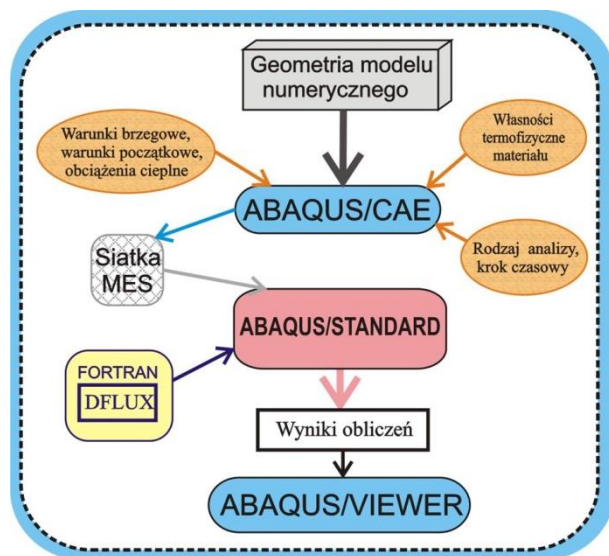
strukturalnego spawanego połączenia. Istotnym czynnikiem modelowania numerycznego jest uwzględnienie w obliczeniach zmiennych z temperaturą własności cieplno-mechaniczne spawanych materiałów. Na podstawie przeprowadzonych symulacji numerycznych procesu spawania z wykorzystaniem programu Abaqus FEA przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń numerycznych.

2. Zastosowanie programu Abaqus do numerycznego modelowania procesu spawania

W dostępnej literaturze krajowej, jak i zagranicznej coraz częściej modelowanie numeryczne procesu spawania zawiera kompleksową analizę współzależnych od siebie zjawisk termomechanicznych, gdzie w obliczeniach uwzględnia się specyficzne warunki procesu [1, 2]. Symulacja numeryczna procesu spawania, w komercyjnych systemach wspomagania prac inżynierskich bazujących na metodzie elementów skończonych jest trudna do przeprowadzenia [8]. W większości przypadków wymaga dodawania dodatkowych autorskich podprogramów niezbędnych do wprowadzenia specyficznych warunków procesu spawania. Najistotniejszymi elementami jakie należy wprowadzić do programu to ruch źródła spawającego poruszającego się po przyjętej linii spawania. Dlatego należy zaimplementować rozkład mocy wiązki źródła nagrzewającego oraz określić własności termofizyczne i termomechaniczne materiału. Na rynku oprogramowania jest dostępnych i wykorzystywanych wiele programów pozwalających na przeprowadzenie analizy procesu spawania np. SYSWELD, Ansys, Abaqus itp. W prowadzonych badaniach numerycznych wykorzystano program Abaqus FEA. Wybór tego programu wynikał z możliwości symulacyjnych jakie umożliwia to oprogramowanie. Dodatkowo program Abaqus FEA ze względu na są modułową budowę pozwala na swobodną adaptację programu do własnych potrzeb. W obliczeniach numerycznych można uwzględnić zmienne z temperaturą własności termofizyczne i termomechaniczne materiału.

2.1. Algorytmy budowy modelu numerycznego

Budowa modelu numerycznego w programie Abaqus FEA przebiega według schematu przedstawionego na rysunku 2. W trakcie opracowywania modelu użytkownik za pośrednictwem interfejsu graficznego ABAQUS/CAE definiuje między innymi geometrie modelu numerycznego, własności materiału, rodzaj analizy, krok czasowy, warunki brzegowe oraz zadane obciążenia cieplne i mechaniczne. W module „Mesh” programu Abaqus/CAE w zależności od rodzaju analizy przyjmowane są odpowiednie rodzaje elementów. Następnie na opracowaną geometrię analizowanego układu nakładana jest siatka elementów skończonych.



Rysunek 2. Algorytm budowy modelu numerycznego w programie Abaqus FEA [opracowanie własne]

W celu przeprowadzenia symulacji numerycznych sprzężonych ze sobą zjawisk termomechanicznych, niezbędna jest modyfikacja standardowej postaci programu Abaqus FEA. Do obliczeń wprowadzane są dodatkowe podprogramy (tzw. subroutiny) napisane w języku programowania Fortran. Bazując na interfejsie DFLUX, udostępnionym przez producenta programu Abaqus FEA (rys. 3), opracowano model numeryczny ruchomego źródła spawającego.

```
SUBROUTINE DFLUX (FLUX, SOL, KSTEP, KINC, TIME, NOEL, NPT,
COORDS,
1 JLTYP, TEMP, PRESS, SNAME)
C
INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'
C
DIMENSION FLUX(2), TIME(2), COORDS(3),
CHARACTER*80 SNAME
user coding to define FLUX(1) and FLUX(2)
RETURN
END
```

Rysunek 3. Interfejs procedury DFLUX [14]

Przygotowany plik wejściowy wraz z dodatkowym podprogramem DFLUX wczytywany jest do solvera obliczeniowego, gdzie wykonywane są obliczenia numeryczne. W trakcie obliczeń numerycznych użytkownik ma możliwość podglądu otrzymywanych wyników symulacji za pośrednictwem modułu ABAQUS/VIEWER.

W tym module po wykonaniu obliczeń numerycznych można przeprowadzić końcową analizę wyników.

2.2. Analiza numeryczna zjawisk cieplnych

Podczas analizy numerycznej procesu spawania rozwiązanie równania pola temperatury w programie ABAQUS FEA opiera się na prawie zachowania energii i prawie Fouriera [2, 8, 14]. Symulacja przeprowadzana jest we współrzędnych Lagrange'a. Współrzędna centrum źródła ciepła $x_0=v \cdot t$ określana jest dla każdego czasu t [s] w zależności od przyjętej prędkości spawania v [m/s]. Pole temperatury opisane poniższym równaniem wyrażone jest w kryterium metody odchyłek ważonych:

$$\int_V \rho \frac{\partial U}{\partial t} \delta T dV + \int_V \frac{\partial \delta T}{\partial x_\alpha} \cdot \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_\alpha} \right) dV = \int_V \delta T q_v dV + \int_S \delta T q_s dS \quad (1)$$

gdzie λ jest współczynnikiem przewodzenia ciepła [W/mK], $U = U(T)$ jest energią wewnętrzną [J/kg], q_v jest mocą laserowego źródła nagrzewającego [W/m³], $T = T(x_\alpha, t)$ jest temperaturą [K], q_s jest strumieniem ciepła do powierzchni materiału [W/m²], natomiast δT reprezentuje funkcje wagi.

Równanie (1) uzupełniamy się warunkiem początkowym $t = 0 : T = T_0$ oraz warunkami brzegowymi typu Dirichleta i Neumanna (2). Natomiast stratę ciepła do otoczenia poprzez konwekcję, promieniowanie i parowanie uwzględniono w warunku Newtona (3) [4]:

$$T|_\Gamma = \tilde{T} \quad q_{sym} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad (2)$$

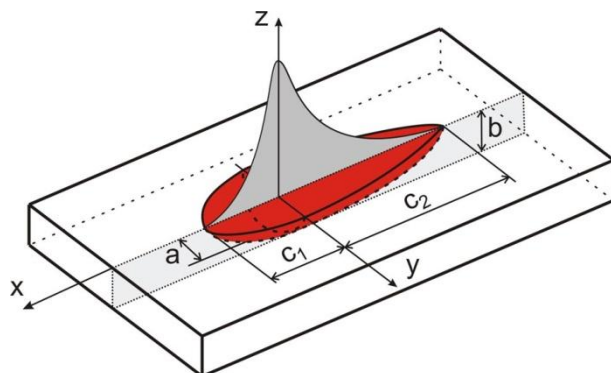
$$q_s = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -q(r,0) + \alpha_k (T|_\Gamma - T_0) + \varepsilon \sigma (T|_\Gamma^4 - T_0^4) + q_p \quad (3)$$

gdzie α_k jest konwekcyjnym współczynnikiem wymiany ciepła z otoczeniem, ε jest emisyjnym współczynnikiem promieniowania ciepła ($\varepsilon=0.5$), σ oznacza stałą Stefana-Boltzmana, natomiast $q(r,0)$ jest strumieniem źródła ciepła do powierzchni nagrzewanej, T_0 jest temperaturą otoczenia.

W przypadku analizy procesu spawania w modelu matematycznym zjawisk cieplnych należy uwzględnić ciepło przemiany fazowej ciało stałe-ciecz, z założeniem temperatury solidusu T_S [°C] i likwidusu T_L [°C]. W obliczeniach numerycznych uwzględniono ciepło krzepnięcia H_L [J/kg].

2.3. Modele matematyczne źródeł spawających

Jednym z ważniejszych elementów modelowania numerycznego procesów spawania jest dobór zarówno odpowiednich parametrów procesu oraz matematycznego modelu spawającego źródła ciepła. Każda z wykorzystywanych w przemyśle technologii spawania charakteryzuje się odrębnymi parametrami technologicznymi, które mają istotny wpływ na wielkość obciążenia cieplnego obciążającego spawany materiał [1]. Ilość ciepła doprowadzonego do złącza znacząco wpływa na kształt spoiny, strukturę złącza spawanego oraz jego właściwości wytrzymałościowe [2, 4]. W przyjętym programie obliczeniowym Abaqus FEA rozkład mocy źródła spawającego modelowany jest w dodatkowej procedurze numerycznej DFLUX. W procedurze rozkład mocy modelowany jest za pomocą opracowanych modeli matematycznych opisujących rozkład źródła ciepła. W przypadku symulacji numerycznej spawania z zastosowaniem klasycznych źródeł łukowych (MIG, TIG, itp.) zazwyczaj do opisu rozkładu mocy łuku elektrycznego stosowany jest model źródła Goldaka [15].



Rysunek 4. Przestrzenny model źródła ciepła wg Goldaka [2]

Kształt źródła Goldaka opisany jest za pomocą dwóch półelipsoid połączonych ze sobą za pomocą jednej osi (rys. 4) [32].

$$\begin{aligned}
 Q_1(x, y, z) &= \frac{6\sqrt{3}f_1Q_A}{abc_1\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(-3\frac{x^2}{c_1^2}\right) \exp\left(-3\frac{y^2}{a^2}\right) \exp\left(-3\frac{z^2}{b^2}\right) \\
 Q_2(x, y, z) &= \frac{6\sqrt{3}f_2Q_A}{abc_2\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(-3\frac{x^2}{c_2^2}\right) \exp\left(-3\frac{y^2}{a^2}\right) \exp\left(-3\frac{z^2}{b^2}\right)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

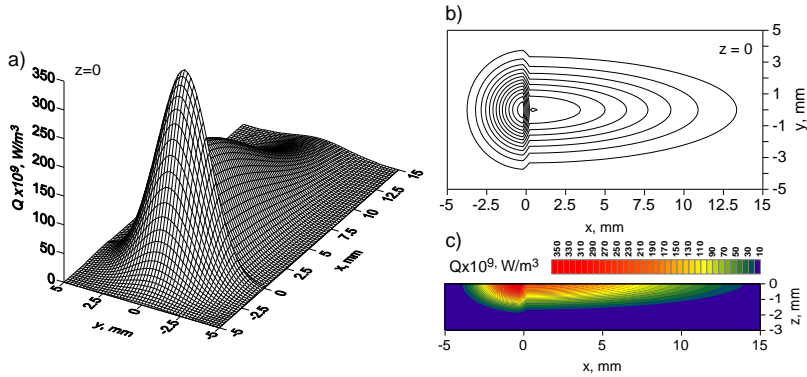
gdzie a , b oraz c_1 i c_2 są półosiami elipsoid, współczynniki f_1 i f_2 ($f_1 + f_2 = 2$) reprezentują rozkład mocy na przedniej i tylnej części źródła, a wynikowy rozkład mocy stanowi sumę składowych $Q_1(x, y, z)$ i $Q_2(x, y, z)$.

Moc łuku elektrycznego Q_A jest wyznaczana z zależności:

$$Q_A = \eta IU \quad (5)$$

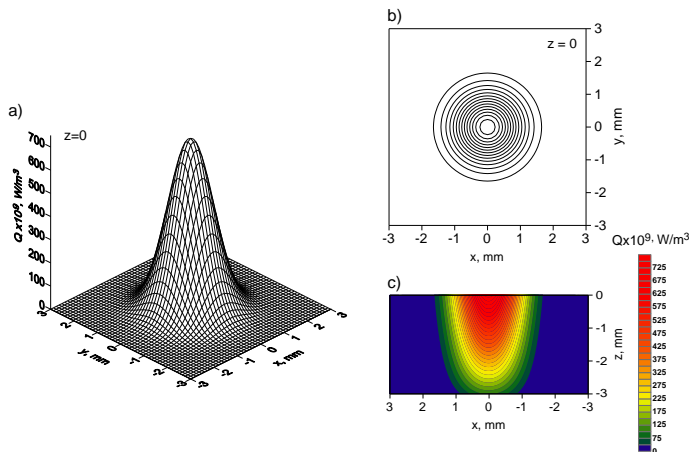
gdzie I jest natężeniem prądu [A], U jest napięciem [V], a η jest sprawnością łuku.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy rozkład mocy źródła Goldak'a, przyjęte parametry źródła to: $a = 4$, $b = 2$, $c_1 = 4$, $c_2 = 16$, $f_1 = 0,6$ i $f_2 = 1,4$.



Rysunek 5. Przykładowy rozkład źródła Goldaka, a) i b) na powierzchni górnej, c) w osi działania źródła ciepła [opracowanie własne]

W przypadku numerycznego modelowania rozkładu mocy wiązki laserowej do opisu rozkładu intensywności mocy laserowego źródła spawającego najczęściej stosowany w literaturze jest model Gaussa. W modelu źródła uwzględnia się zmianę mocy wiązki wraz ze zmianą głębokości penetracji (rys. 6) [16].



Rysunek 6. Przykładowy rozkład mocy źródła wiązki laserowej wg równania (2), a) i b) na powierzchni górnej, c) w osi działania źródła ciepła [opracowanie własne]

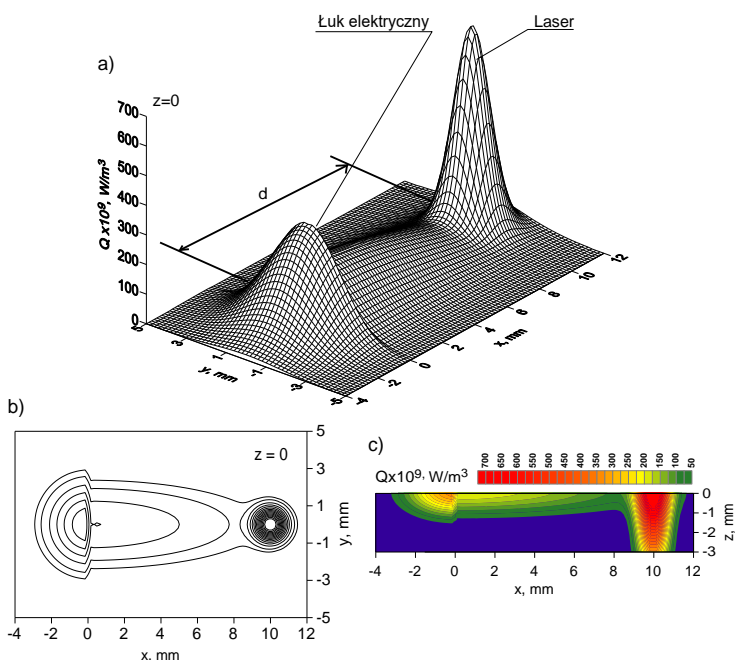
$$Q_v(r, z) = \frac{Q \cdot \eta}{\pi r_o^2 h} \exp\left[1 - \frac{r^2}{r_o^2}\right] \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad (6)$$

gdzie Q jest mocą wiązki [W], η jest sprawności procesu, h jest głębokością penetracji wiązki laserowej [m], z jest głębokością bieżącą [m], r_o jest promieniem wiązki [m], natomiast r jest promieniem bieżącym [m], przy czym $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

W przypadku analizy połączeń z wąską strefą przetopienia konieczna jest modyfikacja rozkładu mocy po głębokości spawanego materiału. Modyfikacji ulega zmiana promienia wiązki po głębokości z kształtu walcowego na kształt stożkowy.

Jedną z najnowszych technologii spawania jest metoda hybrydowa stanowiąca połączenie zalet spawania laserowego i spawania łukiem elektrycznym [8]. Wykorzystywany w obliczeniach model hybrydowego źródła spawającego stanowi połączenie dwóch objętościowych modeli źródeł ciepła: łuku elektrycznego (5) i wiązki laserowej (6).

Istotnym parametrem w przypadku źródła hybrydowego jest odległość pomiędzy źródłami d [mm]. Przykładowy rozkład mocy hybrydowego źródła spawającego, w układzie z poprzedzającym wiązkę laserową łukiem elektrycznym przedstawiono na rysunku 7.



Rysunek 7. Przykładowy rozkład mocy hybrydowego źródła spawającego, a) i b) na powierzchni górnej, c) w osi działania

2.4. Analiza numeryczna zjawisk mechanicznych

Analiza mechaniczna w programie Abaqus FEA przebiega w zakresie sprężysto-plastycznym i oparta jest na klasycznych równaniach równowagi [2, 4, 8, 17].

$$\nabla \circ \dot{\boldsymbol{\sigma}}(x_\alpha, t) = 0, \quad \dot{\boldsymbol{\sigma}} = \dot{\boldsymbol{\sigma}}^T \quad (7)$$

gdzie $\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}(\sigma_{ij})$ jest tensorem naprężenia, x_α jest wektorem położenia rozpatrywanego punktu (cząstek), (\circ) oznacza niepełny iloczyn wewnętrzny,

Równanie równowagi uzupełniają związki konstytutywne, które w postaci ogólnej można zapisać:

$$\dot{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbf{D} \circ \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^e + \dot{\mathbf{D}} \circ \boldsymbol{\varepsilon}^e \quad (8)$$

gdzie $\mathbf{D} = \mathbf{D}(T)$ jest tensorem stałych materiałowych zależnym od temperatury.

W programie Abaqus FEA odkształcenia całkowite stanowią sumę odkształceń sprężystych $\boldsymbol{\varepsilon}^e$, plastycznych $\boldsymbol{\varepsilon}^p$ oraz termicznych $\boldsymbol{\varepsilon}^T$.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{total} = \boldsymbol{\varepsilon}^e + \boldsymbol{\varepsilon}^p + \boldsymbol{\varepsilon}^{Th} \quad (9)$$

Odształcenia sprężyste $\boldsymbol{\varepsilon}^e$ modelowane są dla ciała izotropowego z zastosowaniem prawa Hooke'a. Odształcenia plastyczne wyznaczane są poprzez model plastycznego płynięcia oparty o granice plastyczności von Misesa oraz zmienne z temperaturą własności mechaniczne materiału [8].

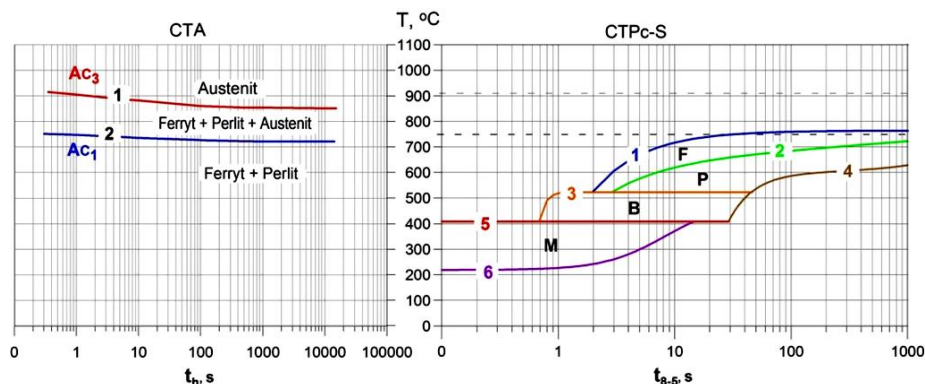
2.5. Modelowanie składu strukturalnego złącza spawanego w programie Abaqus FEA

Istotnym zjawiskiem jaki występuje w trakcie procesu spawania jest szybki, lokalny wzrost temperatur w strefie spawania oraz szybkie chłodzenie spoiny. W materiale zachodzą zmiany strukturalne, które mają istotny wpływ na jakość uzyskanego połączenia oraz powstałe naprężenia spawalnicze [1]. W trakcie prowadzenia kompleksowej analizy zjawisk termomechanicznych wpływ przemian fazowych w stanie stałym powinien być również uwzględniony [2].

Przeprowadzenie symulacji prognozowania składu strukturalnego połączenia spawanego za pomocą programu Abaqus FEA jest możliwe dopiero po opracowaniu i implementowaniu dwóch dodatkowych autorskich procedur numerycznych HETVAL i UEXPAN. Analizę numeryczną przemian fazowych oparto na klasycznych modelach matematycznych prognozowania składu strukturalnego [1, 2].

W analizie termicznej poprzez zaimplementowanie procedury HETVAL jest możliwość wyznaczania dla każdego elementu siatki MES podstawowych parametrów cyklu cieplnego tj.: temperatur maksymalnych (T_{max}), czasów nagrzewania t_h oraz czas chłodzenia ($t_{g/5}$). Uzyskane parametry procesu są następnie wykorzystywane w procedurze UEXPAN jako parametry wejściowe.

Procedura UEXPAN służy do prognozowania składu strukturalnego złącza spawanego oraz odkształceń termicznych i strukturalnych. Analizę numeryczną przemian fazowych w procedurze UEXPAN oparto na klasycznych modelach matematycznych kinetyki przemian fazowych i wykresach CTA i CTPc-S spawanej stali [1]. Na rysunku 8 przedstawiono wykresy CTA i CTPc-S dla stali S355, gdzie krzywe z wykresu zostały zapisane w postaci równań matematycznych i zaimplementowane do procedury UEXPAN [2].



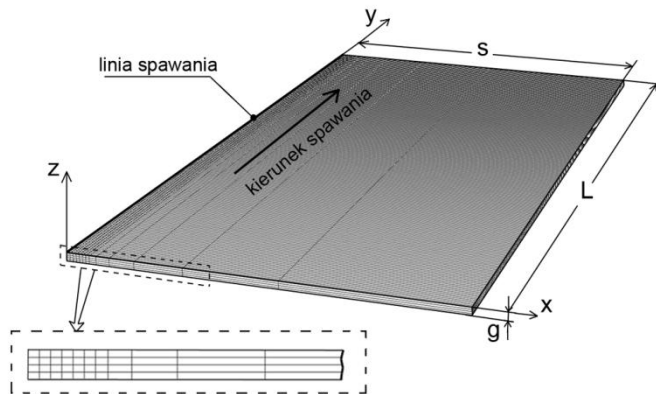
Rysunek 8. Przykładowy wykresy CTA i CTPc-S dane dla stali S355 [opracowanie własne]

Na podstawie danych uzyskanych z procedury HETVAL oraz interpolowanych w postaci krzywych wykresów ciągłego nagrzewania i chłodzenia stali dla każdego elementu siatki wyznacza się temperatury austenitacji oraz temperatury przemian fazowych. Na podstawie przyjętych modeli matematycznych kinetyki przemian fazowych określa się udziały końcowe złącza spawanego.

3. Przykładowe wyniki analizy numerycznej w programie Abaqus FEA

Na podstawie opracowanych modeli matematycznych i numerycznych zjawisk termomechanicznych procesu spawania w programie obliczeniowym Abaqus FEA został zbudowany trójwymiarowy model dyskretny spawanego połączenia. Przykładowe wyniki symulacji przedstawiono dla przypadku dwóch płaskowników spawanych wiązką promieniowania laserowego.

Na rysunku 9 przedstawiono schemat układu. Wymiary zbudowanego w programie Abaqus FEA modelu numerycznego wynoszą: $L=200\text{mm}$, $s=100\text{mm}$ i $g=2\text{mm}$. W zbudowanym modelu przyjęto idealny kontakt pomiędzy łączonymi elementami. Stąd ze względu na symetrię spawanego układu w obliczeniach przyjmuje się połowę modelu z założeniem odpowiednich warunków cieplnych i mechanicznych w płaszczyźnie symetrii. Przyczynia się to do znacznego zmniejszenia ilości elementów skończonych co znacząco ogranicza czas trwania obliczeń numerycznych.



Rysunek 9. Schemat opracowanego modelu dyskretnego w programie Abaqus [opracowanie własne]

W przedstawionym modelu numerycznym zastosowano prostopadłościenną siatkę elementów skończonych. Założono niejednorodny krok przestrzenny siatki w funkcji odległości od linii spawania. Ze względu na duży gradient temperatur w obszarze spoiny i otaczającej strefie wpływu ciepła zastosowano największe zagęszczenie siatki elementów skończonych. Analiza numeryczna zjawisk termomechanicznych została podzielona na dwa etapy. Pierwszy etap obejmował prowadzenie analizy zjawisk cieplnych. Natomiast drugi etap – analiza zjawisk mechanicznych bazowała na wynikach z poprzedniej analizy. Zarówno w analizie zjawisk cieplnych, jak i w analizie zjawisk mechanicznych zastosowano identyczne, prostopadłościenne siatki elementów skończonych, ale różniące się typem elementów: elementy DC3D8 wykorzystywano w analizie termicznej, a D3D8R w analizie mechanicznej [2]. Siatka MES została tak dobrana, by zapewniały dobrą jakość wyników, przy jak najmniejszym czasie trwania symulacji numerycznej.

W symulacji przyjęto: temperatury solidusu $T_S=1477^{\circ}\text{C}$ i likwidusu $T_L=1527^{\circ}\text{C}$, ciepło właściwe $c_S = 650$ i $c_L=840$ J/kgK. W obliczeniach numerycznych uwzględniono ciepło krzepnięcia w obszarze dwufazowym $H_L=270 \times 10^3$ J/kg. Przyjęto również konwekcyjny współczynnik wymiany ciepła z otoczeniem $\alpha_k=50$ W/m² °C. Do symulacji procesu spawania zastosowano gaussowski model objętościowego źródła ciepła. Przyjęte parametry to: moc wiązki $Q = 3000$ W, sprawność procesu spawania $\eta = 0,75$, prędkość posuwu źródła $v = 5,2$ m/min, promień wiązki $r_o = 0,3$ mm, głębokość penetracji $h = 0,6$ mm. W obliczeniach nie uwzględnia się wpływu rozrostu ziarna w temperaturze austenizacji. W algorytmie numerycznym procesu spawania dwóch płaskowników uwzględniono zmianę własności termomechanicznych stali S355 wraz ze zmianą temperatury (Tabela 1 i Tabela 2).

Tabela 1. Przyjęte własności termofizyczne stali S355

T [°C]	λ [W/m °C]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg °C]
20	52	7800	650
200	49	7800	650
1000	26,5	7800	650
1477	33,5	7800	650
1502	34	7300	745
1527	34	6800	840
2500	194	6800	840

T - temperatura; λ - przewodność cieplna; ρ - gęstość; *c* - ciepło właściwe;

Źródło: Opracowanie własne

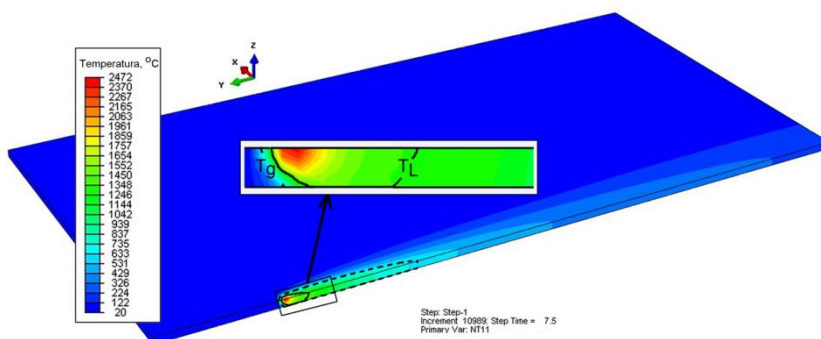
Tabela 2. Przyjęte własności termomechaniczne stali S355

T [°C]	E [GPa]	Re [MPa]	ν [-]	α^T [1/°C]
20	190	320	0,3	2,3e-5
400	160	310	0,3	1,8e-5
600	130	125	0,3	1,75e-5
700	110	60	0,3	1,7e-5
800	40	55	0,3	1,6e-5
900	10	50	0,3	1,48e-5

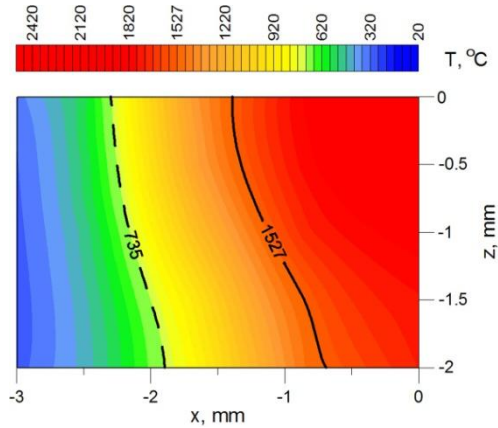
E - moduł Younga; *Re* - granica plastyczności; ν - współczynnik Poissona; α^T - współczynnik rozszerzalności cieplnej

Źródło: Opracowanie własne

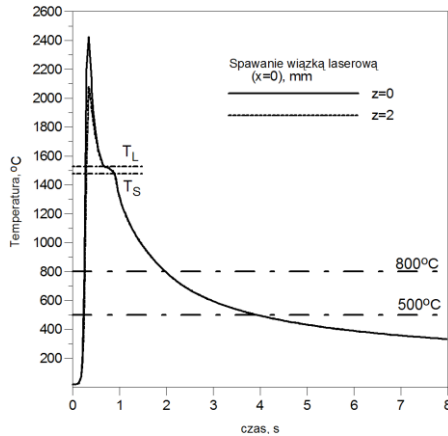
Na podstawie przeprowadzonej symulacji numerycznej zjawisk cieplnych na rysunku 10 przedstawiono rozkład temperatury w przekroju wzdłużnym natomiast na rysunku 11 w przekroju poprzecznym złącza. Na rysunkach linią ciągłą oznaczono granicę strefy przetopienia oraz granicę strefy wpływu ciepła - linia przerywana.



Rysunek 10. Rozkład temperatury w spawanym laserowo złączu czołowym [opracowanie własne]

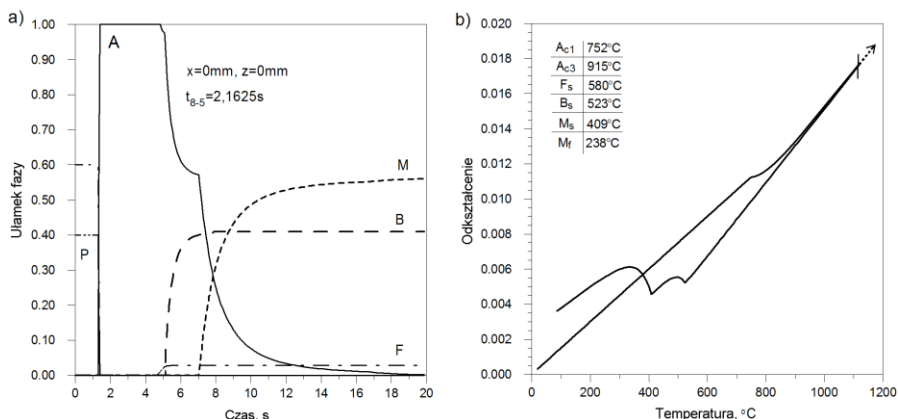


Rysunek 11. Rozkład temperatury w przekroju poprzecznym złącza [opracowanie własne]



Rysunek 12. Rozkład temperatury różnych głębokościach w płaszczyźnie działania źródła [opracowanie własne]

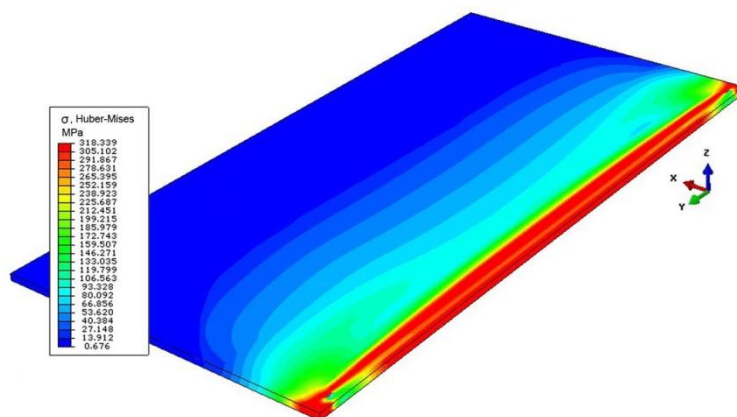
Na rysunku 12 przedstawiono cykle cieplne z linii spawania dla górnej i dolnej powierzchni płaskownika. Na wykresie zaznaczono granie występowania temperatur solidus i likwidus (T_s , T_L). Dodatkowo zaznaczono zakres temperatur 800-500 °C, na podstawie którego wyznacza się kinetykę przemian fazowych. Skład strukturalny złącza oraz odkształcenia termiczne i strukturalne określono zgodnie z przyjętymi modelami matematycznymi i numerycznymi. Na rysunku 13 przedstawiono kinetykę przemian fazowych oraz odpowiadające tym przemianom, wyznaczone numerycznie krzywe dylatometryczne. Zaprezentowane dane zostały pobrane z górnej powierzchni złącza.



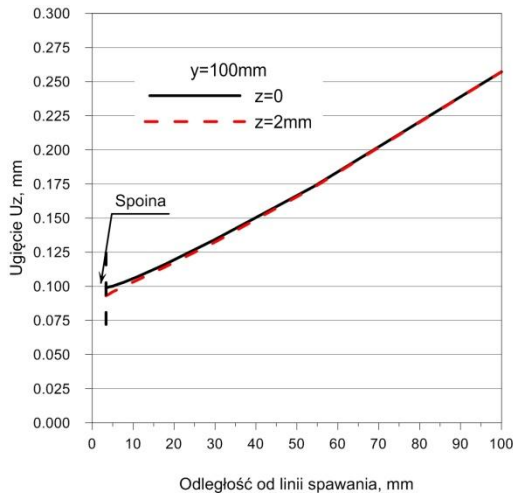
Rysunek 13. Kinetyka przemian fazowych dla wybranego elementu na powierzchni górnej złącza ($x=0, z=0$) a) i odkształcenia termiczne i strukturalne b)

Na podstawie przeprowadzonej analizy mechanicznej wyznaczono stan naprężenia oraz rozkład przemieszczeń spawanego połączenia czołowego. Na rysunku 14 przedstawiono rozkład zredukowanych naprężeń własnych w spawanym płaskowniku. Na podstawie przedstawionego rysunku można stwierdzić, że największa wartość naprężeń występuje w linii działania źródła ciepła, a wartość tych naprężeń nie przekracza 320 MPa.

Z kolei na rysunku 15 przedstawiono ugięcia w przekroju poprzecznym spawanego elementu w połowie długości spawanego elementu na powierzchni górnej i dolnej. Największa wartość ugięć występuje na końcach spawanych płaskowników.



Rysunek 14. Rozkład naprężeń zredukowanych złącza spawanego σ [opracowanie własne]



Rysunek 15. Przemieszczenia U_z na kierunku prostopadłym do linii spawania [opracowanie własne]

4. Podsumowanie

Analiza numeryczna zjawisk cieplno-mechanicznych procesu spawania z wykorzystaniem komercyjnych programów komputerowych jest jedną z trudniejszych do przeprowadzenia. Istotnymi elementami modelowania numerycznego jest: dokładne odwzorowanie modelu rzeczywistego, właściwe przyjęcie odpowiednich modeli matematycznych i numerycznych oraz właściwa interpretacja otrzymanych wyników symulacji numerycznych. Opracowany w programie Abaqus FEA model numeryczny układu wraz z dodatkowymi procedurami numerycznymi pozwala na przeprowadzenie kompleksowej analizy numerycznej procesu spawania z zastosowaniem różnych technik spawania. Opracowany algorytm analizy numerycznej w programie Abaqus FEA staje się uniwersalnym narzędziem badawczym. Właściwy dobór parametrów procesu decyduje o jakości i trwałości złącza, stąd otrzymane wyniki symulacji pozwolą na skuteczne oszacowanie miejsc powstawania wad analizowanej konstrukcji.

Literatura

1. Piekarska W. *Analiza numeryczna zjawisk termomechanicznych procesu spawania laserowego. Pole temperatury, przemiany fazowe i naprężenia*, s. Monografie 135, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
2. Saternus Z. *Analiza numeryczna obciążeń cieplnych i odkształceń w elementach spawanych wiązką laserową. Praca doktorska*, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2014.
3. Pilarczyk J., Stano S., Banasik M., Dworak J. *Wykorzystanie technik laserowych do spawania elementów o małych wymiarach w Centrum Laserowym Instytutu Spawalnictwa*, Problemy Eksploatacji, 4 (2011), 207-216.
4. Piekarska W. *Modelling and analysis of phase transformations and stresses in laser welding process*, Archives of Metallurgy and Materials, 60 (4), (2015) 2827-2835.
5. De, A., Maiti, S.K., Walsh, C.A., Bhadesia, K.D.H. *Finite element simulation of laser spot welding*, Science Technology of Welding and Joining, 8 (5), (2003) 377-384.

6. Bagger C., Olsen F. O. *Review of laser hybrid welding*, Journal of Laser Applications, 17 (2005), 1, 2-14
7. Kozak J. *All steel sandwich panels – new possibilities introduced by laser welding techniques*, Przegląd Spawalnictwa. 10 (2007), 53-59.
8. Saternus Z., Piekarska W., Kubiak M., Domański T., Sowa L. *Numerical analysis of deformations in sheets made of X5CRN118-10 steel welded by a hybrid laser-arc heat source*, Procedia Engineering, 136 (2016), 95-100.
9. Stano S., Banasik M., Dworak J. *Laserowe spawanie hybrydowe, Plakat - Naukowo-techniczna konferencja spawalnicza*, 2012.
10. Long H., Gery D., Carlier A., Maropoulos P.G. *Prediction of welding distortion in butt joint of thin plates*, Materials Design, 30, (2009), 4126-4135.
11. Sowa L., Kwiaton P. *Numerical Analysis of Stress Fields Generated in the Gantry Crane Beam*, Procedia Engineering, 177 (2017), 218-224.
12. Anca A., Cardona A., Risso J., et al.; *Finite element modeling of welding processes*, Applied Mathematical Modelling, 35, (2011), 688-707.
13. Dowden J.M. *The mathematics of thermal modeling*. Taylor & Francis Group, USA. 2001, 291.
14. SIMULIA, Abaqus FEA theory manual. Version 6.7, Dassault System 2007.
15. Goldak J. A. *Computational Welding Mechanics*, Springer, New York, 2005.
16. Tsirkas S.A., Papanikos P., Keramidis Th. *Numerical simulation of the laser welding process in butt-joint specimens*, Journal of Materials Processing Technology, 134 (2003), s. 59-69.
17. Domanski T., Bokota, A. *The numerical model prediction of phase components and stresses distributions in hardened tool steel for cold work*, International Journal of Mechanical Sciences, 96-97 (2015), 47-57.

Zastosowanie pakietu inżynierskiego Abaqus do rozwiązywania problemów procesu spawania

Streszczenie

Rosnące wymagania przemysłu dotyczące zwiększenia efektywności łączenia elementów konstrukcji, przy zachowaniu najwyższej jakości wykonywanych produktów wymuszają stosowania nowych metod spawania i nowych rozwiązań konstrukcyjnych. W przypadku wielkoseryjnych połączeń spawanych coraz częściej na zrobotyzowanych liniach produkcyjnych wykorzystywane są nowoczesne techniki łączenia metali oparte na źródle promieniowania laserowego w ujęciu zarówno pojedynczego źródła spawającego, jak i hybrydowego laser-łuk elektryczny. Istotnym czynnikiem procesu spawania jest obciążenie cieplne zależne od metody spawania oraz rodzaju źródła spawającego. Ilość ciepła doprowadzonego do złącza znacząco wpływa na kształt spoiny, strukturę złącza spawanego oraz jego właściwości wytrzymałościowe. Modelowanie numeryczne zjawisk procesu spawania wymaga kompleksowej analizy współzależnych od siebie zjawisk z uwzględnieniem specyficznych warunków procesu. Wykonanie analizy numerycznej zjawisk cieplnych i mechanicznych umożliwia pakiet inżynierski Abaqus FEA z założeniem opracowanych dodatkowych procedur, modelujących ruch źródła spawającego i bardzo istotnych przy spawaniu stali przemian fazowych w stanie stałym.

Przedstawiona praca zawiera zastosowanie pakietu inżynierskiego Abaqus FEA do rozwiązywania sprzężonych zjawisk cieplno-mechanicznych występujących w procesie spawania z wykorzystaniem technik laserowych. W celu numerycznego rozwiązania analizowanego problemu opracowano odpowiednie modele matematyczne i numeryczne, które wykorzystano w obliczeniach symulacyjnych. Wyznaczono rozkład temperatury, stan naprężenia oraz deformacje elementów spawanych i przedstawiono przykładowe wyniki symulacji numerycznych.

Słowa kluczowe: Spawanie laserowe, modele matematyczne, analiza numeryczna, zjawiska ciepłe, prognozowanie deformacji

Application Abaqus engineering software for the solution of issues in welding process

Abstract

The increasing demands of the industry for the efficiency of joining of constructions, while maintaining the highest quality of the product, require the use of new welding methods and new design solutions. In the case of large-scale welded, joints modern welding techniques are used including laser welding source mounted on robotic production lines. Generally these methods consist of single laser beam welding source and a laser-arc hybrid welding source. An important factor in the welding process is the heat load depending on the welding method and the type of welding source. The amount of heat applied to the joint significantly influences the shape of the weld, the microstructure of the joint and its strength properties.

Numerical modeling of welding processes requires a comprehensive analysis of interdependent phenomena taking into account specific process conditions. Abaqus engineering software allows performing numerical analysis of thermal and mechanical phenomena with included additional self made subroutines in order to model the movement of the welding source and phase transformations in solid state very important in the welding process.

The presented work concerns the use of Abaqus engineering software to solve the coupled thermomechanical phenomena occurring in the welding process using a laser beam techniques. Mathematical and numerical models are developed for the solution of analyzed problem. Temperature, stress and deformation of welded components are determined by computer simulations of the process.

Keywords: laser welding, mathematical models, numerical analysis, thermal phenomena, prediction of deformations

Wybrane aspekty analizy procesu spalania zachodzącego w warunkach przemysłowych

1. Wprowadzenie

Poprawny przebieg procesu spalania jest jednym z ważnych problemów współczesnej energetyki. Na całym świecie, a szczególnie w Polsce produkcja energii opiera się na spalaniu paliw konwencjonalnych. Wiąże się to z wytwarzaniem wielu szkodliwych dla środowiska składników stałych i gazowych. W celu jego ochrony wprowadzane są różnego rodzaju rozwiązania prawne, które obostrzają dopuszczalne normy określające ilość zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery. Fakt ten wymusza nieustanny rozwój technik analizy, monitoringu, diagnostyki i sterowania procesem spalania. Redukcja emitowanych do atmosfery pyłów i gazów spalinowych związana jest ze stosowaniem niskoemisyjnych technik spalania (NTS). NTS pozwalają na prowadzenie procesu spalania w sposób strefowy, co w szczególności skutkuje ograniczeniem powstawania tlenków azotu [1-5].

Na efektywność procesu spalania ma wpływ szereg czynników, do których należą: odpowiednie metody diagnostyczne, prowadzenie tego procesu w optymalnych warunkach oraz aspekty ekonomiczne. W przemyśle do diagnostyki płomienia wykorzystuje się otwory inspekcyjne, układy czujników zamieszczane wewnątrz palnika oraz niejednokrotnie specjalnie przystosowane kamery [4-5].

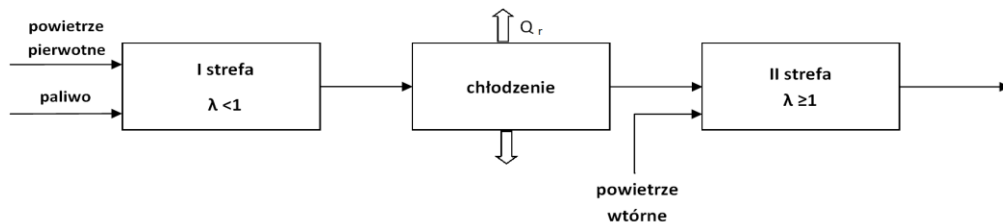
2. Niskoemisyjne techniki spalania

Proces spalania w szeroko pojętym znaczeniu definiowany jest jako reakcja chemiczna zachodząca pomiędzy paliwem a utleniaczem, której towarzyszy wydzielenie ciepła oraz światła [4]. Ze względu na nieliniowość oraz złożoność procesu, jego diagnostyka staje się szczególnie trudna [1]. W przypadku gdy spalany jest pył węglowy w warunkach przemysłowych często stosuje się Niskoemisyjne Techniki Spalania (NTS), które należą do grupy metod pierwotnych ograniczania emisji tlenków azotu. Prowadzenie procesu spalania z zastosowaniem NTS zwykle realizowane jest ze stopniowaniem powietrza lub paliwa. Wykorzystanie NTS ze stopniowaniem powietrza w kotłach pyłowych jest często stosowanym rozwiązaniem. Pozwala ono na zredukowanie ilości powstających w trakcie procesu spalania tlenków azotu. Technologia ta polega na wprowadzeniu strefowego spalania, gdzie w pierwszej strefie spalanie zachodzi z niedoborem tlenu, zaś w drugiej strefie z nadmiarem tlenu. Współczynnik nadmiaru powietrza λ w pierwszej strefie powinien wynosić $\lambda < 1$ (- może być równy nawet 0,6), a w drugiej $\lambda \geq 1$ [3].

¹ zaklin.gradz@pollub.edu.pl, Instytut Elektroniki i Techniki Informatycznych Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechnika Lubelska, www.pollub.pl

Takie prowadzenie procesu spalania powoduje obniżenie jego temperatury w pierwszej strefie co prowadzi do minimalizacji powstawania termicznych tlenków azotu. W strefie tej występuje niecałkowite spalanie i powstawanie tlenku węgla CO, który w drugiej strefie dopalany jest do ditlenku węgla CO₂. Co więcej, tego typu rozwiązania pomimo swoich oczywistych zalet utrudniają prowadzenie procesu diagnostycznego. Na skutek tego wymagane jest stosowanie monitoringu, który będzie obejmował pracę poszczególnych palników [2].

Na rysunku nr 1. przedstawiono schemat technologii niskoemisyjnego spalania wraz ze stopniowaniem powietrza.



Rys 1. Schemat technologii niskoemisyjnego spalania wraz ze stopniowaniem powietrza [3]

Proces spalania może być również prowadzony metodą stopniowania paliwa (reburning). Jest to pierwotna metoda pozwalająca na redukcję tlenków azotu w procesie spalania, której efektywność wynosi około 70%. Technologia ta polega na wprowadzeniu dodatkowego paliwa węglowodorowego, gdzie w pierwszej i trzeciej strefie spalanie zachodzi z nadmiarem tlenu, a w drugiej z niedoborem tlenu. Pierwsza strefa spalania charakteryzuje się wysokim współczynnikiem nadmiaru powietrza, który może wynosić nawet 1. Do drugiej strefy wprowadzane jest dodatkowe paliwo, które stanowi 10-20% całkowitej ilości wyznaczanej energii. Dodatkowo w tej strefie współczynnik nadmiaru powietrza wynosi $\lambda < 1$. Dla trzeciej strefy spalania charakterystyczne jest wprowadzenie powietrza dopalającego, które ma na celu zagwarantowanie zupełnego wypalenia. Współczynnik nadmiaru powietrza w tej strefie jest $\lambda > 1$ [3].

3. Mechanizm powstawania oraz ograniczanie tlenków azotu w procesie spalania

W skutek przebiegu procesu spalania powstają tylko trzy rodzaje tlenków azotu – N₂O (tlenek diazotu), NO (tlenek azotu), NO₂ (ditlenek azotu). Charakterystyczne zróżnicowanie tych tlenków wynika z chemicznej budowy cząsteczek. Atom azotu ma 5, a tlenu 6 elektronów na ostatniej powłoce, cząsteczki NO i NO₂ mają nieparzystą liczbę elektronów walencyjnych, więc przynajmniej jeden z nich musi pozostać niesparowany. Oba te tlenki są więc pragmatyczne i biorą udział w różnych reakcjach, typowych raczej dla wolnych rodników, których cechą charakterystyczną jest właśnie posiadanie niesparowanych elektronów [3]. Podczas spalania jako produkt pierwotny powstaje NO, a jako produkt wtórny NO₂.

W procesie spalania, tlenk diazotu występujący jako produktu pośredni reakcji może wpływać na zwiększenie szybkości powstawania NO zarówno w płomieniach, jak i w gorących gazach. W procesie spalania NO₂ powstaje przez utlenienie NO. Najważniejsza reakcja jest z rodnikiem HO₂ [3]:



Po uwzględnieniu procesu trójcząsteczkowego reakcja przybiera postać [2]:



W takcie procesu spalania węgla reakcje, które prowadzą do powstania NO z azotu związanego w paliwie są bardzo złożone. Reakcje te, szczególnie w paleniskach pyłowych, powinny odgrywać znaczącą rolę. Skutkują one również stosunkowo wysoką emisją NO z palenisk fluidalnych, które w porównaniu do kotłów pyłowych pracują w niższych temperaturach. NO₂ występuje jako produkt pośredni w powstaniu NO z N₂ w temperaturach poniżej ok 2000 K. Powstaje on również w paleniskach fluidalnych prawdopodobnie przy udziale azotu związanego w pozostałości koksowej [3].

Redukcja tlenków azotu podczas spalania, a redukcja emisji tlenków azotu mają zupełnie inne znaczenie. Redukcja emisji NO_x oznacza po prostu zmniejszenie jej emisji. Za to redukcja tlenków azotu jest procesem chemicznym odwrotnym do utleniania. Redukcja NO może odbywać się w fazie gazowej lub na powierzchni ciała stałego. Warunkiem efektywnej redukcji tlenków azotu w płomieniu jest obecność czynników redukujących. Wśród najskuteczniejszych czynników redukujących należy wyróżnić rodniki węglowodorowe i aminowe. Dominujący charakter paliwowy NO_x występuje przede wszystkim podczas spalania węgla brunatnego. Zakłada się, że więcej niż 95% NO_x wytwarzanych w kotach pyłowych na węgiel brunatny pochodzi z azotu paliwowego i dlatego podstawowym zadaniem jest zminimalizowanie utleniania tego azotu podczas spalania [3].

W technikach niskoemisyjnego spalania szczególne znaczenie dla efektywności redukcji NO_x ma obecność rodników węglowodorowych, które zawsze są obecne w płomieniach paliw kopalnych. Im bardziej bogaty płomień tym większe w nim stężenie rodników węglowodorowych i tym lepsze właściwości redukcyjne płomienia. Jest to podstawą prowadzenia spalania z obniżoną emisją NO_x [3].

Przedstawione mechanizmy powstawania tlenków azotu podczas spalania wskazują, że emisja NO_x zależy od wielu czynników. Do najważniejszych z nich należą warunki spalania oraz zawartość związków azotowych. Podsumowując można stwierdzić, że występujące w bogatym płomieniu pyłowym rodniki węglowodorowe i aminowe oraz tlenek węgla i cząstki stałe stwarzają dla NO_x redukcyjną atmosferę, czyniąc strefę podstechiometrycznego spalania podstawowym narzędziem ograniczania emisji paliwowych NO_x [3].

4. Metody diagnostyczne procesu spalania

Monitoring, diagnostyka i sterowanie procesu spalania powinny być oparte na analizie w czasie rzeczywistym danych pozyskanych z czujników rozmieszczonych w różnych miejscach instalacji, w której zachodzi proces spalania. Najczęściej stosowaną metodą analizy procesu spalania jest wykorzystanie płomienia jako źródła informacji. W przemysłowych kotłach energetycznych do diagnostyki płomienia wykorzystuje się otwory inspekcyjne lub instalację czujników wewnątrz palnika. Niektóre kotły energetyczne są wyposażone w specjalnie przystosowane kamery, pozwalające na przeniesienie obrazu wnętrza komory spalania do pomieszczenia operatorskiego [4-5]. Chłodzenie i czyszczenie optyki najczęściej przeprowadzane jest za pomocą sprężonego powietrza. W tabeli 1 zostały przedstawione parametry diagnostyczne procesu spalania oparta na analizie płomienia.

Tab. 1. Skład całkowitego promieniowania powstałego w płomieniu [4-5].

Parametr	Źródło informacji	Uwagi
Promieniowanie powstałe w płomieniu	Rozgrzane cząstki stałe (węgiel, popiół, sadza, koks)	Koncentracja rozgrzanych cząstek stałych w przestrzeni płomienia jest zróżnicowana
	Gorące gazy	Gorące gazy znajdujące się w płomieniu na skutek wzbudzenia termicznego, tworzące przede wszystkim widma emisyjne rotacyjne głównych gazów występujących w płomieniu – H ₂ O, CO ₂ , CO
	Chemiluminescencja	Promieniowanie powstałe na skutek chemiluminescencji jest związane z występowaniem wolnych rodników (m.in. CH*, OH*, NH*, CH*), których nie można traktować w taki sam sposób jak gazów gorących o zbliżonej zawartości składników głównych.

W płomieniu na skutek zachodzących pośrednich lub bezpośrednich reakcji chemicznych dochodzi jego emisyjności w zakresie od nadfioletu do bliskiej podczerwieni (z wykluczeniem widma ciągłego cząstek sadzy). Analizę płomienia można przeprowadzić z wykorzystaniem chemiluminescencji wolnych rodników lub

addytywów. Zjawisko absorpcji i emisji promieniowania elektromagnetycznego przez wolne rodniki, atomy oraz cząsteczki w fazie gazowej jest kwantowa. Absorpcja i emisja kwantu promieniowania skutkują zmianą stanu energetycznego [6]:

- absorpcja kwantów promieniowania (h) [6]:



- emisja kwantów promieniowania (h) [6]:



Dodatkowo, wzburzenie i deaktywacja mogą nastąpić w skutek zderzeń z innymi atomami i cząsteczkami M [6]:



Zjawisko chemiluminescencji w płomieniu zachodzi w skutek reakcji chemicznych, które powstają w wyniku braku równowagi energetycznej [4-5]. Wyróżnia się dwa typy tego zjawiska. Chemiluminescencja typu pierwszego charakteryzuje się tym, że może występować tylko, gdy w płomieniu zawierającym ponad-równowagę stężenia rodników znajdują się atomy metalu A [6]:



Chemiluminescencja typu I pierwszego jest znaczącym zjawiskiem, które może być stosowane do pomiarów fotometrycznych płomienia oraz analizy jego temperatury metodą odwróconych linii sodu [6].

Typ II chemiluminescencji jest odpowiedzialna za całą emisję płomienia węglowodorowych w zakresie widzialnym i nadfiolecie, a w szczególności za przejście rodnika CH ze stanu elektronowo wzbudzonego do podstawowego [6].

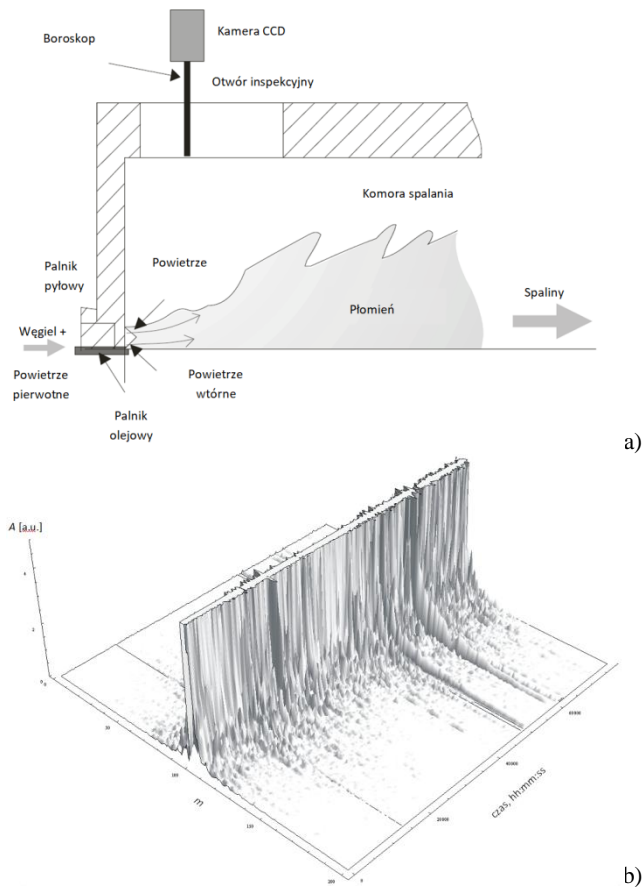
Optymalizacja procesów spalania może być realizowana za pomocą wykorzystania odpowiednich systemów obrazowania, które pozyskują dane za pomocą precyzyjnego monitoringu rozkładu przestrzennego płomienia [7]. Podstawowe wyzwania stawiane kontroli procesu spalania, jak również dobór odpowiednich technik diagnostycznych są podstawą efektywności procesu spalania [4-5, 8-12].

5. Wybrane metod diagnostyki procesu spalania

Do analizy procesu spalania w warunkach przemysłowych najczęściej wykorzystywane są metody spektroskopii emisyjnej płomienia oraz obrazowania płomienia. Metody spektroskopii płomienia w głównej mierze opierają się na interpretacji

promieniowania, które powstaje w płonieniu oraz na badaniu jego intensywności, jak również, na analizie emisji wolnych rodników powstałych w wyniku procesu chemiluminescencji [13-17]. W przypadku metod obrazowania płomienia analiza bazuje na wyznaczaniu jego krawędzi i parametrów geometrycznych oraz wykorzystaniu transformaty Fouriera, Falkowej, transformaty Vignera-Ville'a [4, 5].

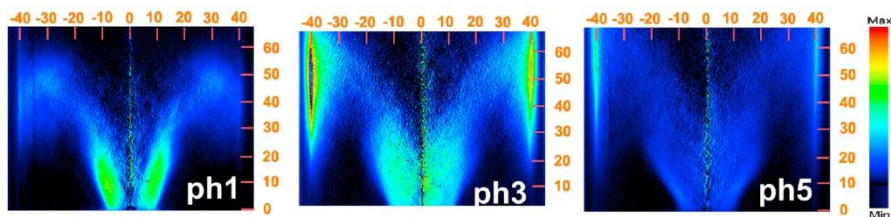
W publikacji [18] zaprezentowano wykorzystanie deskryptorów Fouriera do analizy procesu spalania pyłu węglowego. Na podstawie pozyskanych obrazów płomienia wyznaczono jego krawędź, a następnie dane poddano analizie fourierowskiej. Poniższy rysunek (2 a, b) przedstawia schemat układu monitorowania płomienia wraz z wynikami analizy przeprowadzonej za pomocą deskryptorów Fouriera.



Rys 2. a) Schemat układu monitorowania płomienia b) wyniki analizy obrazu płomienia z wykorzystaniem deskryptorów Fouriera [18]

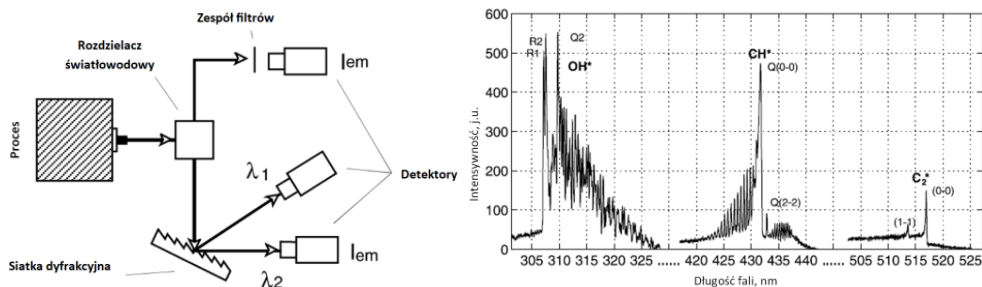
W artykule [19] opisano różne metody analizy obrazu płomienia pozyskanego z pomiarów kamerą CCD. Rozpatrzono zagadnienia z zakresu monitorowania, obrazowania płomienia oraz interpretacji przebiegu zjawiska chemiluminescencji

zachodzącego w płomieniu. Poniższy rysunek przedstawia chemiluminescencję obrazu płomienia, który został pozyskany z pomiarów przeprowadzonych z wykorzystaniem kamery CCD [19].



Rys 3. Chemiluminescencja obrazu płomienia pozyskanego z pomiarów kamerą CCD [19]

Na rysunku 4 przedstawiony jest układ, który reprezentuje metody obrazowania płomienia z wykorzystaniem emisyjnych czujników optycznych oraz widmo emisyjne płomienia wyznaczone z pomiarów pozyskanych w typowych warunkach przemysłowych. Przedstawiono trzy widma emisyjne płomienia, na których zostały oznaczone rodniki OH^* , CH^* i C_2^* . Dla poszczególnych rodników charakterystyczne wartości emisji w zakresie długości fal są następujące: OH^* -308,9 nm, CH^* -431,4 nm, C_2^* -516,5 nm [20].



Rys 4. Schemat układu monitorowania procesu spalania oraz wykres widma emisyjnego płomienia z zaznaczonymi charakterystycznymi rodnikami [20]

Opisane wyżej technologie diagnostyki procesu spalania jako źródło informacji o procesie traktują płomień. Dane uzyskane z procesu są przetwarzane w celu uzyskania informacji o samym przebiegu spalania, ale również dla wykrycia nieprawidłowości oraz stanów awaryjnych.

6. Wnioski

Podstawowym celem stawianym analizie procesów spalania jest zachowanie jego efektywności. W przemyśle występują kotły o różnych konstrukcjach, a co się z tym wiąże z różnymi układami palników. Układy monitorujące oparte na czujnikach optycznych powinny być dołączane bezpośrednio do każdego z palników w komorze

spalania kotła. Celem takiego zastosowania czujników jest uzyskanie jak najlepszych parametrów diagnostycznych.

W technikach niskoemisyjnego spalania szczególne znaczenie dla efektywności redukcji NO_x ma obecność rodników węglowodorowych, które zawsze są obecne w płomieniach paliw kopalnych. Im bardziej bogaty płomień tym większe w nim stężenie rodników węglowodorowych i tym lepsze właściwości redukcyjne płomienia [3].

Zjawisko chemiluminescencji może zostać wykorzystane do pomiarów fotometrycznych płomienia oraz analizy jego temperatury metodą odwróconych linii sodu [6].

Problematyka monitorowania procesu spalania w warunkach przemysłowych opiera się na zapewnieniu dokładności i niezawodności jego przebiegu. Monitoring, diagnostyka i sterowanie w procesie spalania powinny być oparte na analizie w czasie rzeczywistym danych pozyskanych z czujników rozmieszczonych w różnych miejscach instalacji, w której zachodzi proces spalania. W przemyśle istnieje wiele układów diagnostycznych, w których do analizy płomienia jako źródła informacji, wykorzystywane są metody spektroskopii emisyjnej płomienia oraz obrazowania płomienia.

Literatura

1. Sawicki D. *Flame monitoring using image classification*, Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska 4, s.77-80, 2016.
2. Wójcik W. *Światłowodowy układ do monitorowania procesu spalania*. PAK 53(11), s. 24-28, 2007.
3. Kordylewski W. i inni. *Niskoemisyjne techniki spalania w energetyce: praca zbiorowa*, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2000.
4. Smolarz A. *Diagnostyka procesów spalania paliw gazowych, pyłu węglowego oraz mieszaniny pyłu węglowego i biomasy z wykorzystaniem metod optycznych*, Politechnika Lubelska, Lublin 2013.
5. Kotyra A. *Diagnostyka procesów spalania pyłu węglowego z wykorzystaniem metod przetwarzania obrazu*, Politechnika Lubelska, Lublin 2010.
6. Kordylewski W. i inni. *Spalanie i Paliwa*, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2008.
7. Jones J. C. *A combustion scientist's view of thermocouple temperature measurement*, IEE Seminar Advanced Sensors and Instrumentation Systems for Combustion Processes, s.1-4, 2000.
8. Wojdan K., Swirski K. and Chomiak T. *Immune Inspired System for Chemical Process Optimization using the example of a Combustion Process in a Power Boiler*, 2007 International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems, s. 1-6, 2007.
9. Wójcik W. *Application of fibre-optic flame monitoring systems to diagnostics of combustion process in power boilers*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences 56 (2), s. 177-195, 2008.
10. Krishnan P. H. and Vinoth R. *Monitoring and controlling the combustion quality in thermal power plant boiler using image processing and robotic arm*, International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), s. 1-4, 2014.
11. Docquier N., Lacas F. and Candel S. *Closed-loop equivalence ratio control of premixed combustors using spectrally resolved chemiluminescence measurements*, Proceedings Of The Combustion Institute vol. 29, s. 139-145, 2002.

12. R. Hernández, J. Ballester *Flame imaging as a diagnostic tool for industrial combustion*, Combustion and Flame, Volume 155, Issue 3, s. 509-528, 2008.
13. Natalya Denisova, Pavel Tretyakov, Andrey Tupikin, *Emission tomography in flame diagnostics*, Combustion and Flame, Volume 160, Issue 3, s. 577-588, 2013.
14. Tatiana García-Armingol, Yannis Hardalupas, A.M.K.P. Taylor, Javier Ballester, *Effect of local flame properties on chemiluminescence-based stoichiometry measurement*, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 53, s. 93-103, 2014.
15. Katharina Kohse-Höinghaus, Robert S. Barlow, Marcus Aldén, Jürgen Wolfrum, *Combustion at the focus: laser diagnostics and control*, Proceedings of the Combustion Institute, Volume 30, Issue 1, s. 89-123, 2005.
16. Tatiana García-Armingol, Javier Ballester, Andrzej Smolarz, *Chemiluminescence-based sensing of flame stoichiometry: Influence of the measurement method*, Measurement, Volume 46, Issue 9, s. 3084-3097, 2013.
17. T.F. Guiberti, D. Durox, T. Schuller, *Flame chemiluminescence from CO- and N-diluted laminar CH/air premixed flames*, Combustion and Flame, Volume 181, s. 110-122, 2017.
18. Kotyra A., Wójcik W., Golec T., Ławicki T. *Assessment of pulverized coal combustion using Fourier Descriptors*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 86 nr. 7/2010, s. 241-243, 2010.
19. Javier Ballester, Tatiana García-Armingol, *Diagnostic techniques for the monitoring and control of practical flames*, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 36, Issue 4, s.375-411, 2010.
20. Docquier, N. and Candel, S. *Combustion control and sensors, a review*, Progress in Energy and Combustion Science 28, s. 107-150, 2002.

Wybrane aspekty analizy procesu spalania zachodzącego w warunkach przemysłowych

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane aspekty procesu spalania, który zachodzi w warunkach przemysłowych. W celu zapewnienia efektywności tego procesu, powinien on przebiegać w optymalnych warunkach wraz z ograniczeniem ilości emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń. Do tego celu stosowane są Niskoemisyjne Techniki Spalania (NTS). Do analizy procesu spalania w warunkach przemysłowych najczęściej wykorzystywane są metody spektroskopii emisyjnej płomienia oraz obrazowania płomienia. Zjawisko chemiluminescencji może zostać wykorzystane do oceny i diagnostyki płomienia.

Słowa kluczowe: proces spalania, diagnostyka, Niskoemisyjne Techniki Spalania (NTS), chemiluminescencja

Selected aspects of combustion analysis taking place in industrial conditions

Abstract

The article presents the selected aspects of combustion analysis taking place in industrial conditions. In order to ensure the adequate efficiency of the process, it should occur under optimal conditions, while the amount of pollution emitted into the atmosphere should be mitigated. NTS is used for this purpose. The analysis of the combustion process under industrial conditions is usually conducted with the flame emission spectroscopy and flame imaging methods. The chemiluminescence phenomenon can be used to assess and diagnose flame.

Keywords: combustion process, diagnostics, chemiluminescence

Zastosowanie metod diagnostyki technicznej do analizy procesu spalania

1. Wprowadzenie

W Polsce głównym źródłem wykorzystywanym do produkcji energii elektrycznej są paliwa kopalne. Spalanie wymienionych paliw przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska naturalnego dwutlenkiem siarki oraz tlenkami azotów. Proces ten, w skutek uwalniania do atmosfery produktów spalania, wpływa w niekorzystny sposób na powiększanie się dziury ozonowej, efektu cieplarnianego, powstawania smogów oraz kwaśnych deszczy. Prowadzenie szczegółowej analizy procesu spalania ma na celu określenie optymalnych parametrów przebiegu tego procesu oraz ograniczenie produkcji zanieczyszczeń [1-3].

Ważnym elementem mającym wpływ na jakość spalania jest diagnostyka techniczna, która bazuje na wykrywaniu oraz rozpoznawaniu uszkodzeń urządzeń na podstawie analizy zgromadzonych oraz odpowiednio przetworzonych informacji o stanie ich pracy [3]. Do głównych celów diagnostyki procesów przemysłowych należy zaliczyć [2, 3]:

- wczesne wykrywanie objawów powstania awarii,
- rozróżnianie stanów awaryjnych,
- zmniejszanie kosztów remontów urządzeń przemysłowych.

2. Znaczenie diagnostyki technicznej

Zadaniem diagnostyki technicznej jest zapewnienie możliwość określenia stanu technicznego urządzeń z wykorzystaniem obiektywnych środków i metod. Okres rozwoju tej dziedziny wiedzy przypada na lata 70 XX wieku. W związku z nieustannym rozwojem techniki zmieniał się również zakres obszaru zainteresowań diagnostyki technicznej. Początkowo analizie podlegały maszyny oraz urządzenia mechaniczne. Następnie dziedzina ta została poszerzona o układy elektroniczne, zaawansowane urządzenia technologiczne i urządzenia elektryczne. Ostatecznie obszarami zainteresowań, które poszerzyły zakres diagnostyki technicznej były układy sterowania oraz procesy technologiczne [2, 4].

Diagnostyka procesów przemysłowych jest intensywnie rozwijaną dziedziną wiedzy. Podstawowym jej celem jest rozpoznawanie zmian stanów analizowanych procesów, za które uznawane są uszkodzenia oraz wszelkie zdarzenia o działaniu destrukcyjnym. W związku z tym diagnostyce stawia się dwa główne wymagania.

¹ zaklin.gradz@pollub.edu.pl, Instytut Elektroniki i Techniki Informatycznych Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechnika Lubelska, www.pollub.pl

Pierwszym z nich jest wczesne wykrywanie uszkodzeń, a kolejnym szczegółowe różnicowanie (rozpoznawanie) powstających uszkodzeń [2, 4].

W każdym z procesów przemysłowych występują newralgiczne obszary, od których zależy poprawność i efektywność przebiegu danego procesu. W przypadku procesów energetycznych takim ogniwem jest kocioł oraz zachodzący w nim proces spalania. Poprawność przebiegu tego procesu technologicznego wymaga połączenia ze sobą parametrów procesowych, które są niezbędne do wytwarzania energii, ekonomiczności procesu, jak również ograniczeniu zanieczyszczenia środowiska naturalnego [2, 4].

Diagnostyka procesu spalania powinna być prowadzona przez zbieranie oraz przetwarzanie wybranych informacji procesowych w czasie rzeczywistym w celu rozpoznania jego nieprawidłowych stanów. Złożoność tego procesu jest związana ze zwiększeniem częstotliwości uszkodzeń elementów składowych ciągów technologicznych. Skutkuje to występowaniem sytuacji, w których pojawia się wiele informacji świadczących o wystąpieniu nieprawidłowości (alarmów). Stany te mogą być poważnym problemem dla operatora. Dlatego do prawidłowej oceny przebiegu procesu spalania niezbędnym jest wyposażenie każdego palnika w układ monitorowania i diagnostyki. Następnym etapem powinno być wprowadzenie możliwości indywidualnego sterowania palnikami. Takie podejście pozwoli na wykorzystanie w pełni możliwości prowadzenia procesu i minimalizowanie kosztów [2, 4]. Kolejnym celem prowadzenia diagnostyki jest ograniczenie i zmniejszenie kosztów remontów. W praktyce przemysłowej, remonty rozmaitych urządzeń wykonawczych i pomiarowych wykonywane są zazwyczaj okresowo, według założonego harmonogramu. Proces technologiczny jest wówczas zatrzymywany, a urządzenia kontrolowane niezależnie od ich stanu technicznego. Wstrzymanie procesów przemysłowych zawsze zwiększa koszty eksploatacji [2, 4].

3. Metody diagnostyki procesów przemysłowych

Diagnostyka procesu przemysłowego przeprowadzana jest na podstawie analizy stanu, w jakim on się znajduje. Stan procesu technologicznego definiowany jest jako zbiór ocen odchyłeń rozpatrywanego stanu od stanu uznawanego za referencyjny [5]. W trakcie trwania stanów awaryjnych po krótkim czasie z układu pojawia się duża ilość sygnałów informujących o powstałym zagrożeniu. Spowodowane jest to zależnością stanu zespołu od stanu ich elementów. Szacuje się, że w energetyce może występować od kilku do kilkunastu sygnalizowanych alarmów. W takiej sytuacji bezpośrednia ocena zagrożenia i interpretacja danych przez operatora może być dużym problemem. Stąd wynika potrzeba stosowania i ciągłego udoskonalania automatycznych układów diagnostyki procesów [4].

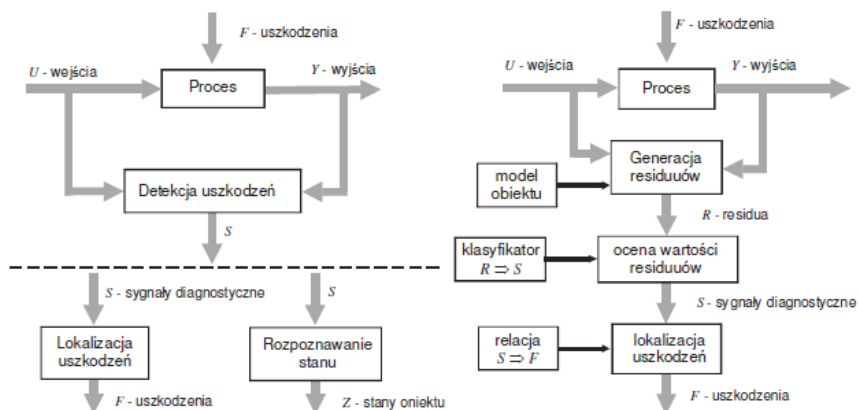
W procesie diagnostycznym można wyróżnić trzy fazy [4]:

- detekcji,
- lokalizacji,
- identyfikacji uszkodzeń.

Zazwyczaj proces diagnostyczny jest ograniczony do dwóch pierwszych faz. W fazie detekcji, w wyniku przetwarzania zmiennych procesowych, wykrywane są

symptomy uszkodzeń. Na ich podstawie, w fazie lokalizacji wskazywane są zaistniałe uszkodzenia. Istnieje wiele sposobów realizowania procesu diagnostycznego. Może on odbyć się z wykorzystaniem modelu matematycznego [2, 4].

Na poniższym rysunku jest przedstawiony schemat diagnostyki procesu, który obejmuje fazę detekcji i lokalizacji przy braku modelu procesu oraz w przypadku jego obecności.

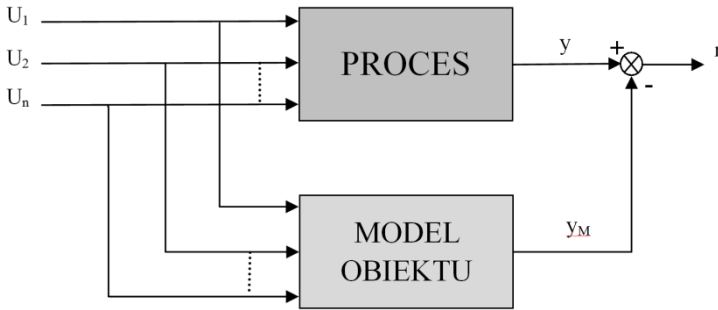


Rys. 1. Schemat diagnostyki procesu [2,4]

Faza detekcji w diagnostyce z modelem procesu, obejmuje generację reszduów z wykorzystaniem modeli analitycznych, neuronowych, rozmytych lub innych. Ocena wartości reszduów wykorzystuje się sygnały diagnostyczne, które są dowolnymi wielkościami, będącymi nośnikami informacji o stanie diagnozowanego procesu oraz pozwalającymi na wykrycie jego nieprawidłowego stanu [2, 4].

W modelach stosowanych do diagnostyki procesów należy wyróżnić modele stosowane do detekcji i lokalizacji uszkodzeń oraz rozpoznawania stanów obiektów.

Do detekcji uszkodzeń stosowane są modele analityczne, jak również rozmyte i neuronowe. W tej grupie modeli można wyróżnić modele fizyczne, liniowe typu „wejscie-wyjście”, liniowe równania stanu, obserwatory stanu oraz filtry Kalmana. Przykładem analitycznego podejścia jest redundancja analityczna, która polega na pozyskiwaniu dodatkowych wartości zmiennych procesowych na podstawie modelu matematycznego wiążącego wyliczaną zmienną z innymi mierzonymi sygnałami. Wykorzystanie jej pozwala na ograniczenie liczby urządzeń pomiarowych w analizowanym systemie. Z wykorzystaniem redundancji analitycznej w sposób bezpośredni bądź pośredni można zamodelować odpowiednie działanie określonej części instalacji [4].



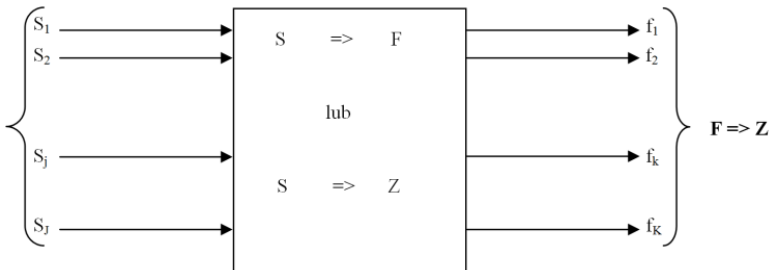
Rys. 2. Schemat generacji residuów bazujący na redundancji analitycznej [4]

Na powyższym rysunku został zaprezentowany schemat generacji residuów, w którym została wykorzystana redundancja analityczna danych pomiarowych.

Do zbudowania modeli analitycznych niezbędne są dane z sygnałów wejściowych na podstawie których wyznaczane są sygnały wyjściowe. W przypadku ich braku stosuje się [4]:

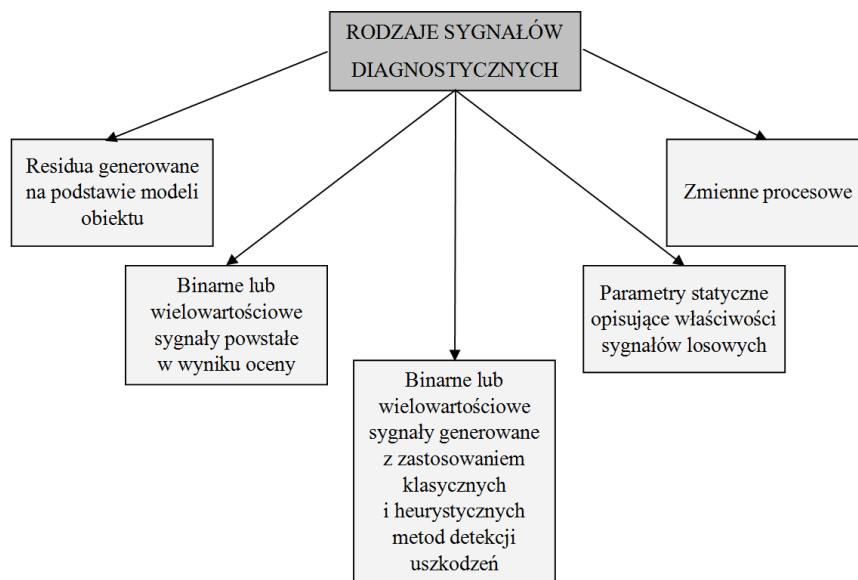
- algorytmy detekcji oparte na analizie syntetycznej,
- algorytmy detekcji oparte na analizie spektralnej sygnałów wyjściowych,
- analizowanie relacji pomiędzy sygnałami mierzonymi.

Modele wykorzystywane do lokalizacji uszkodzeń oraz klasyfikacji stanów obiektów mają za zadanie odwzorowywać wartości sygnałów diagnostycznych w dyskretną przestrzeń uszkodzeń lub stanów obiektów (rys.3.) [4].



Rys. 3. Model odwzorowujący wartości sygnałów diagnostycznych [4]

Rodzaje sygnałów wejściowych zostały przedstawione na poniższym schemacie.



Rys. 4. Rodzaje sygnałów diagnostycznych stosowanych w procesie lokalizacji uszkodzeń i klasyfikacji stanów obiektu [4].

Modele odwzorowujące przestrzeń binarnych, wielowartościowych i ciągłych sygnałów diagnostycznych są określane na podstawie uczenia, modelowania wpływu uszkodzeń na wartości residuów, znajomości redundancyjnej struktury sprzętowej oraz wiedzy eksperckiej.

Często dany model procesu jest nie dość dokładny lub zbyt złożony. W takim przypadku stosowane są metody kontroli ograniczeń lub kontroli związków występujących między zmiennymi procesowymi [4, 5].

Inny sposobem diagnostyki procesów jest wykorzystanie ciągłych zmiennych procesowych, na które składają się sygnały wejściowe i wyjściowe. Fazy detekcji i lokalizacji uszkodzeń są w takim przypadku połączone, a klasyfikacja stanu obiektu dokonywana jest często z wykorzystaniem sieci neuronowych [4, 5].

Diagnozowanie procesu może być również traktowane jako rozpoznawanie wzorców. W takim przypadku wyróżniane są fazy:

- ekstrakcji symptomów, odpowiadającej fazie detekcji uszkodzeń,
- klasyfikacji uszkodzeń lub stanu obiektu, równoważnej lokalizacji uszkodzeń [2,4].

4. Cele diagnostyki procesu spalania pyłu węglowego

Prowadzenie procesu spalania w warunkach przemysłowych wymaga zastosowania wielu urządzeń wykonawczych, pomiarowych, sterujących oraz złożonych układów automatyki. Stosowane elementy charakteryzują się dużą niezawodnością. Pomimo tego, w trakcie trwania tak złożonych procesów występują stany awaryjne, do których

można zaliczyć uszkodzenie elementów układu technologicznego wraz z urządzeniami automatyki oraz błędy obsługi operatorskiej. Pojawiające się stany zaburzeń niosą ze sobą różne zagrożenia. Na skutek ich występowania dochodzi do zaburzeń w przebiegu procesu spalania, a w skrajnych przypadkach do jego zatrzymania. Takie zdarzenia zmniejszają efektywność procesu, mogą spowodować straty ekonomiczne oraz mieć negatywny wpływ na środowisko naturalne [4].

W przypadku systemów, w których realizowany jest proces spalania za newralgiczny obszar uznawany jest kocioł energetyczny. Zachodzące w nim procesy muszą spełniać szereg wymagań i ograniczeń. Z jednej strony wymagane są odpowiednie parametry procesowe i ekonomiczność, zaś z drugiej jest to wpływ na zanieczyszczenie środowiska naturalnego. Połączenie tych cech czasami może być nie możliwe i jest związane z potrzebą wypracowania kompromisu, który zapewni poprawną realizację procesu z ograniczeniem występowania zagrożeń [2].

Jakość procesu spalania w warunkach przemysłowych podlega subiektywnej ocenie przez operatorów przeprowadzanej na podstawie obrazu płomienia, który widoczny jest w otworze inspekcyjnym kotła. Stosowane układy monitorujące przeznaczone są w zasadzie do wykrywania stanu zaniku płomienia, w wyniku którego może nastąpić niekontrolowany wybuch pyłu węglowego. W związku z dużymi prędkościami mieszanki paliwowej na wylocie palnika jej spalanie zachodzi w płomieniu turbulentnym. Na tą chwilę nie ma metody pozwalających na ocenę turbulentnego płomienia występującego podczas spalania pyłu węglowego, na podstawie której możliwa byłaby jednoznaczna i obiektywna ocena jakości procesu spalania. W związku z tym bardzo ważne jest określenie sygnałów diagnostycznych, które pozwolą na obiektywną kontrolę tego procesu [2].

Diagnostyka procesu spalania powinna odbywać się w sposób bezinwazyjny, pozwalający ocenić przebieg procesu spalania paliw pyłowych w czasie rzeczywistym. Taki sposób diagnostyki może być przeprowadzany z wykorzystaniem sygnałów pochodzących z promieniowania płomienia [2].

5. Logika rozmyta

W 1965 r. L. A. Zadeha w swojej publikacji przedstawił definicję zbiorów rozmytych (ang. *fuzzy sets*) oraz logiki rozmytej (ang. *fuzzy logic*) [2, 3]. L. A. Zadeha był prekursorem w tej dziedzinie, który w swoich pracach rozróżnił problemy w zastosowaniu logiki klasycznej do modelowania rzeczywistych problemów [6].

W logice klasycznej przynależność do zbioru oparta jest na wartościach logicznych 0 i 1 lub prawdzie i fałszu. Granica pomiędzy wartościami reprezentowalnymi jest wyznaczona w sposób jednoznaczny i niezmienny. W podejściu klasycznym elementy należą do danego zbioru lub nie [7, 8]. Poniżej znajduje się zależność funkcji przynależności $\mu_A(x)$ zbioru A, która przyjmuje konkretne wartości 0 lub 1 [8]:

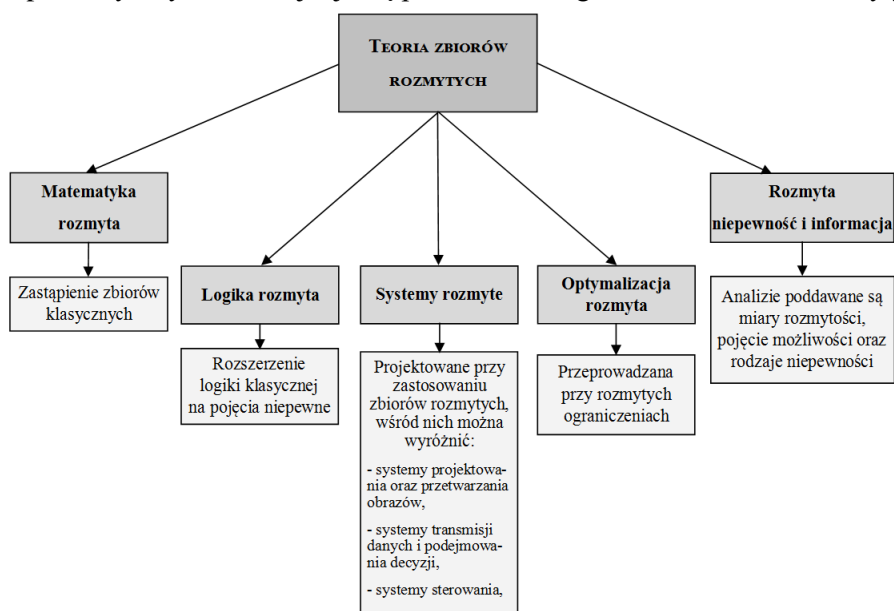
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } x \in A, \\ 0, & \text{jeśli } x \notin A. \end{cases} \quad (1)$$

Logika rozmyta jest rozwinięciem podejścia klasycznego. Jej zastosowanie pozwala na wprowadzenie wartości pomiędzy 0 i 1, jednocześnie „rozmywając” granice pomiędzy standardowymi wartościami [3, 5]. W związku z tym, każda z wartości pomiędzy 0 a 1 może należeć do funkcji przynależności $\mu_F(x)$ zbioru F [8]:

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \in (0,1], & \text{jeśli } x \in F, \\ 0, & \text{jeśli } x \notin F. \end{cases} \quad (2)$$

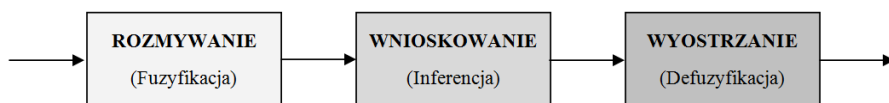
W odróżnieniu od klasycznej teorii zbiorów, teoria rozmyta opiera się na założeniu, że dany element może częściowo przynależeć do zbioru. Zagadnienie to jest aktualnym i intensywnie rozwijanym tematem, czego przykładami są publikacje [9-11].

Na poniższym rysunku znajduje się podział na kategorie teorii zbiorów rozmytych.



Rys. 2. Podział teorii zbiorów rozmytych [9]

Logika rozmyta w zastosowaniu do detekcji uszkodzeń zazwyczaj stosowana jest w metodach opartych na modelach rozmytych. Modele te są alternatywnym rozwiązaniem dla modeli analitycznych oraz dają możliwość wyznaczenie zmiennych procesowych [9]. Przykładowy schemat modelu rozmytego znajduje się na poniższym rysunku.



Rys. 3. Struktura blokowa modelu rozmytego [9]

Elementem bloku fuzyfikacji są funkcje przynależności. W tym miejscu przeprowadzane jest rozmywanie zmiennych wejściowych, czyli obliczanie stopnia ich przynależności do konkretnych zbiorów rozmytych. W bloku wnioskowania na podstawie wejściowych stopni przynależności obliczana jest wynikowa funkcja przynależności wyjścia modelu. W celu poprawności obliczeń w bloku inferencji muszą być zawarte elementy tj. baza reguł, mechanizm inferencyjny oraz funkcja przynależności wyjścia modelu. W modelu rozmytym ostatnim blokiem jest wyostrzanie, w którym za pomocą mechanizmu defuzyfikacji podającego sposób prowadzenia obliczeń wyznaczana jest ostra wartość wyjściowa [6].

Tworzenie modeli rozmytych powinno być oparte na wiedzy eksperckiej, jak również danych pomiarowych. Pierwszy czynnik powala na wyznaczenie początkowych parametrów oraz określenie struktury modelu, a drugi umożliwia strojenie modelu [4]. Istnieje wiele technik modelowania rozmytego, które można wykorzystać w celu detekcji uszkodzeń. Wśród nich można wyróżnić modele Wanga i Mendela (WM) wraz z ich modyfikacjami oraz rozmyte sieci neuronowe [3, 4, 12].

Modele Wanga i Mendela (WM) są metodą identyfikacji, która umożliwia budowę rozmytego modelu obiektu o określonej przez eksperta strukturze na podstawie danych pomiarowych [4]. Modele WM są określane zbiorem reguł:

$$R_i: \text{Jeżeli } (x_1 = A_{1i}) \text{ i } (x_2 = A_{2i}) \text{ i } \dots \text{ i } (x_n = A_{ni}) \text{ to } (y = B_i), \quad (3)$$

gdzie x_k - k-te wejście, y – wyjście, A_{ki} - partycja k-tego wejścia, B_i – partycja wyjścia [4].

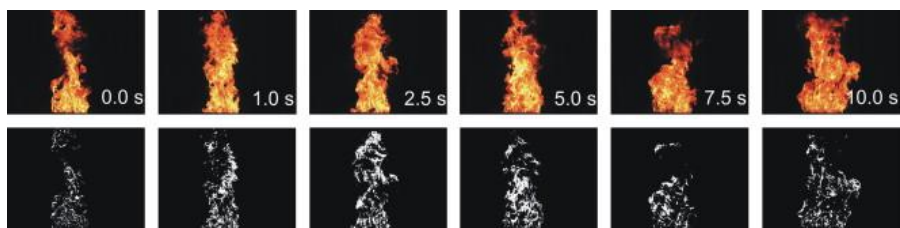
Rozmyte sieci neuronowe FNN (ang. Fuzzy Neural Network) są połączeniem techniki modelowania rozmytego z metodami uczenia sieci neuronowych. Wśród FNN można wyróżnić trzy podstawowe rodzaje o różnych formach reprezentacji wyjścia tj. stała (singleton), kombinacja liniowa wejść (model TSK) oraz liczba rozmyta [4].

Zbiór reguł określający rozmyte sieci neuronowe z wyjściami w postaci stałej jest następujący:

$$R_i: \text{Jeżeli } x_1 \text{ jest } A_{1i} \text{ i } x_2 \text{ jest } A_{2i} \text{ i } \dots \text{ i } x_n \text{ jest } A_{ni} \text{ to } y \text{ jest } y_i, \quad (4)$$

gdzie x_j ($j = 1, 2, \dots, n$) - oznacza j-te wejście modelu, n - liczbę wejść, A_{ij} – zbiór rozmyty poprzednika o funkcji przynależności $\mu_{A_{ij}}(x_j)$, y – wyjście modelu [4].

W publikacjach [13, 14-16] została poruszona problematyka wykorzystania logiki rozmytej do diagnostyki procesu spalania. Na poniższym rysunku zaprezentowany jest zarejestrowany obszar płomienia, który został poddany przekształceniom w modelu rozmytym w celu identyfikacji pikseli.



Rys. 4. Obraz płomienia wraz z wyróżnionymi pikselami po zastosowaniu modelu rozmytego [13]

6. Podsumowanie

Powyżej zostały przedstawione wybrane zagadnienia z zakresu diagnostyki technicznej, które wykorzystywane są do analizy procesu spalania zachodzącego w kotłach energetycznych. Dobór metod diagnostycznych ma wpływ na efektywność procesu spalania. Od optymalnych warunków przebiegu procesu zależy jego koszt i ilość emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń. Z tych względów stosuje się nieinwazyjne metody wykorzystujące promieniowanie płomienia jako sygnał diagnostyczny. Zastosowanie logiki rozmytej do diagnostyki procesu spalania pozwala na przetworzenie danych pomiarowych, które mogą zawierać zakłócenia lub szumy pomiarowe.

Literatura

1. Kordylewski W. i inni. *Spalanie i Paliwa*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2008.
2. Smolarz A. *Diagnostyka procesów spalania paliw gazowych, pyłu węglowego oraz mieszaniny pyłu węglowego i biomasy z wykorzystaniem metod optycznych*, Politechnika Lubelska, Lublin 2013.
3. Kotyra A. *Diagnostyka procesów spalania pyłu węglowego z wykorzystaniem metod przetwarzania obrazu*, Politechnika Lubelska, Lublin 2010.
4. Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W. *Diagnostyka procesów, Modele, Metody sztucznej inteligencji, Zastosowania*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
5. Lou C., Zhou H., Yu P., Jiang Z. *Measurements of the flame emissivity and radiative properties of particulate medium in pulverized-coal-fired boiler furnaces by image processing of visible radiation*, Proceedings of the Combustion Institute, nr 31, s. 2771-2778, 2007.
6. Piegat A. *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2015.
7. <http://www.isep.pw.edu.pl/ZakladNapedu/dyplom/fuzzy/index.htm> (10.08.2017 r.).
8. Tatjewski P. *Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy. Wydanie drugie zmienione*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT Andrzej Lang, Warszawa 2016.
9. Łęski J. *Systemy neuronowo-rozmyte*, awnictwo Wydawnictwo WNT, Warszawa 2008.
10. Jolliffe I. T., *Principal Component Analysis*, Second ed. red., New York,
11. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2002.
12. Koronacki J., Cwik J. *Statystyczne systemy uczące się*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2008.

13. Juan R. Castro, Oscar Castillo, Patricia Melin, Antonio Rodríguez-Díaz, *A hybrid learning algorithm for a class of interval type-2 fuzzy neural networks*, Information Sciences, Volume 179, Issue 13, s. 2175-2193, 2009.
14. Schröder T., Krüger K., Kümmerlen F., *Image processing based deflagration detection using fuzzy logic classification*, Fire Safety Journal, Volume 65, s. 1-10, 2014.
15. G. A. Carpenter, S. Grossberg, N. Markuzon, J. H. Reynolds and D. B. Rosen, *Fuzzy ARTMAP: A neural network architecture for incremental supervised learning of analog multidimensional maps*, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 3, no. 5, s. 698-713, 1992.
16. J. S. R. Jang and Chuen-Tsai Sun, *Neuro-fuzzy modeling and control*, Proceedings of the IEEE, vol. 83, no. 3, s. 378-406, 1995.
17. Enrique Herrera-Viedma, Francisco Javier Cabrerizo, Janusz Kacprzyk, Witold Pedrycz, *A review of soft consensus models in a fuzzy environment*, Information Fusion, Volume 17, s. 4-13, 2014

Zastosowanie metod diagnostyki technicznej do analizy procesu spalania

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane metody diagnostyki technicznej do analizy procesu spalania. W celu zapewnienia efektywności tego procesu, powinien on zachodzić w optymalnych warunkach wraz z ograniczeniem ilości emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń. Dobór metod diagnostycznych ma wpływ na efektywność procesu spalania. Od optymalnych warunków przebiegu procesu zależy jego koszt i ilość emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, logika rozmyta, proces spalania, sztuczne sieci neuronowe

The use of technical diagnostic methods to analyze of combustion process

Abstract

The article presents the selected methods of technical diagnostics for analysis of the combustion process. In order to ensure the adequate efficiency of the process, it should occur under optimal conditions, while the amount of pollution emitted into the atmosphere should be mitigated. Selection of diagnostic methods affects the efficiency of the combustion process. The optimum conditions of the process depend on its cost and the amount of pollutants emitted to the atmosphere.

Keywords: technical diagnostics, fuzzy logic, the combustion process, artificial neural networks

Indeks Autorów

Domański T.....	241, 257	Nowak J.....	158
Foit K.....	77	Piekarska W.....	241, 257
Garlikowska M.....	61	Regulski K.....	24
Goszczyńska-Króliszewska D.....	241, 257	Robakowska M.....	158
Grądz Ż.M.....	274, 283	Sadowski M.....	179
Kampczyk A.....	44	Saternus Z.....	241, 257
Kania B.....	220	Schumann A.....	232
Kopka K.....	200	Skrzetuska E.....	200
Krucińska I.....	200	Stec A.....	7
Kubiak M.....	241, 257	Ślęzak D.....	158
Kurzeja E.....	167	Tyrańska-Fobke A.....	158
Leszczyńska M.....	33	Widerski T.....	101