

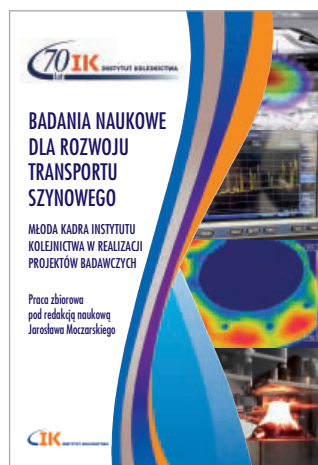
Badania naukowe dla rozwoju transportu szynowego. Młoda kadra Instytutu Kolejnictwa w realizacji projektów badawczych

Informację opracował Jarosław MOCZARSKI¹

Streszczenie

Monografia naukowa, opublikowana w grudniu 2021 roku przez Wydawnictwo Naukowe Instytutu Kolejnictwa, jest poświęcona projektom badawczym realizowanym przez młodych pracowników Instytutu. W publikacji opisano wyniki prac badawczych dotyczących bezpieczeństwa pożarowego w pasażerskich pojazdach szynowych, hałasu generowanego przez pociągi dużych prędkości, stateczności wagonów towarowych, konstrukcji pojazdów szynowo-drogowych, właściwości fizykochemicznych systemów malarskich stosowanych w transporcie szynowym, kompatybilności elektromagnetycznej w środowisku kolejowym, wybranych elementów infrastruktury kolejowej i ich wpływu na bezpieczeństwo i niezawodność transportu szynowego, procesów certyfikacji podsystemów kolejowych, roli badań symulacyjnych w transporcie szynowym oraz systemów łączności przewodowej i wdrażania radiowych, cyfrowych technologii teleinformatycznych. Wyniki prac badawczych zaprezentowano na Sympozjum Młodych Talentów IK – SYMTA 2021, zorganizowanym w maju 2021 roku w Instytucie Kolejnictwa.

Słowa kluczowe: transport szynowy, badania naukowe, młodzi naukowcy



Praca zbiorowa pod redakcją naukową Jarosława Moczarskiego
Tytuł: Badania naukowe dla rozwoju transportu szynowego. Młoda kadra Instytutu Kolejnictwa w realizacji projektów badawczych
Wydawca: Instytut Kolejnictwa
Rok wydania: 2021
Liczba stron: 268
Bibliografia: 308 pozycji
ISBN: 978-83-943246-9-8

W 2021 roku Instytut Kolejnictwa obchodził siedemdziesiąte swoje istnienie. Wśród pracowników naukowych, badawczych i inżynierjno-technicznych, znaczącą część stanowią ludzie młodzi. Aktywnie uczestniczą w pracach zespołów badawczych. Realizują projekty z zakresu dróg kolejowych, pojazdów szynowych, nowych materiałów, elementów i rozwiązań konstrukcyjnych, systemów sterowania ruchem kolejowym, łączności oraz

teleinformatyki, sieci trakcyjnej i systemów zasilania, logistyki i organizacji przewozów, analiz rynku transportowego, ochrony środowiska naturalnego oraz dostępności transportu szynowego dla osób niepełnosprawnych. Prowadzą także działalność certyfikacyjną.

Monografia jest efektem zorganizowanego w maju 2021 r. Sympozjum Młodych Talentów Instytutu Kolejnictwa – SYMTA 2021. Sympozjum było okazją do zaprezentowania przez młodych pracowników Instytutu osiągnięć naukowych i zawodowych oraz wymiany informacji o realizowanych projektach. Służyło doskonaleniu umiejętności prezentowania własnych osiągnięć oraz publikowania wyników prowadzonych badań.

W monografii przedstawiono wyniki prac badawczych wykonywanych przez młodych pracowników Instytutu Kolejnictwa, omawianych w trakcie Sympozjum.

Zgromadzony materiał podzielono na 7 części (obszary tematyczne):

- bezpieczeństwo pożarowe (część I),
- pojazdy szynowe (część II),
- kompatybilność elektromagnetyczna (część III),
- elementy infrastruktury (część IV),
- procesy certyfikacji (część V),
- symulacja w badaniach i eksploatacji (część VI),
- systemy łączności kolejowej (część VII).

¹ Dr hab. inż. prof. instytutu; Instytut Kolejnictwa; e-mail: jmoczarski@ikolej.pl.

Każda część monografii jest poprzedzona wprowadzeniem, przygotowanym przez doświadczonych specjalistów naukowo-badawczych Instytutu. Monografia liczy 268 stron, zawiera 130 rysunków i 22 tablice. Bibliografia obejmuje 308 pozycji literatury.

We wstępie, redaktor naukowy monografii dr hab. inż. Jarosław Moczarski przedstawił historię Instytutu Kolejnictwa od momentu jego utworzenia w 1951 roku oraz opisał zadania stawiane Instytutowi przez ówczesne kierownictwo resortu komunikacji. Przytoczył fragmenty wypowiedzi Ministra Komunikacji, na uroczystościach z okazji trzydziestopięciolecia istnienia Instytutu obchodzonego w 1986 roku, podkreślające zaangażowanie instytutu w rozwój transportu kolejowego w Polsce, znaczący wkład w opracowanie i wdrażanie nowych, innowacyjnych rozwiązań technicznych i organizacyjnych, a także uznaną pozycję instytutu, jako jednostki wiodącej i koordynującej badania oraz prace na rzecz rozwoju transportu szynowego. Scharakteryzował obecną działalność instytutu zarówno w zakresie realizacji projektów naukowo-badawczych jak również prac komercyjnych. Zwrócił uwagę na rolę i zaangażowanie młodych pracowników w realizację zadań badawczych. Wskazał możliwości rozwoju naukowego i zawodowego pracowników oraz priorytetowe kierunki dalszych prac instytutu.

Część I monografii: Wybrane aspekty bezpieczeństwa pożarowego w pasażerskich pojazdach szynowych

We wprowadzeniu (rozdz. 1.1) dr inż. Jolanta Radziszewska-Wolińska zwróciła uwagę na znaczenie bezpieczeństwa pożarowego w przewozach pasażerskich. Nakreśliła historię rozwoju taboru kolejowego, wprowadzane zmiany konstrukcyjne uwzględniające wymagania bezpieczeństwa pożarowego, wykorzystanie nowych materiałów, a także rozwój narzędzi służących ocenie zagrożenia pożarowego i określania metod jego zapobiegania.

Scharakteryzowała kierunki, prowadzonych w Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa, prac badawczych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego, a także możliwości badawcze laboratorium, dostępną aparaturę i stanowiska pomiarowe.

Rozdział 1.2: *Właściwości ogniowe wybranych grup materiałów stosowanych w pojazdach szynowych po zakończeniu okresu przejściowego w TSI LOC&PAS* (autorki: Aneta Świetlik, Marta Łyszcz). Opisano w nim zasady doboru materiałów niemetalowych, spełniających wymagania w zakresie właściwości palno-dymowych, w szczególności materiałów stosowanych na dużych powierzchniach wewnątrz i na zewnątrz pojazdów (np. elementów ścian, sufitów, podłóg i przejść między wagonami, a także powłok malarskich). Przedstawiono aktualne wymagania wynikające z zapisów TSI LOC&PAS oraz wyniki prowadzonych badań. Przedstawiono także zastosowany w normie, podział wyrobów na grupy materiałowe i przypisane im wymagania zależne od kategorii zagrożenia pojazdów (HL), wynikające z ich kategorii projektowej oraz kategorii eksploatacyjnej.

Rozdział 1.3: *Pomiar wydzielanego ciepła metodą różnicowej kalorymetrii tlenowej* (autor Jakub Piergies). W tym rozdziale opisano przeznaczenie kalorymetrów oraz ich klasyfikację. Przedstawiono stosowane w Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa następujące przyrządy laboratoryjne: kalorymetr stożkowy oraz kalorymetr meblowy, wykorzystywane do pomiaru procesów spalania produktów złożonych. Opisano budowę i zasadę działania tych urządzeń, wykorzystywaną metodę badawczą różnicowej kalorymetrii tlenowej, a także badania materiałów zrealizowane przez autora oraz przykładowe wyniki.

Rozdział 1.4: *Bezpieczeństwo pożarowe pasażerskich pojazdów szynowych – aktywne i pasywne systemy zabezpieczeń* (autor Adrian Kaźmierczak). Przedstawiono działania mające na celu opracowanie narzędzi do oceny stopnia zagrożeń pożarowych. Scharakteryzowano wymagania krajowe i europejskie dotyczące pasywnych i aktywnych środków zabezpieczeń, ukierunkowane zarówno na ograniczanie zagrożeń, jak również minimalizacji skutków pożaru w przypadku jego zaistnienia. Szerzej opisano aktywne metody zabezpieczania przed rozwojem pożaru oraz jego gaszenia. Zaprezentowano metodę badania skuteczności działania systemu wykrywania pożaru i działania podejmowane przez Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji w Instytucie Kolejnictwa, w celu jej wdrożenia do praktyki laboratoryjnej. Zamieszczono informacje dotyczące przewidywanych zmian w zakresie europejskich wymagań i metodyki badawczej FCCS (ang. *Fire Containment and Control Systems*) w obszarze wykrywania i powstrzymania pożaru.

Część II monografii: Badanie i certyfikacja pojazdów szynowych – wybrane zagadnienia

Autor wprowadzenia Sławomir Walczak (rozdz. 2.1) opisał wymagania stawiane pojazdom szynowym, których spełnienie jest warunkiem umożliwiającym ich wprowadzenie do eksploatacji. Przedstawił rodzaje i zakres prowadzonych badań oraz procedury towarzyszące procesowi certyfikacji. Zwrócił uwagę na nowe wymagania związane z dopuszczaniem do ruchu pociągów osiągających prędkość do 200 km/h, a w niedalekiej przyszłości – także 230 lub 250 km/h.

Rozdział 2.2: *Główne źródła hałasu pochodzącego od pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości* (autor: Krzysztof Polak). Opisano problematykę oceny hałasu kolejowego emitowanego podczas eksploatacji pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości. Przedstawiono wyniki badań, w trakcie których dokonano identyfikacji głównych źródeł hałasu emitowanego przez pociągi poruszające się z prędkością około 200 km/h. Analizowano źródła i natężenie hałasu w trakcie jazdy na łuku i odcinkach prostych.

Rozdział 2.3: *Badania symulacyjne stateczności dwuosowego wagonu towarowego* (autor Rafał Jarkiewicz). Dokonano analizy wpływu poprzecznego pochylenia szyn na stateczność dynamiczną dwuosowego wagonu

towarowego z zawieszeniem wieszakowym typu UIC, podczas jazdy po torze prostym. W rozważaniach poddano ocenie wpływ różnych wartości poprzecznego pochylenia szyn na ekwiwalentną stożkowatość. Dokonano przeglądu zagadnień związanych z badaniem stateczności dynamicznej w ujęciu liniowym oraz nieliniowym, z uwzględnieniem zjawiska bifurkacji. Przedstawiono wyniki symulacji przeprowadzonych z wykorzystaniem liniowego oraz nieliniowego modelu zjawiska kontaktu między kołem i szyną.

Rozdział 2.4: *Ocena pojazdu szynowo-drogowego na zgodność z polską infrastrukturą i stałymi instalacjami – teoria a praktyka (autor Adam Kamiński)*. Opisano regulacje prawne stanowiące podstawę dopuszczania do eksploatacji maszyn drogowo-torowych na sieci PKP PLK S.A. Przedstawiono wymagania techniczne warunkujące zgodność parametrów maszyn z polską infrastrukturą i stałymi instalacjami, a także warunki, których spełnienie nie jest wymagane w przypadku maszyn niezgodnych z Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności (TSI). Dokonano oceny istniejących przepisów oraz przeanalizowano zasadność doboru kontrolowanych parametrów.

Rozdział 2.5: *Wpływ starzenia laboratoryjnego na wybrane właściwości fizyko-chemiczne systemów malarskich stosowanych w transporcie szynowym (autor Marcin Garbacz)*. Opisano laboratoryjne badania starzeniowe systemów malarskich stosowanych w transporcie szynowym, realizowane w warunkach symulowanego oddziaływania światła słonecznego, temperatury i wilgoci. Opisano wpływ czynników otoczenia na degradację badanych systemów malarskich oraz wpływ procesu starzenia na wybrane właściwości fizyko-chemiczne powłok (grubość, twardość, odporność na tłoczenie, odporność na odrywanie, odporność na środki chemiczne, zachowanie warstwy ochronnej antygraffiti oraz połysk i barwę). Przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań. Zwrócono uwagę na brak regulacji w zakresie wymagań dla powłok organicznych stosowanych w polskim transporcie szynowym.

Część III monografii: Kompatybilność elektromagnetyczna w transporcie szynowym

Autor wprowadzenia (rozd. 3.1), dr inż. Andrzej Białoń, wyjaśnił pojęcie kompatybilności elektromagnetycznej, omówił trzy rodzaje kompatybilności tworzące tzw. kompatybilność techniczną, której zapewnienie jest istotne w transporcie szynowym. Przedstawił zjawiska charakteryzujące zaburzenia elektromagnetyczne, klasyfikację tych zaburzeń oraz sposoby propagacji. Poruszył zagadnienie odporności na zakłócenia systemów sterowania ruchem kolejowym.

Rozdział 3.2: *Wpływ pola elektromagnetycznego na urządzenia pracujące w środowisku kolejowym – badania kompatybilności elektromagnetycznej (autor Kamil Białek)*. Opisano narażenia urządzeń pracujących w środowisku kolejowym na oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych, w tym wzajemne oddziaływanie stacjonarnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym i telekomunikacji oraz pojazdów

trakcyjnych na siebie, a także na inne urządzenia znajdujące się w pobliżu. Wskazano na zależność sposobów oddziaływania od zakresu częstotliwości, na których wystąpiły zakłócenia. Szczególną uwagę zwrócono na sprzężenia indukcyjne i pojemnościowe. Zaprezentowano sposoby ich eliminacji. Przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań.

Rozdział 3.3: *Charakterystyka badań EMC i klimatycznych nowoczesnych systemów zdalnego sterowania lokomotywami manewrowymi (autor Karol Urbaczewski)*. Zaprezentowano nowoczesne, bezprzewodowe systemy zdalnego sterowania lokomotywami manewrowymi. Opisano badania kompatybilności elektromagnetycznej oraz badania środowiskowe systemu zdalnego sterowania składającego się z nadajnika i odbiornika, z uwzględnieniem wymagań zawartych w normach PN-EN 50121-4 oraz PN-EN 50155.

Rozdział 3.4: *Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń sterowania ruchem kolejowym (autor Patryk Wetoszka)*. Przedstawiono zagadnienie wrażliwości urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk) na promieniowane pole elektromagnetyczne oraz różnego rodzaju wyładowania energii. W szczególności zwrócono uwagę na pracę nowoczesnych urządzeń elektronicznych opartych na układach impulsowych, które generują zaburzenia negatywnie wpływające na funkcjonowanie innych systemów. Omówiono badania emisji elektromagnetycznych zaburzeń promieniowanych urządzeń srk. Zaprezentowano wyniki prób przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych oraz w terenie.

Część IV monografii: Elementy infrastruktury kolejowej a bezpieczeństwo transportu szynowego

We wprowadzeniu (autorstwa dr inż. Jolanty Radziszewskiej-Wolińskiej, rozdział 4.1) zwrócono uwagę na wpływ stanu technicznego elementów infrastruktury na funkcjonowanie transportu kolejowego i bezpieczeństwo przewozów. Przytoczono polskie i europejskie akty prawne regulujące zagadnienie bezpieczeństwa w przewozach pasażerskich i towarowych. Wskazano instytucje odpowiedzialne za zachowanie wymaganego poziomu bezpieczeństwa na sieci linii kolejowych w Polsce.

Rozdział 4.2: *Charakteryzowanie uszkodzeń szyn jako element procesu projektowania układu przetworników ultradźwiękowych (autor Łukasz Antolik)*. Omówiono wady szyn oraz konsekwencje ich występowania dla realizacji procesu przewozowego. Przedstawiono klasyfikację uszkodzeń oraz schemat opisu uszkodzeń eksploatacyjnych. Przytoczono statystykę wykrywalności niektórych typów wad eksploatacyjnych. Opisano zasady doboru głowic ultradźwiękowych do badań eksploatacyjnych szyn. Zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych z wykorzystaniem modelowania propagacji fal ultradźwiękowych metodą *ray tracing*.

Rozdział 4.3: *Badania zgodności przekuć szyn i kształtowników szynowych z wymaganiami normy PN-EN 16273 (autor Izabela Trzeciak)*. Omówiono wymagania dotyczące badań przekuć w szynach i kształtownikach. Przywołano

zapisy normy PN-EN 16273. Zaprezentowano wybrane wyniki badań przekuć kształtowników iglicowych, w szczególności rozkład twardości na przekrojach poprzecznych oraz wzdłuż osi podłużnej główki szyny, a także wyniki badań makro- i mikrostruktury oraz głębokości warstwy odwęglonej w główce szyny.

Rozdział 4.4: *Przegląd metod odladzania sieci trakcyjnej (autor Marek Skrzyniarz)*. Przedstawiono problemy we współpracy pantografu z przewodem jezdny występujące wskutek oblodzenia sieci trakcyjnej. Wskazano przyczyny powstawania oblodzenia. Scharakteryzowano stosowane metody odladzania sieci, ze szczególnym uwzględnieniem metod elektrycznych. Wskazano słabe strony wykorzystywanych rozwiązań, które nie uwzględniają wielu istotnych parametrów i zjawisk zachodzących w sieci oraz otoczeniu.

Część V monografii: Formalna akceptacja kolejowych rozwiązań technicznych przez Instytut Kolejnictwa – procesy certyfikacji

Autor wprowadzenia, dr hab. inż. Marek Pawlik (rozdz. 5.1) opisał wymagania formalne stawiane urządzeniom i systemom przeznaczonym dla transportu szynowego oraz zasady ich dopuszczania do eksploatacji. Przedstawił europejskie i krajowe akty prawne służące podstawą do realizacji procesu certyfikacji. Zaprezentował historię uzyskiwania przez Instytut Kolejnictwa uprawnień jednostki certyfikującej oraz zakres posiadanych kompetencji.

Rozdział 5.2: *Wymagania jakościowe stawiane kolejowym inwestycjom strukturalnym w Polsce na przykładzie wybranego procesu certyfikacji (autor Katarzyna Gierwatowska)*. Omówiono wymagania, jakie powinny być spełnione w celu uzyskania, na rzecz inwestycji infrastrukturalnych na obszarze Unii Europejskiej, dopuszczenia do eksploatacji. Na przykładzie typowej inwestycji infrastrukturalnej podsystemu Energia, realizowanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. na wybranej linii kolejowej, scharakteryzowano etapy jej powstawania, w których uczestniczy jednostka certyfikująca (notyfikowana i wyznaczona) oraz zakres działań realizowanych przez tę jednostkę.

Rozdział 5.3: *Problemy procesów oceny zgodności na przykładzie wybranych procesów certyfikacji (certyfikacja w obszarze dobrowolnym i certyfikacja Zakładowej Kontroli Produkcji) (autor Bogusława Kielczyk)*. Przedstawiono problemy występujące w procesach certyfikacji w dobrowolnym obszarze oceny zgodności oraz podczas certyfikacji Zakładowej Kontroli Produkcji. Zaprezentowano etapy realizowanych procesów, kryteria kompetencyjne pracowników zajmujących się poszczególnymi procesami certyfikacji oraz obecne wymagania prawne. Opisano proces certyfikacji Zakładowej Kontroli Produkcji, a także przedłużanie i rozszerzanie certyfikatów oraz sposoby ich nadzorowania.

Rozdział 5.4: *Procesy certyfikacji podsystemów kolei w świetle wymagań prawa europejskiego i krajowego (autor Magdalena Kycko)*. Omówiono etapy procesu certyfikacji w realizacji inwestycji kolejowych oraz wymagania

prawne, zgodnie z którymi jest realizowany ten proces. Przedstawiono i sklasyfikowano wymagania prawne dotyczące procesu certyfikacji związane z wprowadzaniem interoperacyjności w transporcie kolejowym. Opisano proces certyfikacji podsystemów zgodnie z wymaganiami prawa krajowego oraz prawa europejskiego. Zamieszczono także wykaz składników interoperacyjności dla podsystemów infrastrukturalnych oraz Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności stosowanych w procesie oceny tych podsystemów. Zwrócono uwagę na problemy i zagrożenia występujące w procesie certyfikacji.

Część VI monografii: Symulacja w badaniach i eksploatacji elementów transportu szynowego

We wprowadzeniu (rozdz. 6.1) dr hab. inż. Jacek Kukulski zwrócił uwagę na rolę badań symulacyjnych w opracowaniu nowych rozwiązań technicznych i organizacyjnych przeznaczonych dla transportu szynowego. Przedstawił przykłady modeli i narzędzi symulacyjnych wykorzystywanych w badaniach elementów infrastruktury i taboru, a także najczęściej stosowane metody rozwiązywania problemów inżynierskich w badaniach symulacyjnych. Opisał przykłady wykorzystania wyników badań symulacyjnych w realizacji badań doświadczalnych.

Rozdział 6.2: *Rola symulatorów systemów sterowania ruchem kolejowym w procesie dopuszczenia do eksploatacji oraz szkolenia pracowników (autor Beata Pracoń)*. Zaprezentowano symulatory wykorzystywane do realizacji badań funkcjonalnych systemów sterowania ruchem kolejowym, a także symulatory stosowane przez producentów systemów srk do testowania nowych wyrobów oraz przeznaczone do szkolenia pracowników kolei. Opisano badania funkcjonalne realizowane z wykorzystaniem symulatorów oraz korzyści i zagrożenia wynikające z ich stosowania. Przedstawiono przykłady symulatorów szkoleniowych. Zaprezentowano symulator interfejsów znajdujący się w Pracowni Systemów Sterowania Ruchem Kolejowym w Zakładzie Sterowania Ruchem Kolejowym i Teleinformatyki Instytutu Kolejnictwa.

Rozdział 6.3: *Analiza zdolności infrastruktury kolejowej do tłumienia opóźnień ruchu pociągów z wykorzystaniem modelu mikrosymulacyjnego (autor Marta Rogowska-Jędra)*. Przedstawiono metodę analizy odporności infrastruktury kolejowej na opóźnienia ruchu pociągów. Zaprezentowano model mikrosymulacyjny ruchu kolejowego służący do analizy i oceny występujących zakłóceń. Przeprowadzono analizę statystyczną wyników opóźnień na wybranych stacjach węzłowych według przyjętego podziału na kategorie pociągów, która umożliwiła stwierdzenie w jakim stopniu zaprojektowana infrastruktura jest zdolna do tłumienia zakłóceń ruchu.

Rozdział 6.4: *Symulacja współpracy sieci trakcyjnej i pantografu w celu dostosowania linii do ruchu dużych prędkości (autor Petro Hubskiyi)*. Zaprezentowano modele współpracy pantografów i sieci trakcyjnej oraz dokonano ich klasyfikacji. Omówiono regulacje prawne dotyczące sieci trakcyjnej i pantografów. Przedstawiono model matematyczny

sieci trakcyjnej wykorzystujący metodę elementów skończonych, poszczególne etapy jego budowy oraz wyniki symulacji odpowiednio dla prędkości pociągów 250 km/h oraz 300 km/h. Opisano problem równoważenia linii jezdnej w procesie symulacji. Dokonano oceny dokładności zaproponowanego modelu.

Część VII monografii: Współczesne technologie teleinformatyczne elementem cyfryzacji kolei

We wprowadzeniu (rozdz. 7.1) dr inż. Marek Sumiła zaprezentował nowe systemy teleinformatyczne ITC (ang. *Information and Communications Technology*), wdrażane w transporcie kolejowym, umożliwiające zwiększenie efektywności oraz poprawę bezpieczeństwa przewozów. Scharakteryzował stosowane dotychczas oraz nowe technologie radiowe, służące do przesyłania informacji między poruszającymi się pojazdami oraz między pojazdami i elementami infrastruktury. Szeroko omówił procesy wdrażania technologii cyfrowych w obszarze infrastruktury kolejowej.

Rozdział 7.2: *Analiza obowiązujących w Polsce wymagań dotyczących łączności przewodowej w środowisku kolejowym* (autor Monika Sawicka). Przedstawiono analizę wymagań stawianych systemom łączności przewodowej eksploatowanym w środowisku kolejowym. Przybliżono wymagania dotyczące systemów o charakterze ogólnoeksploatacyjnym (obejmujących obszar kolejowy i połączonych z siecią

publiczną), wydzielonej sieci łączności wykorzystywanej do prowadzenia ruchu kolejowego oraz systemów łączności służących do transmisji danych, wykorzystywanych m.in. na potrzeby monitoringu wizyjnego, informacji pasażerskiej i sprzedaży biletów. Dokonano analizy wymagań zawartych w dokumentach Unii Europejskiej (przede wszystkim dotyczących interoperacyjności kolei w zakresie podsystemu „Sterowanie”) oraz w zapisach prawa krajowego (Ustawa o transporcie kolejowym, Lista Prezesa UTK, dokumenty normalizacyjne).

Rozdział 7.3: *System FRMCS – geneza oraz zakres migracji z systemu GSM-R* (autor Krzysztof Tchórzewski). Opisano rozwój bezprzewodowych systemów łączności kolejowej oraz przejście na systemy cyfrowe. Wskazano potrzebę zastąpienia systemu GSM-R nowym systemem radiowym spełniającym rosnące wymagania dotyczące m.in. przepustowości, pojemności, wydajności, dostępności oraz cyberbezpieczeństwa. Przedstawiono przyczynę opracowania systemu FRMCS (ang. *Future Railway Mobile Communication System*), który ma być przyszłym światowym systemem komunikacji bezprzewodowej przeznaczonym dla kolei. Omówiono podstawowe założenia nowego systemu, wykorzystywane technologie oraz widmo radiowe oraz warianty migracji z dotychczasowego systemu GSM-R do systemu FRMCS ze szczególnym uwzględnieniem funkcjonowania pokładowych urządzeń ETCS oraz radiotelefonu kabinowego.