

Innowacje dotyczące transportu drogowego osób w inteligentnych miastach w dobie Przemysłu 4.0

Paweł Kazberuk

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: paul.kazb@gmail.com

Julia Dąbrowska

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: dabrowskajulia1@gmail.com

Streszczenie

Czwarta rewolucja przemysłowa to okres wprowadzania systemów cyfrowych oraz informatyzacji przepływów. W artykule przedstawiono założenia Przemysłu 4.0 i opisano zastosowanie rozwiązań z zakresu tej koncepcji. Opisano poszczególne jego dziedziny takie jak: Internet Rzeczy, systemy cyberfizyczne, automatyka i robotyka, wirtualna rzeczywistość, Big Data, czy chmury obliczeniowe. Zwrócono uwagę na powiązanie Inteligentnych Miast (Smart City) z Przemysłem 4.0 i transportem drogowym osób. W celu opisanego korzyści, które płyną z zastosowania innowacji związanych z transportem drogowym osób w inteligentnych miastach dokonano ich autorskiego zestawienia. Rozwiązania podzielono ze względu na: poziom, czas podróży, bezpieczeństwo podróżnych, ekonomiczność i ekologiczność przemieszczania, oszczędność miejsca oraz przyporządkowano dane usprawnienie do odpowiedniej dziedziny Przemysłu 4.0.

Słowa kluczowe

Przemysł 4.0, transport drogowy, inteligentne miasta, innowacje

Wstęp

Poziom rozwoju technologicznego społeczeństwa nieustannie rośnie. Należy zwrócić uwagę na fakt, że nieunikniona jest ciągła zmiana obecnego stanu w celu dalszego rozwoju. Istotne jest podejmowanie badań i poszukiwanie nowych rozwiązań, które mogą zaowocować optymalizacją dotychczasowych procesów. Głównym

celem artykułu jest dokonanie autorskiego zestawienia innowacji związanych z transportem drogowym osób w nowoczesnych miastach. Tabełaryczne przedstawienie przykładów innowacji umożliwiło opisanie korzyści, które płyną z zastosowania danej innowacji. Zwrócono uwagę na poszczególne dziedziny Przemysłu 4.0 i uwzględniono je w zestawieniu. Intencją jego stworzenia było opisanie korzyści, które płyną z zastosowania danej innowacji. Dokonano ich podziału ze względu na poziom, czas podróży, bezpieczeństwo podróżnych, ekonomiczność i ekologiczność przemieszczania, oszczędność miejsca oraz przyporządkowano dane usprawnienie do odpowiedniej dziedziny Przemysłu 4.0. Autorzy posłużyli się metodą analizy piśmiennictwa i konstruktowi logicznego.

1. Założenia Przemysłu 4.0

Na przestrzeni ostatnich czterech stuleci miały miejsce cztery rewolucje przemysłowe. Powstanie maszyn parowych oraz mechanizacja w XVIII. wieku były początkiem przechodzenia od systemu społecznego opartego na rolnictwie oraz handlowej dominacji miast do systemu społeczeństwa przemysłowego [www.encyklopedia.pwn.pl, 02.05.2020]. Kolejny etap miał miejsce na przełomie XIX. i XX. wieku. Zaczęto wykorzystywać lżejsze metale i stopy tworzyw sztucznych, nie tylko węgiel i żelazo. Maszyny parowe ustąpiły urządzeniom elektrycznym, powstała linia produkcyjna. Trzecia rewolucja nie dotyczyła już tylko innowacji związanych z pracą fizyczną człowieka. W drugiej połowie XX. wieku rozwinięto narzędzia niematerialne umożliwiające nowe możliwości komunikacyjne takie jak Internet [https://www.britannica.com/, 05.06.2020].

Dzisiejsze rozwiązania umożliwiają daleko posuniętą automatyzację procesów. Digitalizacja produkcji, czy Cyber- fizyczne procesy umożliwiają między innymi zwiększenie wydajności produkcji oraz jej zoptymalizowanie [Kriaga, 2016, s. 42]. Przemysł 4.0 „to określenie stosowane dla zmian wdrażanych w poszczególnych branżach w związku z czwartą rewolucją przemysłową, którą cechuje robotyzacja procesów wytwarzania i informatyzacja przepływów” [Grabowska, Sieka, 2019, s. 52]. Istota wprowadzenia systemów cyfrowych do przedsiębiorstw sprowadza się do sytuacji, w której to maszyna decyduje o przebiegu procesu. Przemysł 4.0 „gwarantuje dostępność wszystkich istotnych informacji ze wszystkich procesów w czasie rzeczywistym za pośrednictwem sieci. (...) Połączenie ludzi, obiektów i systemów z dynamiczną siecią samoorganizującą się, umożliwi śledzenie kluczowych dla przedsiębiorstwa danych, które mogą być następnie optymalizowane” [Kriaga,

2016, s. 42]. Według Tomasza Haiduka, dyrektora branż przemysłowych firmy Siemens, „Przemysł 4.0 to definicja przemian cyfrowych zachodzących w całej światowej gospodarce” [https://automatykab2b.pl, 02.05.2020].

Zastosowanie koncepcji Przemysłu 4.0 można zaobserwować nie tylko w przedsiębiorstwach produkcyjnych, lecz także w logistyce, transporcie, czy łańcuchu dostaw. W opracowaniach naukowych należy zwrócić uwagę na terminologię pokrewną taką jak: Logistyka 4.0 [Barreto, Amaral i Pereira, 2017, s. 1245], Transport 4.0 [Brach, 2019, 88-98], czy Łańcuch Dostaw 4.0 [Raport Światowego Forum ekonomicznego, s. 6-14].

2. Dziedziny Przemysłu 4.0

Należy zwrócić uwagę na zróżnicowanie rozwiązań w ramach poszczególnych dziedzin Przemysłu 4.0. Specjalizacje takie jak automatyka i informatyka w obecnych czasach przeplatają się, co sprawia że w dzisiejszych czasach coraz bardziej pożądana wśród specjalistów staje się interdyscyplinarność [Iwański, 2017, s. 23].

Tab. 1. Tabelaryczne przedstawienie poszczególnych dziedzin Przemysłu 4.0

Dziedziny Przemysłu 4.0						
Internet Rzeczy	Systemy cyberfizyczne	Automatyka i robotyka	Wirtualna Rzeczywistość	Chmury obliczeniowe	Big data	Symulatory, symulacje i wizualizacje

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Iwański, 2017, s. 22-23).

W transporcie drogowym osób w inteligentnych miastach wykorzystywane są między innymi opisane w tabeli 1 dziedziny Przemysłu 4.0:

- Internet Rzeczy (ang. Internet of Things, IoT) – idea, zgodnie z którą istnieją możliwości podłączenia urządzeń do sieci. Urządzenia są w stanie informację: pobierać, przetwarzać, przechowywać i przesyłać. Takie porozumiewanie się bez innych, opisanych niżej, technologii byłoby bezużyteczne lub znacznie ograniczone. [https://ieeexplore.ieee.org, 06.06.2020];
- Systemy cyberfizyczne (ang. Cyberphysical systems lub Cyber-physical system, CPS) – systemy fizyczne i inżynierskie, które mogą być sterowane, monitorowane, kontrolowane przez rdzeń obliczeniowy. CPS powinny mieć możliwość interakcji pomiędzy sobą [https://link.springer.com, 07.05.2020], [https://www.nist.gov/, 07.05.2020];

- Robotyka (lub automatyka i robotyka) – istnieją różne definicje tak samo jak rodzaje robotów, jednak na potrzeby niniejszego zestawienia przyjęć można opis ISO (ISO 8373:2012(en), że jest to nauka i praktyka projektowania, produkowania i zastosowania robotów. Robot wg ISO jest programowalnym mechanizmem zdolnym do poruszania się w dwóch osiach (lub większej ich liczbie). Porusza się w swoim otoczeniu, aby wykonywać zamierzone zadania. Istnieją różne bardziej szczegółowe podziały robotów, np. na przemysłowe i usługowe [<https://www.iso.org/>, 06.06.2020]. Główną zaletą wykorzystywania robotów jest możliwość pominięcia lub zmniejszenia liczby powtarzalnych operacji, które zamiast robota musiałyby wykonać człowiek;
- Wirtualna Rzeczywistość oraz Rozszerzona Rzeczywistość (Virtual Reality (VR) oraz Augmented Reality (AR)) – odpowiednio całkowicie wygenerowany komputerowo świat oraz nałożone na obiekty dodatkowe warstwy z informacjami. Są to rozwiązania szczególnie pożądane z punktu widzenia człowieka (zależnie od środowiska na przykład pracownika lub, użytkownika) związanego z danym środowiskiem. Jednym z przykładów ich zastosowania jest rozrywka i uprzyjemnienie czasu spędzonego w różnych środkach transportu. [<https://dl.acm.org/>, 06.06.2020];
- Chmury obliczeniowe – dostarczanie zainteresowanym żądanych przez nich usług obliczeniowych za pośrednictwem Internetu. Można wliczyć tu takie usługi jak software, bazy danych, serwery, czy narzędzia do analizy danych. Często płaci się tylko za te elementy, których się używa [<https://azure.microsoft.com/pl>, 07.05.2020];
- Sztuczna Inteligencja (Artificial Intelligence, AI) – nazwa, która obejmuje liczne bardziej szczegółowe dziedziny, między innymi robotykę, uczenie maszynowe, głębokie uczenie, sieci neuronowe. AI nieustannie się rozwija i wraz z kolejnymi generacjami coraz lepiej rozwiązuje dany problem. Algorytmy AI uczą się nawet w sytuacji zastosowania algorytmów genetycznych. Najlepiej radzące sobie z problemem obiekty będą zwiększać swoją populację kosztem dyskwalifikowanych jednostek, które osiągnęły najgorsze wyniki [<https://www.sciencemag.org>, 07.05.2020];
- Big data – w ramach tej koncepcji można wyróżnić wszelkie czujniki, detektory, sensory, urządzenia w szerszym ujęciu Przemysłu 4.0. Zbierają i przesyłają one nieustannie informacje. Znacznie bardziej wartościowe od samego ich przechowywania jest ich wykorzystanie odpowiednich algorytmów, narzędzi do analizy tych danych. To możliwość pozyskiwania na tej podstawie nowych informacji jest kluczową wartością. Współcześnie

zwraca się uwagę na wady big data – jest to między innymi możliwość formułowania niewłaściwych wniosków ze względu na analizę zdezaktualizowanych danych [Sibarajah, Kamal i Irani, 2017, s. 263];

- Symulatory, symulacje i wizualizacje – nie ma możliwości, aby zastosować jedną, prostą matematyczną formułę do rozwiązania bardziej skomplikowanych kwestii. Często niezbędna okazuje się metoda prób i błędów – tak jak w przypadku rozwiązywania problemów przez AI. Symulacje sprawiają, że nie trzeba przeprowadzać testów w terenie. Należy jednak pamiętać o konieczności zgodności danych wejściowych z warunkami znanymi z rzeczywistości [<https://plato.stanford.edu/>, 07.05.2020].

Szerszymi pojęciami, w których skład wchodzi wymienione powyżej oraz wiele innych dziedzin kojarzonych z Industry 4.0 są na przykład Inteligentne Fabryki (Smart Factories) dla przemysłu lub Inteligentne miasta (Smart Cities) [Wittbrodt i Łapuńska, 2017, 793-794].

3. Przemysł 4.0 a Smart City i transport w miastach

Podjęcie do koncepcji produkcji i funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych oraz ich relacji z otoczeniem posiada swoje nieznanne przed czwartą rewolucją przemysłową cechy. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że w wielu innych obszarach (od produkcji w przedsiębiorstwach produkcyjnych) współcześnie wykorzystuje się podobne rozwiązania, które są przystosowane do specyfiki danego środowiska. Nie inaczej jest z transportem, mobilnością w nowoczesnych miastach.

Pojęcie Inteligentnego Miasta zostało szeroko opisane przez Polski Komitet Normalizacyjny. Według podanych przez PKN informacji Smart Cities to takie miasta, które: „opierają swoją strategię na zastosowaniu technologii informacyjnych i komunikacyjnych (ICT) w kilku obszarach, takich jak: gospodarka, środowisko, mobilność i zarządzanie”. Istotne dla funkcjonowania Inteligentnych Miast jest przekształcenie (lub lepsze) wykorzystanie infrastruktury, aby „uwzględnić wspólne interesy społeczne, ekonomiczne i środowiskowe (...)”. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu ICT, które zdolne są do „zbierania ogromnych ilości danych (...) oraz ich udostępnianiu, tam gdzie jest to potrzebne” [<https://wiedza.pkn.pl/>, 10.05.2020]. „Europejskie podejście do idei Smart Cities koncentruje się przede wszystkim na działaniach związanych z redukcją emisji dwutlenku węgla oraz działaniach mających na celu efektywne wykorzystanie energii w każdej dziedzinie funkcjonowania miasta, przy jednoczesnej poprawie jakości życia mieszkańców” [Stawasz, Sikora-Fernandez i Turała, 2012, s. 99].

Wspólnym mianownikiem koncepcji Inteligentnych miast oraz Przemysłu 4.0 jest ograniczenie marnotrawienia zasobów (czasu, energii, miejsca), dążenie do informatyzacji, szybkiego przepływu informacji oraz redukcja zanieczyszczeń środowiska.

Jednymi z elementów smart city są transport, mobilność i logistyka [Winkowska et al., 2019; Szpilko, 2020]. Skuteczne integrowanie potrzeb biznesowych z warunkami ruchu, aspektami geograficznymi i środowiskowymi mają na celu usprawnienie przepływów. [Neirrotti et al., 2014, s. 27]. Istotne jest również wykorzystanie wybranych informacji dynamicznych i multimodalnych, zarówno przed jak i w trakcie podróży w celu poprawy przepustowości dróg, a także poprawieniu komfortu podróży.

Chcąc opisać korzyści płynące z zastosowania danej innowacji należy zwrócić uwagę również na praktyczne wykorzystywanie poszczególnych idei. Są one utożsamiane jako części składowe Industry 4.0 (a w tym przypadku – analogicznie, ale dla transportu). Jednym z przykładów, wymienionych w tabeli 1. jest Internet Rzeczy – idea łączenia ze sobą różnych urządzeń. Zagadnienie przewiduje wyposażenie obiektów codziennego użytku w mikrokontrolery oraz czujniki, co umożliwi ich wzajemną komunikację. Ponadto, zastosowanie koncepcji umożliwi interakcję ze sprzętem gospodarstwa domowego, kamerami monitorującymi, pojazdami, czy urządzeniami wykonawczymi. IoT będzie sprzyjać rozwojowi szeregu aplikacji, które ułatwią gromadzenie danych i ich przesył w celu świadczenia nowych usług obywatelom, firmom, czy administracji publicznej [Zanella et al., 2014, s. 22]. Koncepcja została scharakteryzowana i posiada wiele własnych nazw. Każda z nich oznacza inny typ powiązania. Ich przykłady to:

- Pojazd – do – pojazdu (Vehicle – to – vehicle, V2V) – komunikowanie się pomiędzy podłączonymi do sieci pojazdami znajdującymi się niedaleko siebie. Jest użyteczne między innymi ze względu na zdolność do poprawy bezpieczeństwa i dzięki wykorzystaniu innych możliwości z 4.0, powstaną nowsze, jeszcze doskonalsze systemy bezpieczeństwa [<https://www.its.dot.gov/>, 05.05.2020].
- Pojazd – do – infrastruktury (Vehicle – to – infrastructure, V2I) – możliwość wymieniaania informacji pomiędzy pojazdem a infrastrukturą (dla której jest to wykonalne) [<https://www.its.dot.gov/>, 05.05.2020] Na przykład komunikowanie się pojazdów z sygnalizacją świetlną, co jest obecnie testowane przez Audi – GLOSA (Green Light Optimized Speed Advisory). Dzięki takiemu rozwiązaniu kierowca może dowiedzieć się o zalecanej

prędkości, aby móc bezpiecznie przejechać na zielonym świetle przez najbliższą sygnalizację świetlną [<https://media.audiusa.com/en-us/>, 05.05.2020].

- Pojazd – do – pieszego (Vehicle – to – pedestrian, V2P) – głównym celem tego typu połączenia jest przede wszystkim poprawa bezpieczeństwa pieszych i zmniejszenie liczby wypadków. Przykładowym zastosowaniem jest aplikacja, dzięki której możliwe staje się ostrzeżenie kierowców o obecności niewidomych lub mających wadę wzroku pieszych – ci powinni mieć zainstalowaną taką aplikację w swoim urządzeniu mobilnym [<https://www.its.dot.gov/>, 05.05.2020].
- Pojazd – do wszystkiego (Vehicle – to – everything, V2X) – powiązanie najbardziej ogólne. W tym ujęciu może istnieć wymienianie się informacjami pomiędzy pojazdem a każdym obiektem, pomiędzy którym a pojazdem istnieje jakiś związek. Na przykład wymienione powyżej V2V, V2I, V2P [<https://www.transportation.gov/>, 05.05.2020].

Kolejną dziedziną wskazaną w tabeli 1 są systemy cyberfizyczne. Obejmują one różne koncepcje, także dla transportu. Przykładem jest Cyberfizyczny System Transportowy (Transportation Cyber – Physical System, TCPS). Celem tego systemu jest poprawa niezawodności i efektywności względem współcześnie znanych klasycznych rozwiązań. TCPS zwiększają liczbę interakcji, które oparte są między innymi na sprzężeniu zwrotnym pomiędzy systemami w transporcie: fizycznym oraz cybernetycznym. Tak jak dla Internetu Rzeczy najważniejsze jest generowanie dużej ilości wartościowych informacji, które są podstawą do dalszych działań [Deka et al., 2018, s. 1-2].

Pojęcie Automatyki i robotyki obejmuje wszelkie spełniające zadane wymagania urządzenia, które mają związek z transportem.auta jeżdżące bez kierowcy, czy drony dostawcze są zaawansowaną formą zastosowania robotyki. Przedsiębiorstwa takie jak BMW, czy Audi opracowują modele aut samojeżdżących. Według badania zleconego przez Intel Corporation, 44 procent amerykańskich respondentów chętnie zamieszkaliby w mieście, w którym samochody, autobusy i pociągi kursują bez ludzi je prowadzących, inteligentnie i automatycznie [Puig-Pey et al., 2017, s. 166-167].

Potencjał Wirtualnej Rzeczywistości zaczął być dostrzegany stosunkowo niedawno. Przykładem jest wykorzystanie rozwiązań Virtual Reality na etapie projektowania pojazdów, gdzie elementy VR dobrze oddające rzeczywistość pozwalają oszczędzać pieniądze i czas, ponieważ nie trzeba budować wielu nowych modeli [<https://transmitter.ieee.org/>, 05.05.2020].

Idea Chmury Obliczeniowej również znajduje zastosowanie w usprawnieniu działania Inteligentnych Systemów Transportowych. Dane zbierane w dużych ilościach muszą być w odpowiedni sposób przetwarzane w czasie rzeczywistym – tylko wtedy ich działanie ma szansę usprawnić system [Ashokkumar, 2015, s. 58].

Różnego rodzaju detektory zainstalowane w obrębie określonych miejsc, między innymi skrzyżowań, czy parkingów to zastosowania w ramach koncepcji Big Data. Zbierają informacje dotyczące ruchu pojazdów. Na podstawie tych danych można próbować rozwiązać powstające problemy takie jak kongestia, kolizje i wypadki w powtarzającym się miejscu. [<https://ec.europa.eu/>, 05.05.2020].

Z symulatorów symulacji i wizualizacji można korzystać, aby nie eksperymentować w warunkach rzeczywistych. Często przeprowadzenie podobnej do ilości prób w rzeczywistym procesie byłoby wysoce trudne do zrealizowania. [Ciszak (2007), s. 40]. Przykładowo badanie zmiany programu sygnalizacji świetlnej lub organizacji ruchu na danym skrzyżowaniu na poprawę przepustowości może zostać przeprowadzone w bezpiecznych warunkach. Aby symulacja była miarodajna, należy wprowadzić prawidłowe dane wejściowe. Przydatne mogą się okazać do tego zbierane z detektorów dane [<https://www.ptvgroup.com/pl/>, 05.05.2020].

4. Klasyfikacja innowacji w transporcie drogowym w inteligentnych miastach

Według Departamentu Spraw Gospodarczych i Społecznych (United Nations Department of Economic and Social Affairs) 68% światowej populacji do 2050 roku będzie mieszkać na terenie obszarów miejskich. W 2018 roku odnotowano ten wskaźnik na wysokości 55%. W Europie było to natomiast 74% [<https://www.un.org/>, 30.04.2020]. Procent ten stale wzrasta, co stanowi powód dla tworzenia nowych rozwiązań w miastach najbardziej zaludnionych w celu zwiększenia wygody i komfortu życia obywateli [<https://data.worldbank.org/>, 30.04.2020]. Usprawnienia transportu drogowego, w których wykorzystano technologie znane z Industry 4.0, stanowią odpowiedź na wyżej wymieniony problem.

W tabeli 2 przedstawiono przykładową klasyfikację różnych idei mających związek z transportem osób w miastach, gdzie zwrócono uwagę na poszczególne przyporządkowania danego rozwiązania do następujących grup:

- poziom – oznacza relację pomiędzy ogólną, złożoną innowacją (nadana nazwa poziom: główny) a przykładem lub rozwiązaniem funkcjonującym w ramach danej koncepcji (nadana nazwa poziom: szczegółowy). I tak na przykład do sprawnego funkcjonowania systemów zarządzania ruchem (po-

ziom główny) można wykorzystywać czujniki termowizyjne (poziom szczegółowy), dzięki którym można wykrywać pieszych znajdujących się przed przejściem dla pieszych. Podobnie: wykorzystywanie kamer rozpoznających pojazdy oczekujące na lewym pasie ruchu (poziom szczegółowy) umożliwi szybsze nadanie zielonego sygnału dla lewoskrętu;

- krótszy czas podróży – jednym z największych problemów komunikacyjnych, z którymi borykają się miasta jest kongestia [https://www.tomtom.com/pl_pl/, 06.06.2020]. Dokonano podziału, którego celem jest wskazanie czy dana koncepcja ma wpływ na usprawnienie procesu przemieszczania. Na przykład samochody autonomiczne, szczególnie w grupie, są zdolne do jednoczesnego przyspieszania, hamowania. Na skutek tego podczas trwającego tyle samo czasu zielonego sygnału przez skrzyżowanie byłaby w stanie przejechać większa liczba pojazdów. Innym przykładem jest próba skoordynowania pracy sygnalizacji świetlnej na sąsiadujących ze sobą skrzyżowaniach, dzięki znajomości maksymalnej dopuszczalnej prędkości i odległości pomiędzy skrzyżowaniami. Dzięki temu zmniejsza się sumaryczna liczba niezbędnych hamowań i przyspieszeń (warunek z kolumny D oraz E również zostaje spełniony);
- bezpieczeństwo podróżnych – każdego roku na drogach ginie znaczna liczba ludzi. W związku z tym priorytetem na terenie UE jest redukcja ich liczby na różny sposób, na przykład doświetlając newralgiczne punkty na drodze, montując większą liczbę obowiązkowych systemów bezpieczeństwa w samochodach. To dążenie do autonomii, ponieważ wg szacunków UE ponad 90% wypadków śmiertelnych spowodowane jest winą człowieka;
- ekonomiczne przemieszczanie – każda podróż wymaga poniesienia odpowiednich kosztów. W tej kolumnie "TAK" otrzymały wszelkie rozwiązania mające na to bezpośredni lub pośredni wpływ. "NIE" to brak związku innowacji z kosztem podróży (przykładem jest wykorzystywanie innego radaru krótkiego zasięgu). Odpowiedź "docelowo TAK" dla autonomicznych taksówek powietrznych ma związek z następstwami popularyzacji wykorzystywania tej technologii w miastach po pomyślnie kończonych testach [<https://innovationatwork.ieee.org/>, 10.06.2020]. Na skutek większej liczby kursów odbywanych przez mieszkańców miast, po ulicach będzie poruszała się mniejsza liczba samochodów, stąd problemy związane z kongestią będą wolniej narastać;
- ekologiczny środek podróży – element ten oznacza mniejsze zużycie energii, ekonomiczność i ekologiczność [<http://www.encyklopedia.pwn.pl>,

02.05.2020]. Jednym z celów europejskiej polityki transportowej jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w obszarze transportu o 60% w porównaniu z poziomem w 1990 r. [Biała Księga, 2011, s. 3]. Konieczne jest zatem ograniczenie szkodliwego wpływu czynności związanych z przemieszczaniem na otoczenie. W zestawieniu uwzględniono wpływ danej innowacji na środowisko. "TAK" oznacza ograniczenie śladu węglowego po zastosowaniu danej innowacji. Na przykład dzięki poprawnej pracy systemów zarządzania ruchem, ruch w mieście może mieć charakter bardziej laminarnego, stąd „TAK”. Ocena „NIE” oznacza, że dana innowacja nie wpłynie bezpośrednio na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych.

- Oszczędność miejsca – budowa nowej infrastruktury drogowej kosztuje i zajmuje miejsce w mieście, które mogłoby zostać zagospodarowane w inny sposób. „TAK” oznacza lepsze wykorzystywanie istniejącej infrastruktury (na przykład systemy zarządzania ruchem właściwie koordynujące pracę sygnalizacji), niezajmowanie powierzchni miasta (przykładowo wideodetekcja umieszczona na słupku razem z sygnalizatorem). Lepsze wykorzystywanie przestrzeni pojazdów, na przykład w autobusach zostało uwzględnione pozytywnie, tak samo jak przekierowanie części ruchu z lądu w powietrze. "NIE" w zestawieniu oznacza brak związku rozwiązania z lepszym gospodarowaniem miejscem w mieście [<https://www.czasopismologistyka.pl/>, 06.06.2020].
- Dziedzina Przemysłu 4.0 – to przykłady wykorzystywanych aspektów Przemysłu 4.0, rodzaju wykorzystywanej technologii, aby dana grupa innowacji mogła funkcjonować sprawnie.

Forma tabelaryczna klasyfikacji umożliwi przejrzyste opisanie cech poszczególnych rodzajów innowacji. Należy zwrócić jednak uwagę na fakt, że zastosowanie różnych rozwiązań wchodzących w skład danej grupy nie musi mieć identycznych cech – różne innowacje mają inne funkcjonalności i można osiągać dzięki nim odmienne skutki. Również wyodrębnienie technologii dla poszczególnych grup jest trudne – wykorzystywane mogą być różne zależności od danego rozwiązania.

Systemy zarządzania ruchem miejskim są odpowiedzią na powstające w miastach zatory. Systemy umożliwiają bezpieczniejsze przemieszczanie, krótszy czas podróży oraz bezpieczniejszą podróż [Pamuła i Król, 2010, 91]. Ze względu na mniejsze zużycie energii niż przy konwencjonalnych rozwiązaniach jest to również opcja ekologiczna oraz zmniejszająca koszt podróży. Inteligentne Systemy Transportowe umożliwiają efektywne zarządzanie infrastrukturą transportową, a także ob-

sługę podróżnych [Kozłak, 2008, s.2]. Są w wysokim stopniu zależne od zintegrowanych metod pomiarowych takich jak pętle indukcyjne, detektory, wideodetektory, czy czujniki termowizyjne umożliwiające identyfikację obiektów [<https://www.researchgate.net/>, 05.05.2020].

Tab. 2. Tabelaryczne przedstawienie przykładów innowacji w transporcie drogowym osób

Rodzaj innowacji	Poziom	Krótszy czas podróży	Bezpieczeństwo podróży	Ekonomiczne przemieszczanie	Ekologiczny środek podróży	Oszczędność miejsca	Dziedzina Przemysłu 4.0
systemy zarządzania ruchem miejskim	główne	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	Internet Rzeczy, automatyka i robotyka, big data, chmura obliczeniowa, sztuczna inteligencja
pętle indukcyjne	szczegółowe	TAK	NIE	TAK	TAK	TAK	
czujniki termowizyjne	szczegółowe	TAK	NIE	TAK	TAK	TAK	
samochody autonomiczne	główne	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	Internet Rzeczy, automatyka i robotyka, sztuczna inteligencja, wirtualna rzeczywistość oraz symulacje (do przeprowadzania między innymi testów)
LIDAR (wirtualna mapa 3d pobliskiego świata)	szczegółowe	NIE	TAK	NIE	NIE	NIE	
lepszy radar krótkiego zasięgu (77GHz zamiast 24GHz)	szczegółowe	NIE	TAK	NIE	NIE	NIE	
pojazdy plug-in	szczegółowe	NIE	TAK	TAK	TAK	NIE	
autonomiczna komunikacja miejska	główne	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	
autonomiczny autobus typu Olli	szczegółowe	doce- lowo TAK	doce- lowo TAK	TAK	TAK	TAK	
autonomiczne drony	główne	TAK	TAK	doce- lowo TAK	TAK	TAK	

dron EHang 216	szczegółowe	TAK	TAK	docelowo TAK	TAK	TAK	
innowacje drogowe	główne	TAK	RÓŻNIE	RÓŻNIE	RÓŻNIE	RÓŻNIE	Internet Rzeczy, systemy cyberfizyczne, automatyka i robotyka, big data, rozszerzona rzeczywistość, sztuczna inteligencja
drogi indukcyjne	szczegółowe	TAK	NIE	TAK	TAK	NIE	
dwupoziomowość	szczegółowe	TAK	TAK	TAK	NIE	TAK	
inteligentne oświetlenie uliczne	szczegółowe	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	

Źródło: opracowanie własne.

Pojazdy typu plug-in są wyposażone zarówno w napęd hybrydowy jak i konwencjonalny. Korzystanie z hybrydowych aut pozwala na bezpieczniejsze, bardziej ekonomiczne przemieszczanie, oraz mniejsze zużycie energii niż przy wyborze auta z silnikiem spalinowym [<https://www.ford.pl/>, 05.05.2020].

Autonomiczne auta umożliwiają częściową lub pełną automatyzację jazdy (zależnie od poziomu autonomii). Mają one poprawić bezpieczeństwo na drodze poprzez zmniejszenie liczby wypadków. Redukcja zużycia paliwa oraz zmniejszenie zatłoczenia na ulicach pozwoli na szybką podróż i niższe jej koszty przy jednoczesnym mniej szkodliwym wpływie na środowisko. Jednym z rozwiązań umożliwiających automatyzację jest system LIDAR. Jego działanie „polega na emitowaniu milionów impulsów na sekundę i mierzeniu czasu potrzebnego na odbicie od powierzchni i powrót do pojazdy.” Radar krótkiego zasięgu pozwala na identyfikację obiektów znajdujących się m. in. przed pojazdem [Wieliczko, 2019, s. 42].

Kolejnymi przykładami innowacji są autonomiczne autobusy oraz drony. Samojeżdzący autobus typu Olli jest pojazdem stworzonym za pomocą drukarki 3D. Nowoczesny pojazd można wydrukować w niespełna 10 godzin [<https://www.ibm.com/>, 05.05.2020]. Niewielkie bezałogowe statki powietrzne umożliwiają już nie tylko przenoszenie ładunków. Ehang-216 jest jednym z dronów służących do transportu ludzi. Pomimo, że obecnie nie jest to tanie rozwiązanie, docelowo ma służyć między innymi zmniejszeniu kosztów podróży [<https://www.ehang.com/>, 05.05.2020].

Drogi indukcyjne są jedną z istotnych innowacji drogowych. Taka infrastruktura umożliwi szybsze ładowanie się pojazdów elektrycznych, zapewnienie niższych

kosztów podróży, a także jest rozwiązaniem ekologicznym. Korzystanie z elektrycznych aut pozwala znacznie obniżyć ilość spalin w miastach.

Zastosowanie dwupoziomowości dróg pozwala na większą przepustowość ruchu, co przekłada się na wyższy poziom bezpieczeństwa, szybszą podróż, a także, ze względu na zmniejszenie zużycia paliwa, tańszą podróż. Taka infrastruktura jednak stosunkowo wysokich nakładów finansowych na budowę. Oszczędność energii jest możliwa także za sprawą inteligentnego oświetlenia drogi – tylko wtedy i w tych miejscach, gdzie jest to konieczne [<https://royalsocietypublishing.org/>, 05.05.2020].

Podsumowanie

Postęp technologiczny umożliwił zastosowanie nowych technologii na terenie obszarów miejskich. Dzięki rozwiązaniom z zakresu Przemysłu 4.0 takim jak Automatyka i Robotyka, Sztuczna Inteligencja, Internet Rzeczy zwiększa się komfort jazdy obywateli oraz ich poziom bezpieczeństwa. Wymienione technologie pozwalają również na oszczędność energii, lepsze wykorzystanie pojazdu a także zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko. Digitalizacja danych konieczna do zrealizowania wszystkich koncepcji z zakresu nowoczesnych technologii niesie jednak za sobą ryzyko ataków hakerskich. Konieczność zachowania bezpieczeństwa jest jednym z wyzwań stojących przed przyszłymi inżynierami. Autorskie zestawienie, jakie przedstawiono w artykule, umożliwiło autorom opisanie korzyści, jakie płyną z zastosowania danej innowacji w transporcie drogowym osób w inteligentnych miastach. Szczegółowo opisano dziedziny Przemysłu 4.0, a także przykłady rozwiązań z ich zakresu.

Literatura

1. A. Koźlak, *Inteligentne systemy transportowe jako instrument poprawy efektywności transportu*. Logistyka, 2008, nr 2
2. American Association for the Advancement of Science <https://www.sciencemag.org/news/2020/04/artificial-intelligence-evolving-all-itself>, 07.05.2020
3. Ashokkumar, K., B. Sam, R. Arshadprabhu. (2015), *Cloud based intelligent transport system*, Procedia Computer Science nr 50, s. 58
4. Audi expands Traffic Light Information - now includes speed recommendations to minimize stops, Audi Newsroom, <https://media.audiusa.com/en-us/releases/301> [05.05.2020]
5. Barreto L., Amaral A., Pereira T. (2017), Industry 4.0 implications in logistics: an overview, *Procedia Manufacturing* nr 13, s. 1245-1251

6. Brach J. (2019), Kształtowanie się Transportu 4.0 i Systemu Transportu 4.0 w kontekście wpływu Rewolucji 4.0 na współczesny transport drogowy, *Ekonomia XXI Wieku*, nr 21, s. 88-98
7. CIRP Encyclopedia of Production Engineering https://link.springer.com/reference-workentry/10.1007%2F978-3-642-35950-7_16790-1 [07.05.2020]
8. Ciszak, O. L. A. F. (2007). Komputerowo wspomagane modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 6, s. 40
9. Connected Vehicles: Vehicle-to-Pedestrian Communications, United States Department of Transportation, https://www.its.dot.gov/factsheets/pdf/CV_V2Pcomms.pdf [05.05.2020]
10. Deka, L., Khan, S. M., Chowdhury, M., Ayres, N. (2018), *Transportation cyber-physical system and its importance for future mobility*, *Transportation Cyber-Physical Systems*, s. 1-20
11. EHANG, https://www.ehang.com/news/613.html?fbclid=IwAR07XfcBkabjA0ho_2ao1NraB1mPM_EPCTF8pKEuFUOXSU-iSEU5vwLzcMA [05.05.2020]
12. Encyklopedia Britannica, <https://www.britannica.com/topic/The-Fourth-Industrial-Revolution-2119734>, 05.06.2020
13. Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/inzynieria-ruchu;3915291.html?fbclid=IwAR05rNLd-UUoDSBbpKkUhvEeCjhb2ZROlmFRtrzLsbVgGD0zO5kAwcBzziU> [02.05.2020]
14. Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/rewolucja-przemyslowa;3967502.html> [02.05.2020]
15. Erboz G. (2017), *How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0*, Szent Istvan University, Gödöllő, s. 1-8
16. Ford, <https://www.ford.pl/oferta/znajdz/samochody-elektryczne/plug-in-hybrid?fbclid=IwAR0QAXY0A4zoiHBzWpVwlmZ1yFO2vcvJy6g5FxRJtYETCH-SBaStX1rmvWE> [05.05.2020]
17. Grabowska S., Sieka K. (2019), *Inteligentne fabryki przemysłu 4.0*, *Management and Quality, Zarządzanie i Jakość*, nr 1, s. 52-55
18. https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3349263.3351330?fbclid=IwAR2pdMJDE-FsB14n2N6SD0MQFVzG_DS0PDtF1y8Ixp391w1jM_X-mpKrRaPE [06.06.2020]
19. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6740844> [06.06.2020]
20. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6851114> [06.06.2020]
21. <https://link.springer.com> [07.05.2020]
22. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en> [06.06.2020]
23. <https://www.nist.gov/> [07.05.2020]
24. https://www.tomtom.com/pl_pl/ [06.06.2020]
25. Iwański T. (2017), *Przemysł 4.0 i wszystko jasne, Napędy i sterowanie*, nr 1, s. 22-23

26. Kiraga K. (2016), *Przemysł 4.0: 4. rewolucja przemysłowa według Festo*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, nr 3, s. 41-44
27. Komisja Europejska, „Biała Księga, Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu- dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu” (2011), s. 3 <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:pl:PDF> [06.06.2020]
28. Lasi H., Fettke P., Feld T., Hoffmann M. (2014), *Industry 4.0*, Business & information systems engineering, nr 6.4, s. 239-242
29. Leveraging Big Data for Managing Transport Operations (2018), Komisja Europejska, <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bc2154c4&appId=PPGMS> [05.05.2020]
30. Microsoft, <https://azure.microsoft.com/pl-pl/overview/what-is-cloud-computing/> [07.05.2020]
31. Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., Scorrano, F. (2014). *Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts*. *Cities*, 38, 25-36
32. Official website of the United States government <https://www.nist.gov/el/cyber-physical-systems> [07.05.2020]
33. Pamuła, T., Król, A. (2010). Model systemu zarządzania ruchem pojazdów w obszarze miejskim z wykorzystaniem sieci neuronowych. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska* 67, s. 91-96
34. Pawłowska B. (2009), *Teorie motywacji*, Katedra Socjologii Organizacji i Zarządzania Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 2-4
35. Polski Komitet Normalizacyjny, <https://wiedza.pkn.pl/web/wiedza-normalizacyjna/inteligentne-miasta> [10.05.2020]
36. *Przemysł 4.0 - technologie przyszłości*, <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/47534-przemysl-4-0-technologie-przyszlosci> [02.02.2020]
37. Puig-Pey, A., Bolea, Y., Grau, A., & Casanovas, J. (2017). Public entities driven robotic innovation in urban areas. *Robotics and autonomous systems*, pp. 166-167
38. Raport Światowego Forum Ekonomicznego, "Supply Chain 4.0. Global Practices and Lessons Learned for Latin America and the Caribbean", rozdział 1. "The supply chain in the Fourth Industrial Revolution", p. 6-14
39. S. Sharma, Virtual Reality's Potential Impact on Transportation, organizacja IEEE Transmitter, <https://transmitter.ieee.org/virtual-realitys-potential-impact-on-transportation/> [05.05.2020]
40. Sanghavi D., Parikh S., Raj S. A. (2019), *Industry 4.0: tools and implementation*, Management and Production Engineering Review, nr 10 (3), p. 3-10
41. Sibarajah U., Kamal M. M., Irani Z., Weerakkody V. (2017), Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods, *Journal of Bussines Research*, nr 79, s. 263-286

42. Sosnowski T. (2018), *Thermovision system for flying objects detection*. Baltic URSI Symposium (URSI). IEEE, 2018
43. Sosnowski T., *Thermovision system for flying objects detection* (2018) Baltic URSI Symposium (URSI). IEEE, https://www.researchgate.net/publication/326276829_Thermovision_system_for_flying_objects_detection [05.05.2020]
44. Stanford Encyclopedia of Philosophy <https://plato.stanford.edu/entries/simulations-science/> [07.05.2020]
45. Stawasz D., Sikora-Fernandez D., Turała M. (2012), *Koncepcja smart city jako wyznacznik podejmowania decyzji związanych z funkcjonowaniem i rozwojem miasta*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego 721.29, s. 97-109
46. Strona Internetowa producenta oprogramowania do symulacji ruchu PTV Group <https://www.ptvgroup.com/pl/rozwiwania/produkty/ptv-vissim/> [05.05.2020]
47. Strona internetowa przedsiębiorstwa IBM, https://www.ibm.com/blogs/industries/olliai-and-iot-autonomous-bus/?fbclid=IwAR2KrA6f-dF7mDnr90pGmepXkmM4teav6iSEvJy_YFo4ukGy2Hft8Khkoyo [05.05.2020]
48. Szpilko D., *Foresight as a Tool for the Planning and Implementation of Visions for Smart City Development*, *Energies*, 13, 1782, pp. 1-24
49. Szymańska O., Adamczak M., Cyplik P. (2017), *Logistics 4.0-a new paradigm or set of known solutions?*, *Research in Logistics & Production*, nr 7, s. 300-307
50. The World Bank, United Nations Population Division. *World Urbanization Prospects: 2018*, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.in.zs> [30.04.2020]
51. Toh Ch. K., Sanguesa J. A., Cano J. C., Martinez F. J. (2020), *Advances in smart roads for future smart cities*, <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2019.0439> [05.05.2020]
52. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> [30.04.2020]
53. Vehicle-to-Everything (V2X) Communications, U.S. Department of Transportation, <https://www.transportation.gov/v2x> [05.05.2020]
54. Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Resources, United States Department of Transportation, <https://www.its.dot.gov/v2i/index.htm> [05.05.2020]
55. Vehicle-to-Pedestrian (V2P) Communications for Safety, United States Department of Transportation, https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/v2p_comm_safety.htm [05.05.2020]
56. Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communications for Safety, United States Department of Transportation https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/v2v_comm_safety.htm [03.05.2020]

57. Wieliczko M. M. (2019) Autonomiczne auta–wizja niedalekiej przyszłości, *Autobusy–Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 228.3 , s. 41-44
58. Wilk T., Pawlak P. (2014). Kongestia transportowa. *Logistyka*, 6, <https://www.czasopismologistyka.pl/component/jdownloads/send/318-artykuly-na-plycie-cd-3/7192-artykul>, 06.06.2020
59. Winkowska J., Szpilko D., Pejić S. (2019). *Smart city concept in the light of the literature review*, *Engineering Management in Production and Services*, 11(2), p. 70-86
60. Wittbrodt P., Łapuńska I. (2017), *Przemysł 4.0 — Wyzwanie dla współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych* „Innowacje w zarządzaniu i inżynierii Produkcji, nr 2, s. 793-724
61. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Zorzi, M. (2014), Internet of things for smart cities, *IEEE Internet of Things Journal*, s. 22

Industry 4.0 – Innovations in road passenger transport in smart cities

Abstract

The fourth industrial revolution is the period of introducing digital systems and computerization of flows. The article presents the assumptions of Industry 4.0 and describes its fields such as: Internet of Things, Cyber-physical systems, Automation and robotics, Virtual Reality, Big Data, and Cloud computing. It was essential to point out the link between Smart City and Industry 4.0 and road passenger transport. In order to describe the benefits of using innovations related to road transport of people in smart cities, they were compiled by their own author. The solutions were divided according to: level, time of travel, safety of travelers, economy and ecological movement, space saving and the given improvement was assigned to the relevant field of Industry 4.0.

Keywords

Industry 4.0, road transport, smart cities, innovation