



**WYDZIAŁ INŻYNIERII
LĄDOWEJ I TRANSPORTU
POLITECHNIKA POZNAŃSKA**



mgr Robert Świechowicz

**Zastosowanie krajowych pojazdów kolejowych
w aspektach środowiskowych i ekonomicznych**

Rozprawa doktorska

Promotor
prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz

Promotor pomocniczy
dr n. tech. Włodzimierz Stawecki, prof. nadzw.

Poznań 2021

Spis treści

STRESZCZENIE	4
WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ	5
1. WPROWADZENIE I OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY	7
2. STAN I PERSPEKTYWY ROZWOJU TRANSPORTU SZYNOWEGO W POLSCE	8
2.1. Polityka transportowa państwa	8
2.2. Diagnoza stanu trakcyjnego taboru kolejowego w Polsce.....	16
2.3. Stan liczbowy trakcyjnego taboru kolejowego w Polsce.....	17
2.4. Rynek pojazdów kolejowych w Polsce – programy zakupu taboru trakcyjnego	19
3. TRANSPORT SZYNOWY A ŚRODOWISKO NATURALNE	25
3.1. Wpływ transportu na środowisko naturalne	25
3.2. Działania w zakresie ochrony środowiska w trakcie okresów życia taboru kole- jowego.....	27
3.3. Działania użytkowników taboru szynowego w obszarze ochrony środowiska.....	31
4. WYMAGANIA I UREGULOWANIA PRAWNE W ZAKRESIE BADAŃ EMISJI Z SILNIKÓW SPALINOWYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH.....	33
4.1. Przepisy Unii Europejskiej dotyczące badań emisji spalin pojazdów trakcyjnych .	33
4.2. Emisja hałasu	40
5. PROBLEMATYKA DYSERTACJI, JEJ CEL I ZAKRES.....	45
6. ZAKRES I METODYKA BADAŃ.....	47
6.1. Badania emisji spalin w aspekcie stylu jazdy	47
6.2. Badania hałasu	51
6.3. Badania komfortu jazdy.....	52
7. ASPEKTY EKONOMICZNE WPROWADZANIA LIMITÓW EMISJI SPALIN	58
7.1. Koszty ograniczania emisji spalin	58
7.2. Analiza systemów silnikowych i pozasilnikowych w aspekcie zmian limitów emisji spalin	61
8. EMISYJNA OCENA WYBRANYCH KRAJOWYCH LOKOMOTYW SPALINOWYCH	64
8.1. Trasy badawcze pojazdów szynowych	64
8.2. Wpływ stylu jazdy maszynisty na emisję spalin	65
8.2.1. Przejazdy lokomotywą SA108 Stage II	65
8.2.2. Przejazdy lokomotywą SA108 – Stage III	68
8.2.3. Przejazdy lokomotywą LINK.....	71
8.2.4. Badania lokomotywy Gama	73
8.3. Ocena ekonomicznego trybu jazdy pojazdów szynowych	75
9. OCENA KOMFORTU JAZDY MASZYNISTY ORAZ PASAŻERÓW	78
9.1. Wprowadzenie	78
9.2. Ocena drgań w kabinie maszynisty oraz wagonach pasażerskich.....	78
9.3. Ocena akustyczna kabiny maszynisty oraz wagonów pasażerskich.....	83

10. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA SPALINOWYCH POJAZDÓW TRAKCYJNYCH.....	93
10.1. Zakres ekonomicznej analizy efektywności	93
10.2. Założenia ekonomicznej analizy efektywności	94
10.3. Analiza porównawcza wyników	98
10.3.1. Szacowanie wartości kosztów i przychodów	98
10.3.2. Analiza rentowności.....	103
10.3.3. Wewnętrzna stopa zwrotu.....	109
10.3.4. Analiza wrażliwości.....	110
10.3.5. Wnioski z analizy ekonomicznej	111
11. WNIOSKI	113
11.1. Wnioski ogólne	113
11.2. Wnioski metodyczne	114
11.3. Wnioski szczegółowe	114
11.4. Wnioski prognostyczne	115
LITERATURA	116

STRESZCZENIE

Praca doktorska dotyczy zagadnień spalinowych pasażerskich pojazdów trakcyjnych eksploatowanych na krajowych liniach kolejowych. Zagadnienia poruszane w rozprawie skupiają się wokół aspektów środowiskowych oraz ekonomicznych. Współczesne ograniczenia dotyczące ochrony środowiska wymuszają konieczność monitoringu uciążliwości środowiskowej takich napędów (w tym uwzględnienie ochrony środowiska, komfortu jazdy oraz emisji hałasu), a jednocześnie powinny uwzględniać ekonomiczną opłacalność inwestycji w środki transportu szynowego. Krajowe warunki eksploatacji pojazdów szynowych wymuszają prowadzenie badań w zakresie emisji spalin do atmosfery przy jednoczesnym uwzględnieniu innych aspektów środowiskowych.

W pracy przedstawiono analizy badawcze dotyczące oceny emisji spalin ze współcześnie eksploatowanych pojazdów szynowych spełniających normy emisji Stage II oraz Stage III. Są to pojazdy eksploatowane na typowych krajowych liniach kolejowych. Badania prowadzono na typowych trasach kolejowych oraz (ze względu na możliwości badawcze) na torze pomiarowym. Analizę emisji spalin prowadzono w odniesieniu do zmiennych stylów jazdy maszynisty. Ocena zmiennych stylów jazdy wskazuje (tryb standardowy lub ekodriving), że pokonanie tej samej trasy w odmienny sposób przyczynia się do znacznych ograniczeń emisji składników toksycznych spalin, przy jednoczesnym ograniczeniu zużyciu paliwa. Wskazano, że stopień ograniczenia emisji zależy od normy emisji spalin spełnianej przez daną konstrukcję spalinowego pojazdu trakcyjnego.

Badania komfortu jazdy prowadzono w odniesieniu do kabiny maszynisty oraz pasażerów. Wykorzystano w tym celu wskaźniki w postaci przyspieszeń, komfortu pasażerów oraz spokojności biegu. Stwierdzono, że analizowane wskaźniki nie przekraczały wartości dopuszczalnych w warunkach jazdy w zakresie 20–120 km/h oraz w trakcie postoju. Maksymalne wartości spokojności biegu odnotowano w kabinach pojazdu, jednak były one niższe o ponad 30% od wartości dopuszczalnych.

Badania hałasu (infradźwiękowego i ultradźwiękowego) prowadzono zarówno w kabinach maszynistów oraz w pomieszczeniach pasażerskich. Pomiary prowadzono przy różnych prędkościach jazdy oraz na postoju. Dokonano pomiarów poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych i poziomów dźwięku we wskazanych pomieszczeniach. Stwierdzono, że poziom hałasu nie jest przekroczony w kabinach maszynisty w obu badanych pojazdach. Takich pozytywnych wyników nie uzyskano dla przedziałów pasażerskich. Średnie wartości przekroczeń zwiększają się wraz ze wzrostem prędkości jazdy pojazdami trakcyjnymi. Pojazdy dwu- i trójczłonowy podczas postoju tylko w kilku sposobach pomiaru spełniają wymagania normatywne. Podczas jazdy pojazd trójczłonowy tylko w wybranych kryteriach spełnia wymagania dotyczące hałasu w przestrzeniach pasażerskich.

Analizy ekonomiczne wykorzystania badanych pojazdów szynowych wskazują – w odniesieniu do pojazdu SA108 – na istotniejsze znaczenie naprawy głównej niż modernizacji zespołu trakcyjnego. Biorąc pod uwagę maksymalne wykorzystanie potencjału przewozowego zespołów trakcyjnych, najlepszym rozwiązaniem byłaby realizacja przewozów trójczłonowym zespołem trakcyjnym typu LINK.

Pracę uzupełniają wnioski dotyczące wykonanych prac badawczych. Przedstawione w pracy analizy umożliwiły potwierdzenie tezy pracy, że zastosowanie niskoemisyjnych pojazdów szynowych spełniających (co najmniej) normy emisji Stage III przyniosą korzyści środowiskowe w postaci ograniczenia emisji spalin przy wykorzystaniu ekodrivingu, a jednocześnie umożliwiają zwiększenie komfortu jazdy (pojazdy trójczłonowe). Dodatkowo stwierdzono, że użytkowanie nowoczesnych pojazdów szynowych (z dofinansowania unijnego) jest najbardziej uzasadnione ekonomicznie przy zapewnieniu odpowiednio wysokiego popytu.

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

A ₁ (8)	dzienna ekspozycja na drgania
ANR	wszystkie nowe rejestracje pojazdów – <i>all new registrations</i>
ASC	reaktor ograniczania amoniaku
a _w	granica uciążliwości
CO	tlenek węgla
CO ₂	dwutlenek węgla
COP	Konferencja Narodów Zjednoczonych – <i>Conference of Parties</i>
CR	zasobnik ciśnienia – <i>common rail</i>
CV	objętość skokowa silnika
DOC	reaktor utleniający (ZS) – <i>diesel oxidation catalyst</i>
DPF	filtr cząstek stałych – <i>diesel particulate filter</i>
E	natężenie emisji
e	emisja
ECU	sterownik silnika
EGR	system recyrkulacji spalin – <i>exhaust gas recirculation</i>
ERTMS	Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym – <i>European Rail Traffic Management System</i>
EZT(e.z.t.)	elektryczny zespół trakcyjny
FC	zużycie paliwa – <i>fuel consumption</i>
H ₂ S	siarkowodór
HC	węglowodory
HDV	pojazdy ciężarowe o zapłonie samoczynnym – <i>heavy duty vehicle</i>
IEA	Międzynarodowa Agencja Energetyczna – <i>International Energy Agency</i>
IRR	wskaźnik wewnętrznej stopy zwrotu – <i>internal return rate</i>
L _{Geq,T}	poziom dźwięku hałasu infradźwiękowego
L _{pAeq}	równoważny ciągły poziom dźwięku A
MDV	pojazdy ciężarowe średnio obciążone – <i>medium duty vehicle</i>
Mo	moment obrotowy
n	prędkość obrotowa
NDIR	niedyspersyjny w podczerwieni (czujnik) – <i>Non-Dispersive Infrared detector</i>
NH ₃	amoniak
N _{MV}	komfort średni
NO _x	tlenki azotu
NRMM	grupa maszyn pozadrogowych – <i>Non-Road Mobile Machinery</i>
NTA	homologacje nowego typu – <i>new type approvals</i>
N _{VA}	komfort pozycji siedzącej
N _{VD}	komfort pozycji stojącej
O ₂	tlen
P	moc
P1	przegląd kontrolny
P2, P3	przegląd okresowy
P4	naprawa rewizyjna
P5	naprawa główna
PEMS	mobilne analizatory spalin – <i>Portable Emissions Measurement System</i>
PKP LHS	Linia Hutnicza Szerokotorowa
PKP PLK	Polskie Linie Kolejowe
PKP	Szybka Kolej Miejska
PM	cząstki stałe (masowo) – <i>particle matter</i>

PM2,5	cząstki stałe o średnicach do 2,5 µm
PM10	cząstki stałe o średnicach do 10 µm
PN	liczby cząstek stałych – <i>particle number</i>
PPP	partnerstwo publiczno-prywatne
RDE	rzeczywiste warunki jazdy – <i>real driving emissions</i>
SCR	selektywna redukcja katalityczna – <i>selective catalytic reduction</i>
SKPL	Stowarzyszenie Kolejowych Przewozów Lokalnych
SKRJ	Systemu Konstrukcji Rozkładu Jazdy
SO ₂	dwutlenek siarki
Stage	limity emisji spalin pojazdów pozadrogowych (szynowych)
SVR	współczynnik objętości reaktora – <i>swept volume ratio</i>
SZT(s.z.t.)	silnikowy zespół trakcyjny
t	czas
TEN-T	Transeuropejska Sieć Transportowa
TSI	Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności – <i>Technical Specifications for Interoperability</i>
UE	Unia Europejska
UIC	organizacja zrzeszająca przedsiębiorstwa zajmujące się transportem kolejowym – <i>International Union of Railways</i>
v	prędkość
VGT	turbosprężarka o zmiennej geometrii łopatek kierownicy – <i>variable geometry turbocharger</i>
W _z	wskaźnik spokojności biegu
ZI	silnik o zapłonie iskrowym
ZS	silnik o zapłonie samoczynnym

1. WPROWADZENIE I OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY

Tematyka poruszana w dysertacji odpowiada globalnym trendom światowym mającym na celu redukcję szkodliwego wpływu działań ludzkich na środowisko. Zagadnienia przedstawiane w rozprawie dotyczą jednocześnie dwóch sektorów: eksploatacji środowiskowej oraz ekonomii wykorzystania pojazdów szynowych. Problematykę użytkowania krajowych pojazdów szynowych analizowano w odniesieniu do aspektów środowiskowych oraz ekonomicznych. Zagadnienia emisji spalin są ściśle powiązane z warunkami eksploatacji takich pojazdów. W pracy przedstawiono problem związany z wpływem pracy pojazdów szynowych z silnikami o zapłonie samoczynnym należących do grupy silnikowych zespołów trakcyjnych na emisję szkodliwych związków spalin z silników oraz na zużycie paliwa. Przeprowadzone testy badawcze skupiały się na wpływie różnych stylów prowadzenia pojazdów szynowych i charakterystyk przyspieszania badanych pojazdów, które można uznać za należące do trendu w technikach eksploatacji pojazdów zwanego ekodrivingiem. Testy te przeprowadzono na typowych szlakach komunikacyjnych. Badania prowadzono z wykorzystaniem spalinywch zespołów trakcyjnych klasyfikowanych jako szynobusy i należące do jednej z najbardziej licznych grup pojazdów szynowych wykorzystywanych do regionalnego przewozu pasażerów na trasach o krótkich i średnich dystansach. Tego typu połączenia kolejowe charakteryzują się licznymi zatrzymaniami na przystankach, zwłaszcza w obszarach zaludnionych, co uzasadnia potrzebę dalszych badań i analiz dotyczących wpływu stylu jazdy na środowisko naturalne człowieka.

Wybrane pojazdy badawcze napędzane były silnikami o zapłonie samoczynnym, których charakterystyka generowanych zanieczyszczeń oraz sprawność jest silnie powiązana z zakresem obszarów pracy i charakterystyką ich eksploatacji. Istniejąca literatura naukowa w zakresie ekodrivingu pojazdów skupia się prawie wyłącznie na pojazdach drogowych, a zwłaszcza na samochodach osobowych, m.in. [3, 43]. Zidentyfikowano zatem lukę w zakresie wiedzy naukowej związanej z badaniem wpływu wartości przyspieszeń chwilowych pojazdu szynowego na aspekty ekologiczne i ekonomiczne jego eksploatacji, co podkreśla nowoczesny charakter prowadzonych prac badawczych. Nieliczne prace badawcze istniejące w tematyce ekodrivingu pojazdów szynowych podejmują głównie tematykę wpływu charakterystyki przyspieszeń chwilowych pojazdu na poziom pobieranej przez niego energii elektrycznej [5, 22].

Aspekty środowiskowe dotyczyły również oceny komfortu jazdy maszynisty i pasażerów. W tym celu prowadzono analizy związane z wyznaczeniem wskaźników definiujących te stany. Wykorzystano kilka wielkości, które poddano analizom. Dodatkowo podjęto badania i analiz poziomu drgań w kabinie maszynisty i przedziałach pasażerskich oraz poziomu hałasu, co skonfrontowano z wymaganiami normatywnymi.

Kolejnym aspektem prac badawczych była analiza ekonomiczna eksploatowanych lokomotyw. Dokonano tutaj wstępnej analizy dotyczącej kosztów wprowadzania kolejnych norm emisji spalin w pojazdach szynowych. Ze względu na stan taboru kolejowego (brak eksploatacji pojazdów spełniających normę Stage V na liniach krajowych) nie uwzględniono tych badań w analizach ekonomicznych. Analizy te prowadzono w kilku aspektach modernizacji krajowych pojazdów szynowych oraz ich przebiegów. Z tego względu uzyskano kilka wariantów analiz ekonomicznych, które przedstawiono w końcowej części pracy.

2. STAN I PERSPEKTYWY ROZWOJU TRANSPORTU SZYNOWEGO W POLSCE

2.1. Polityka transportowa państwa

Strategia rozwoju państwa [107] wychodzi naprzeciw największym wyzwaniom dużych miast, zarówno dla zapewnienia wygodnych i przyjaznych dla podróżnych systemów komunikacji oraz uwzględniając realizację strategii niskoemisyjnych (transport publiczny, efektywność energetyczna, jakość powietrza), przeciwdziałanie niekontrolowanej suburbanizacji, a także poprawie ładu przestrzennego. Kluczowym zagadnieniem będzie lepsza koordynacja działań prorozwojowych podejmowanych w aglomeracjach oraz w obrębie ich obszarów funkcjonalnych. Drugim obszarem ujętym w tej strategii jest rozwój transportu towarów na obszarze kraju oraz między państwami Unii Europejskiej.

W transporcie priorytetem jest stworzenie zintegrowanej, wzajemnie powiązanej sieci transportowej przez wypełnienie luk inwestycyjnych (wskaźnik międzygałęziowej dostępności transportowej: 34,6 w 2014 r., 43 w 2023 r. i 45 w 2030 r. [52]). Duży nacisk ma być położony również na ograniczanie negatywnego wpływu transportu na środowisko, m.in. przez wspieranie rozwiązań ograniczających emisję zanieczyszczeń.

Obszarem wpływającym na osiągnięcie celów tej strategii jest zwiększenie dostępności transportowej oraz poprawa warunków świadczenia usług związanych z przewozem towarów i pasażerów.

Rozwój infrastruktury transportu determinuje zarówno jakość życia obywateli, dostępność rynków pracy, jak i konkurencyjność gospodarki. Oprócz budowy i modernizacji materialnej infrastruktury transportu istotny jest efektywny sposób jej wykorzystania. Wiąże się to między innymi z integracją różnych gałęzi transportu, a także z poprawą jakości usług transportowych.

Na podstawie analizy przeprowadzonej przy zastosowaniu powyższych kryteriów i uwzględnieniu potencjału krajowych firm można obecnie wskazać szereg sektorów strategicznych, które mają szansę stać się przyszłymi motorami polskiej gospodarki. Jest to m.in. sektor produkcji środków transportu (np. e-busy, pojazdy szynowe, statki specjalistyczne).

W celu wspierania konkurencyjności sektorów aktualnie mających wysokie znaczenie dla przemysłu w Polsce, wprowadzony zostanie nowy instrument tj. kontrakty branżowe dla wsparcia rozwoju sektora elektrycznych środków transportu publicznego oraz odpowiedniej infrastruktury z wykorzystaniem dofinansowania badań w tym zakresie.

W ramach projektu *Luxtorpeda 2.0* [61] ma nastąpić stymulowanie rozwoju technologii i produkcji polskich pojazdów szynowych, ze szczególnym uwzględnieniem pojazdów transportu pasażerskiego. Przewidywano m.in. kompleksowe działania do 2020 r. służące ograniczeniu nadmiernej emisji, związane m.in. z promowaniem publicznego transportu niskoemisyjnego.

Stan rozwoju transportu intermodalnego w Polsce jest niezadowalający mimo poprawy całej infrastruktury logistycznej i dostosowania jej do standardów europejskich. Średnia gęstość rozmieszczenia terminali kontenerowych w przeliczeniu na powierzchnię kraju (ok. 1 terminal na 10 tys. km²) nie odbiega od średniej europejskiej (0,9 terminala na 10 tys. km²). Jest ona jednak wyraźnie niższa od średniej dla krajów o największym udziale przewozów intermodalnych w rynku kolejowym, takich jak: Holandia (11,9/10 tys. km²), Belgia (7,1/10 tys. km²) i Niemcy (4,1/10 tys. km²).

Główną przeszkodą rozwoju sektora (poza wielkością zgłaszanego popytu) jest niewystarczająca liczba tzw. centrów logistycznych, które obok podstawowej obsługi przeładunkowej powinny oferować usługi dodatkowe. Kolejną przeszkodą jest także zły stan infrastruktury kolejowej oraz wysokie stawki za dostęp do tej infrastruktury. Listę projektów strategicznych przedstawiono w tabl. 2.1. Wskaźniki dotyczące transportu kolejowego w Polsce zawarto w tabl. 2.2.

Tablica 2.1. Projekty strategiczne dotyczące transportu [107]

Program		Rodzaj	Rozpoczęcie	Czas trwania	Podmiot
Transport	Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014-2023 (z perspektywą do 2025 r.)	programowy	2014	2014-2025	MliB
	Krajowy System Zarządzania Ruchem	programowy	2017	2017-2020	MliB
	Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013-2020	programowy	2013	2013-2019	MliB
	Krajowy Program Kolejowy	programowy	2016	2016-2023	MliB
	Program zarządzania i przebudowy dworców kolejowych	programowy	2016	2016-2030	MliB
	Program wieloletni w zakresie finansowania kosztów zarządzania infrastrukturą kolejową, w tym jej utrzymania i remontów	programowy	2016	2016-2023	MliB
	Unowocześnienie parku taboru kolejowego	kompleksowy	2016	2016-2030	MliB
	Program rozwoju polskich portów morskich do roku 2020 (z perspektywą do 2030 roku)	programowy	2017	2017-2030	MGMiŻŚ
	Rozwój sektora żeglugi śródlądowej	kompleksowy	2017	2017-2030	MGMiŻŚ
	Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską	kompleksowy	2018	2018-2022	MGMiŻŚ
	Rozwój transportu intermodalnego	kompleksowy	2017	od 2017	MliB/MR
	Projekt "Wspólny Bilet"	kompleksowy	2017	2017-2025	MliB
Ekologiczny transport	kompleksowy	2017	od 2017	MliB/MR	

Tablica 2.2. Wskaźniki transportu kolejowego w Polsce [107]

Wskaźnik	Jednostka miary	Wartość bazowa (rok bazowy)	Wartość w roku 2020	Źródło danych
Udział masy ładunków transportu intermodalnego w ogólnej masie ładunków przewożonej transportem kolejowym	%	4,63 (2015)	5-6 (2020)	UTK
Długość linii kolejowych pozwalających na ruch pociągów pasażerskich z prędkością techniczną powyżej 160 km/h	km	90 (2015)	350 (2023)	KPK
Średnia prędkość kursowania pociągów towarowych na sieci linii PLK S.A.	km/h	27 (2015)	40 (2023)	KPK

Do projektów strategicznych zaliczono także sektor transportu kolejowego, a w nim:

- Krajowy Program Kolejowy – zapewniający połączenie do 2023 r. ośrodków wojewódzkich zmodernizowanymi liniami kolejowymi, co najmniej do średniej prędkości kursowania pociągów pasażerskich 100 km/h oraz wdrażanie Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym (ERTMS) na najważniejszych szlakach kolejowych,
 - unowocześnienie parku taboru kolejowego (pasażerskiego i towarowego), co poprawi warunki świadczenia usług związanych z przewozem towarów i pasażerów,
 - rozwój transportu intermodalnego – określenie działań, w tym niezbędnych inwestycji w infrastrukturę transportu, zapewniających zwiększenie przewozów intermodalnych.

W strategii [107] znajduje się odwołanie do strategii zrównoważonego rozwoju transportu [108], stanowiącej aktualizację obowiązujących dotychczas 9. strategii zintegrowanych lub je zastępujących.

Według autorów tej strategii rynek kolejowych przewozów towarowych w Polsce jest zliberalizowany i konkurencyjny. Bariery wejścia dla nowych podmiotów na rynek, chociaż mniejsze niż kilka lat temu, wciąż występują i dotyczą m.in. konieczności spełnienia niezbędnych regulacji prawnych w zakresie uzyskania licencji oraz pozyskania niezbędnego taboru kolejowego, który nie musi być własnością przewoźnika. Aczkolwiek liczba formalności jest wciąż nieporównywalnie większa, niż w przypadku transportu drogowego. W 2017 roku 69

przedsiębiorców posiadających licencje wydane przez Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego realizowało działalność przewozową w obszarze przewozów towarowych.

Wsparcie finansowe skierowane jest na budowę oraz modernizację infrastruktury transportu intermodalnego w Polsce, wykorzystującego różne rodzaje środków transportu, a także na zakup taboru kolejowego i specjalistycznego sprzętu wykorzystywanego w przewozach intermodalnych. Nowością w stosunku do stosowanych w przeszłości instrumentów pomocowych, oprócz szerszego zakresu wsparcia, będzie wyższa intensywność pomocy (do 50% kosztów kwalifikowalnych).

Wsparcie w transporcie kolejowym będzie obejmowało dofinansowywanie ze środków publicznych zakupu i modernizacji taboru odpowiadającego specyfice poszczególnych segmentów rynku, w oparciu o długoterminowe programy inwestycyjne, w szczególności w segmencie kolejowych przewozów pasażerskich (w tym regionalnych), taboru specjalizowanego do przewozu towarów oraz lokomotyw wielosystemowych (zarówno w przewozach towarowych, jak i pasażerskich).

Przewoźnicy kolejowi wskazują na konieczność odbudowy parku lokomotyw i wagonów, co oznacza podjęcie działań mających na celu reaktywowanie zdolności produkcyjnych krajowych zakładów, dając im możliwość dynamicznego rozwoju i tworzenie polskiej specjalizacji w zakresie produkcji taboru kolejowego.

Jako projekt strategiczny uznano unowocześnienie parku taboru kolejowego. Realizacja tego projektu wynika z potrzeb pasażerów i oczekiwań przedsiębiorców kolejowych, jest więc odpowiedzią na zapotrzebowanie rynkowe. Jakość taboru jest jednym z kluczowych czynników mających wpływ na satysfakcję klientów.

Projekt ten polegać będzie na modernizacji i/lub zakupie taboru kolejowego (pasażerskiego i towarowego) dostosowanego pod względem technicznym do prędkości dopuszczonych na sieci kolejowej oraz pod względem przestrzeni pasażerskiej do współczesnych wymagań podróży, w tym osób o ograniczonych możliwościach poruszania się. W tym celu kontynuowane będą długoterminowe programy inwestycyjne przewoźników oraz podejmowane będą działania stwarzające warunki dla pozyskania środków inwestycyjnych na zakup mniejszej liczby taboru przez przewoźników, odpowiednio do stopnia rozwoju ich działalności i świadczonych usług. W powyższe przedsięwzięcia wpisuje się m.in. zaktualizowana strategia taborowa PKP Intercity SA na lata 2016–2020 z perspektywą do 2023 r., w ramach której Spółka zainwestuje 7 mld złotych w modernizację i zakup taboru, co przekłada się na wyższy komfort podróży pasażerów. Dzięki przeprowadzonym inwestycjom blisko 80 proc. połączeń uruchamianych przez przewoźnika będzie obsługiwanych nowym lub zmodernizowanym taborem.

W zakresie przewozów towarowych najistotniejsze będzie pozyskanie nowoczesnego taboru do przewozu kontenerów oraz taboru specjalizowanego, co przełoży się na podtrzymanie pozytywnych trendów rynkowych.

W ramach projektu przewiduje się realizację inicjatyw związanych z projektowaniem, budową i zakupem floty innowacyjnego taboru kolejowego do obsługi siatki połączeń, w tym zapewniającej osiągnięcie funkcjonalności założonej w koncepcji Centralnego Portu Komunikacyjnego m.in. w ramach projektu InnoPKP.

W ramach wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych w transporcie kolejowym planuje się:

- wdrożenie zunifikowanego systemu telematycznego w zakresie przewozów towarowych poprzez wdrożenie technicznej specyfikacji interoperacyjności TSI TAF odnoszącej się do podsystemu aplikacji telematycznych dla przewozów towarowych oraz TSI TAP dla przewozów pasażerskich transeuropejskiego systemu kolei na głównych kolejowych korytarzach transportowych TEN-T wraz ze stworzeniem interfejsów rozszerzających jego funkcjonalność na inne środki transportu,

- budowę ogólnopolskiego systemu nadzoru ruchu i zapobiegania zderzeniom pociągów,

- wdrożenie technologii autonomicznych,
- wdrożenie systemu ERTMS, w tym na sieci TEN-T,
- migrację z systemu radiołączności analogowej VHF 150 MHz do cyfrowej GSM-R,
- rozszerzenie funkcjonalności Systemu Konstrukcji Rozkładu Jazdy – SKRJ,
- integrację taryfowo-biletową przewoźników kolejowych, w dalszej kolejności integrację z innymi rodzajami transportu, w tym transportem miejskim (tzw. Wspólny Bilet), m.in. wykorzystując narzędzia/platformy umożliwiające swobodną sprzedaż biletów przez wiele kanałów dystrybucji, zagwarantowanie otwartego, publicznego dostępu do baz danych o rozkładzie jazdy, taryfach, warunkach realizacji i punktualności przewozów pasażerskich (*open data*),

- ocenę możliwości zbudowania ogólnodostępnej platformy informatycznej na potrzeby rozwoju zrównoważonego transportu towarów w sposób umożliwiający jej integrowanie z innymi systemami.

Działania o charakterze innowacyjno-technicznym w zakresie taboru kolejowego obejmują następujące cele:

- coraz szersze zastosowanie przyjaznego środowisku taboru kolejowego o niskiej emisji hałasu oraz CO₂,
- wdrożenie technicznych i naturalnych środków ograniczania wibracji i hałasu w czasie eksploatacji infrastruktury przez pojazdy, np. pociągi towarowe w miastach.

Realizacja założeń strategii oparta będzie o następujące źródła finansowania:

- krajowe środki publiczne (m.in. budżet państwa, fundusze celowe, budżety jednostek samorządu terytorialnego),
- publiczne środki unijne i inne źródła zagraniczne (m.in. unijne fundusze strukturalne i inwestycyjne, programy i inicjatywy europejskie, zwrotne instrumenty finansowe, w tym kredyty),
- środki poza-publiczne (m.in. partnerstwo publiczno-prywatne – PPP, sektor bankowy).

W programie tym ujęto kilka projektów strategicznych związanych z taborem kolejowym (tabl. 2.3).

Tablica 2.3. Projekty strategiczne dotyczące taboru kolejowego [107]

Lp.	Projekt	Typ	Przygotowanie	Realizacja	Podmiot
1	Krajowy Program Kolejowy do roku 2023	programowy	2016	2016-2023	MI
2	Budowa Centralnego Portu Komunikacyjnego	programowy	2017	2017-2027	MI
3	Rozwój transport intermodalnego	kompleksowy	2017	od 2017	MiIR/MI
4	Unowocześnienie parku taboru kolejowego	kompleksowy	2016	2016-2023	MI

Należy mieć na uwadze, że niewystarczające parametry taboru (prędkość, moc, dynamika) i niewłaściwa organizacja ruchu powodowały nieracjonalne wydłużenia tras pociągów, co w konsekwencji na wielu relacjach powodowało spadek konkurencyjności kolei, a często całkowity brak możliwości zaproponowania atrakcyjnej oferty przewozów.

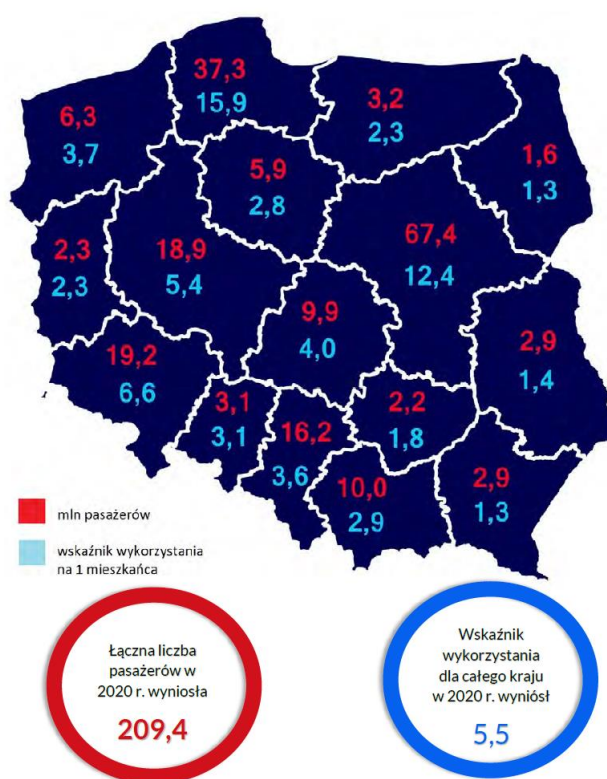
W przewozach pasażerskich w transporcie kolejowym, jako najistotniejsze wyzwanie rozwojowe w perspektywie średniookresowej należy wskazać konieczność poprawy stanu technicznego taboru, w szczególności w zakresie dostawy wagonów nowej generacji i modernizacji wagonów pozostających w eksploatacji. W 2017 roku średni wiek wagonów pasażerskich (bez uwzględnienia członów zespołów trakcyjnych) wyniósł 29,3 roku. Natomiast średni wiek elektrycznych zespołów trakcyjnych to 27,5 roku, a spalinowych zespołów trakcyjnych – 10 lat. Dla porównania, w 2010 r. przeciętny wiek wagonów pasażerskich wyniósł ponad 27 lat.

Na zakup taboru w 2017 r. przewoźnicy przeznaczyci łączną sumę 373,3 mln zł (nie licząc inwestycji poczynionych przez urzędy marszałkowskie), pozyskując 19 nowych elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz 8 spalinowych zespołów trakcyjnych. Dodatkowo, urzędy marszałkowskie zakupiły 33 elektryczne zespoły trakcyjne.

Przewoźnicy zrealizowali również modernizacje posiadanego taboru na kwotę ponad 389 mln zł. W 2017 r. w nowy i zmodernizowany tabor wyposażono Przewozy Regionalne, Koleje Dolnośląskie, Koleje Śląskie oraz Koleje Małopolskie.

Trend panujący w polskich kolejach pasażerskich można określić jako powolny, ale stabilny wzrost, który przerwano globalną pandemią koronawirusa. W latach 2010-2019 liczba pasażerów kolei zwiększyła się z 261,5 mln do 335,9 mln (wzrost o 28,5%). Sytuacja epidemiczna (w poprzednim roku) spowodowała spadek tej liczby o 37,7% [116].

Przedstawione poniżej dane w postaci wskaźnika wykorzystania kolei W określają liczbę przejazdów na jednego mieszkańca (jest to iloraz liczby pasażerów w danym województwie i liczby jego mieszkańców). W 2020 roku wskaźnik ten w Polsce wyniósł 5,5. Wielkość wskaźnika w poszczególnych województwach przedstawiono na rys. 2.1.

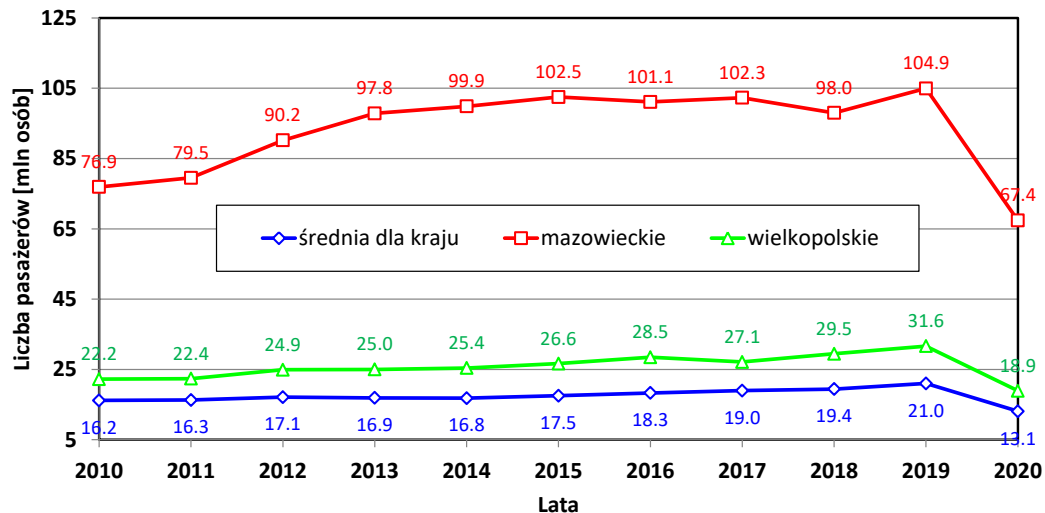


Rys. 2.1. Wskaźnik przewozów kolejowych (wykorzystania kolei) na 1 mieszkańca w poszczególnych województwach Polski w roku 2020 [116]

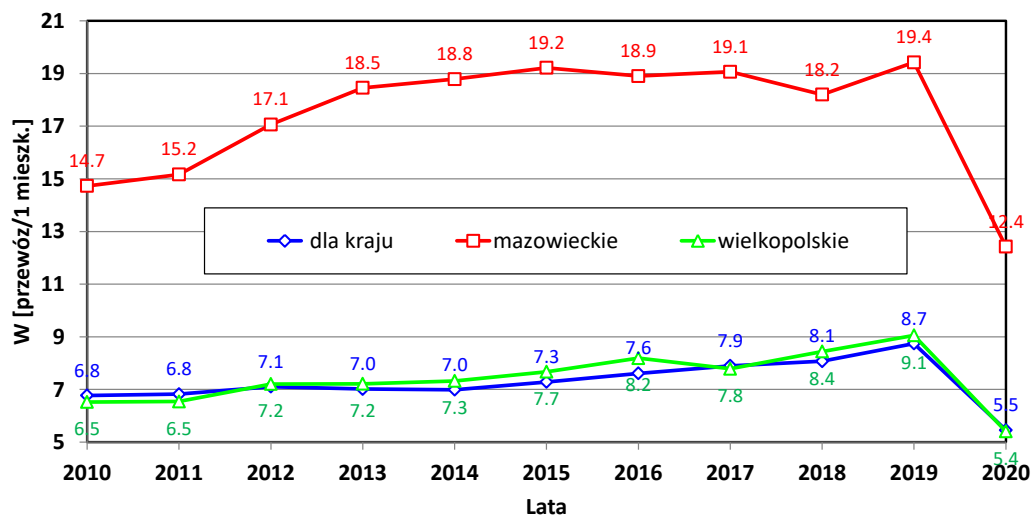
Z przedstawionego zestawienia wynika, że tylko w kilku województwach (dolnośląskie, mazowieckie i pomorskie) wskaźnik ten jest większy od średniej krajowej. W województwie wielkopolskim wskaźnik ten jest niewiele niższy od średniej krajowej. Jednakże istnieją województwa o bardzo małej wartości przewozów – podlaskie i podkarpackie.

Dotychczasowe wskaźniki były znacznie bardziej optymistyczne. Jak wcześniej zaznaczono, bieżący spadek wywołała pandemia koronawirusa. Wcześniejsze tendencje zmian liczby odprawionych pasażerów oraz przejazdów na 1 mieszkańca dla województwa wielkopolskiego i mazowieckiego przedstawiono na rys. 2.2.

a)



b)



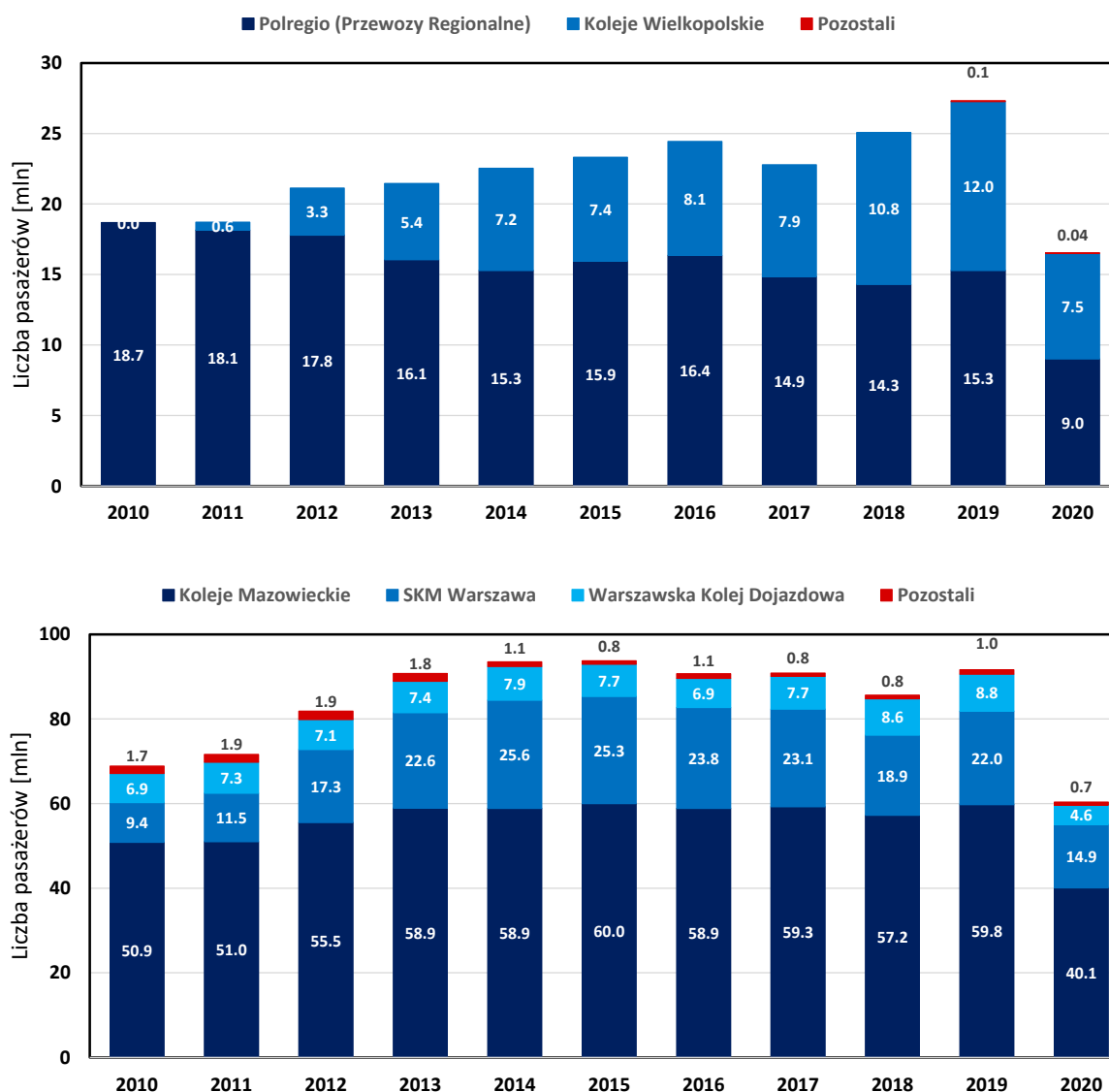
Rys. 2.2. Dotychczasowe tendencje zmian przewozów pasażerskich w województwach wielkopolskim i mazowieckim: a) liczba odprawionych pasażerów, b) liczba przejazdów na jednego mieszkańca [116]

Z zestawienia wynika, że liczba przewożonych pasażerów w województwie wielkopolskim plasuje się powyżej średniej krajowej. Jest ona jednocześnie (średnio) 3–4-krotnie mniejsza od przewozów w województwie mazowieckim. Mimo większej od średniej krajowej liczby pasażerów, województwo wielkopolskie uzyskuje wskaźnik wykorzystania kolei bardzo zbliżony do średniej krajowej (co wynika z większej populacji zamieszkującej to województwo).

Na liczbę podróży w województwie składają się zarówno podróże lokalne, stanowiące głównie dojazd do pracy, szkół i uczelni oraz przewozy dalekobieżne związane z podróżami służbowymi czy turystyką. Różnice w korzystaniu z kolei dalekobieżnych, regionalnych i aglomeracyjnych między poszczególnymi województwami wynoszą nawet 20 punktów procentowych.

W przypadku przejazdów regionalnych i aglomeracyjnych podstawowe znaczenie ma oferta przewozowa oraz partycypacja samorządów terytorialnych. Na przestrzeni ostatnich lat zaobserwowano istotne wzrosty u przewoźników regionalnych. Zestawienie przewoźników wielkopolskich oraz mazowieckich przedstawiono na rys. 2.3. Analiza porównawcza (z rys. 2.2) wskazuje na kilkunastoprocentowy udział przewozów dalekobieżnych w województwie

wielkopolskim. W roku 2019 wyniósł on około 15%, a w roku 2020 – 12%. W województwie mazowieckim wskaźniki te wynoszą odpowiednio: 12,7 oraz 10,5%.



Rys. 2.3. Liczba pasażerów [w mln] przewoźników regionalnych i aglomeracyjnych: a) w województwie wielkopolskim, b) w województwie mazowieckim [116]

W kolejowych przewozach towarowych najistotniejszym wyzwaniem rozwojowym pozostaje konieczność sukcesywnej poprawy stanu taboru przeznaczonego do przewozów towarowych oraz uzupełnienie parku wagonów towarowych o wagony specjalistyczne przystosowane do transportu intermodalnego. W 2017 r. udział wagonów specjalistycznych, tj. cystem, wagonów z dachami odchylanymi oraz wagonów specjalnych w ogólnej, całkowitej liczbie wagonów kształtował się na poziomie ok. 15%.

Upowszechnianie i efektywność transportu intermodalnego są w znacznym stopniu zależne od funkcjonowania systemowych rozwiązań logistycznych w ramach zintegrowanego systemu transportowego. Powodzenie rozwoju transportu intermodalnego w danym kraju zależy od szeregu czynników:

- dostępności infrastruktury przeładunkowej (mniejszych i większych terminali intermodalnych),
- kosztów przewozu,
- oferty pociągów kreowanej w dużej mierze przez przewoźników na zasadach komercyjnych.

Istotna jest również odpowiednia liczba i jakość wyspecjalizowanego taboru kolejowego:

- wagonów do przewozu naczep samochodowych,
- wagonów wyposażonych w ramy obrotowe,
- wagonów niskopodwoziowych (technologia ro-la),
- platform przeznaczonych do przewozu kontenerów 10', 20', 30', 40',
- nabrzeży przeładunkowych i urządzeń portowych umożliwiających obsługę taboru żelaznicy śródlądowej.

Do słabości polskiego systemu przewozów intermodalnych należy zaliczyć brak przewozów towarzyszących, zwłaszcza w tranzycie i w połączeniach np. z Litwą w głąb Polski, co wynika z niskiej konkurencyjności transportu kolejowego (cenowej i czasowej), braku odpowiedniej infrastruktury załadunkowo-wyładunkowej oraz z przewagi kosztowej transportu drogowego.

W obszarze organizacji i zarządzania w transporcie kolejowym ujęto problem dofinansowywania ze środków publicznych zakupu i modernizacji taboru odpowiadającego specyfice poszczególnych segmentów rynku, w oparciu o długoterminowe programy inwestycyjne, w szczególności w segmencie kolejowych przewozów pasażerskich (w tym regionalnych), taboru specjalizowanego do przewozu towarów oraz lokomotyw wielosystemowych (zarówno w przewozach towarowych, jak i pasażerskich).

Przywołany w strategii [107] dokument *Krajowy Program Kolejowy do 2023* [53] dotyczy tylko, wbrew tytułowi, sieci kolejowej zarządzanej przez PKP PLK.

Za realizację programów strategicznych dotyczących transportu odpowiedzialny jest Departament Strategii Transportu [33]. Departament odpowiada za realizację zadań w obszarze polityki transportowej państwa oraz za wykonywanie zadań w zakresie monitorowania programów infrastrukturalnych wdrażanych przy wsparciu środków z funduszy europejskich w sektorze transportu.

Do zadań departamentu należy w szczególności:

- programowanie celów i monitorowanie realizacji zadań w obszarze polityki transportowej państwa z uwzględnieniem wykorzystania funduszy europejskich,
- programowanie i monitorowanie funkcjonowania Transeuropejskiej Sieci Transportowej (TEN-T),
- współpraca z beneficjentami funduszy europejskich zaangażowanymi w realizację polityki transportowej państwa w ramach kompetencji Ministra w procesie opracowywania strategii oraz programów pod kątem wykorzystania funduszy europejskich,
- współpraca z beneficjentami Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014-2020, Programu Operacyjnego Polska Wschodnia, Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa i instrumentu finansowego „Łącząc Europę” (CEF), zaangażowanymi w realizację polityki transportowej państwa w ramach kompetencji Ministra,
- współpraca z jednostkami naukowymi, instytutami i innymi instytucjami w zakresie działań badawczo-rozwojowych,
- koordynowanie programowania i implementacji wytycznych i zaleceń wynikających z dokumentów krajowych i UE dotyczących nowoczesnych rozwiązań w transporcie (w tym inteligentnych systemów transportowych, wdrażania pojazdów zautomatyzowanych i autonomicznych do ruchu drogowego), efektywności energetycznej w transporcie oraz ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko, a także zagadnień zrównoważonej mobilności oraz mobilności miejskiej,
- pełnienie funkcji koordynatora Krajowego Programu Reform na rzecz realizacji strategii „Europa 2020”,
- pełnienie funkcji Krajowego Koordynatora Europejskiego Tygodnia Zrównoważonego Transportu,

- koordynowanie współpracy w zakresie prawodawstwa zharmonizowanego z UE w obszarze akredytacji, normalizacji, systemów oceny zgodności oraz roli i zadań jednostek notyfikowanych, w tym ich autoryzacji, notyfikacji i kontroli.

Departament prowadzi także sprawy nadzoru Ministra nad Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Warszawie.

2.2. Diagnoza stanu trakcyjnego taboru kolejowego w Polsce

Stan trakcyjnego taboru kolejowego w Polsce można oceniać na podstawie kilku kryteriów:

- średniego wieku taboru w odniesieniu do podstawowych rodzajów pojazdów (lokomotywy elektryczne i spalinowe, elektryczne i spalinowe zespoły trakcyjne),
- wykonywanej pracy przewozowej.

Ocena ogólnego stanu taboru znajduje odzwierciedlenie w planach zakupów i modernizacji opracowywanych przez zarządy województw, a to przekłada się obecnie także na przygotowywane wnioski o dofinansowanie tych przedsięwzięć z unijnych funduszy odbudowy.

Średni wiek pasażerskiego i towarowego taboru kolejowego przedstawiono na rys. 2.4.

Tabor kolejowy pasażerski				Tabor kolejowy towarowy					
Rok	2018	2019		2018	2019				
lokomotywy				lokomotywy					
elektryczne	33,81	35,24		elektryczne	36,59	36,26			
spalinowe	41,69	42,35		spalinowe	38,35	39,08			
zespoły trakcyjne									
elektryczne	26,51	24,85							
spalinowe	11,65	12,53							
wagony silnikowe									
elektryczne	13,00	14,00							
spalinowe	14,25	15,41							

Rys. 2.4. Średni wiek lokomotyw w ujęciu rocznym [118, 119]

Przykładowo, według danych PKP LHS średni wiek spalinowych lokomotyw liniowych spółki wynosił 39 lat, natomiast manewrowych 42 lata. Także średni wiek spalinowych lokomotyw używanych przez pasażerskich operatorów w Polsce zwiększa się i na koniec 2018 roku wynosił 41,7 lat [101]. Warto podkreślić, że zarówno w przypadku lokomotyw spalinowych jak i elektrycznych, zakres planowanych inwestycji nie będzie miał dużego znaczenia dla średniego wieku taboru [120]. Na stan taboru i jego przydatność w pracach przewozowych wpływa wykonywana przez poszczególne rodzaje pojazdów ich praca eksploatacyjna (tabl. 2.4 i 2.5), także w podziale na rodzaje pojazdów i wykonywanych usług.

Tablica 2.4. Praca eksploatacyjna lokomotyw przewoźników pasażerskich na sieci PKP PLK w 2019 r. [117]

Trakcja	Oznaczenie pojazdu	Praca eksploatacyjna zrealizowana w jeździe pociągowej	Średnia roczna odległość przejechana przez czynny egzemplarz	Średnia dobowo odległość przejechana przez czynne egzemplarze
elektryczna	EP07	21,5 mln km	213,6 tys. km	59,1 tys. km
elektryczna	EP09	10,5 mln km	300,6 tys. km	28,8 tys. km
elektryczna	EU07	6,5 mln km	251,6 tys. km	17,9 tys. km
elektryczna	EU44	2,0 mln km	349,4 tys. km	5,7 tys. km
elektryczna	EU47	1,6 mln km	148,7 tys. km	4,4 tys. km
spalinowa	SU160	1,6 mln km	231,1 tys. km	4,4 tys. km
elektryczna	EP08	1,3 mln km	278,3 tys. km	3,8 tys. km

Tablica 2.4cd

spalinowa	SU4210	1,1 mln km	129,5 tys. km	3,1 tys. km
spalinowa	754	737,6 tys. km	122,9 tys. km	2,0 tys. km
elektryczna	EP07P	718,4 tys. km	179,6 tys. km	1,9 tys. km
spalinowa	SM42	618,4 tys. km	21,3 tys. km	1,6 tys. km
elektryczna	EU07A	575,5 tys. km	287,7 tys. km	1,5 tys. km
spalinowa	SU42	206,4 tys. km	29,4 tys. km	565 km
elektryczna	111Eb	108,4 tys. km	54,2 tys. km	296 km

Tablica 2.5. Praca eksploatacyjna wybranych e.z.t. i s.z.t. na sieci PKP PLK w 2019 r. [117]

Oznaczenie pojazdu	Praca eksploatacyjna zrealizowana w jeździe pociągowej	Średnia roczna odległość przejechana przez czynny egzemplarz	Średnia dobowo odległość przejechana przez czynne egzemplarze	Oznaczenie pojazdu	Praca eksploatacyjna zrealizowana w jeździe pociągowej	Średnia roczna odległość przejechana przez czynny egzemplarz	Średnia dobowo odległość przejechana przez czynne egzemplarze
EN57	15,4 mln km	70,5 tys. km	42,3 tys. km	SA134	3,2 mln km	182,0 tys. km	8,9 tys. km
EN57AL	10,3 mln km	88,8 tys. km	28,2 tys. km	SA133	3,1 mln km	137,3 tys. km	8,6 tys. km
ED250	7,4 mln km	415,0 tys. km	20,5 tys. km	SA136	2,3 mln km	132,3 tys. km	6,5 tys. km
ED160	6,7 mln km	447,8 tys. km	18,4 tys. km	SA139	2,1 mln km	153,5 tys. km	5,8 tys. km
ED161	5,9 mln km	348,0 tys. km	16,2 tys. km	SA132	1,5 mln km	112,3 tys. km	4,3 tys. km
36WEa	5,8 mln km	129,8 tys. km	16,0 tys. km	SA108	839,8 tys. km	119,9 tys. km	2,3 tys. km
31WE	5,1 mln km	166,7 tys. km	14,1 tys. km	SA137	837,0 tys. km	167,4 tys. km	2,2 tys. km
45WE	4,9 mln km	127,7 tys. km	13,6 tys. km	SA138	596,4 tys. km	119,2 tys. km	1,6 tys. km
EN57AKM	4,9 mln km	49,5 tys. km	13,4 tys. km	VT628	465,5 tys. km	93,1 tys. km	1,2 tys. km
EN76	3,1 mln km	141,1 tys. km	8,5 tys. km	MR/MRD	462,1 tys. km	115,5 tys. km	1,2 tys. km
27WE, 27WEb	2,6 mln km	192,5 tys. km	7,3 tys. km	SA140	395,2 tys. km	98,8 tys. km	1,0 tys. km
EN57ALd	2,6 mln km	137,1 tys. km	7,1 tys. km				
EN75, ER75	1,8 mln km	134,5 tys. km	5,1 tys. km				
22WEd	1,6 mln km	151,1 tys. km	4,5 tys. km				
EN71	1,6 mln km	73,1 tys. km	4,6 tys. km				

2.3. Stan liczbowy trakcyjnego taboru kolejowego w Polsce

Zdecydowana większość trakcyjnego taboru spalinowego jest w dyspozycji kilku kluczowych przewoźników. Należą do nich m.in.: PKP CARGO, PKP InterCity, PKP Linia Hutnicza Szerokotorowa i PKP Szybka Kolej Miejska w Trójmieście. Według Raportu Roczno Grupy PKP stan liczbowy taboru trakcyjnego, w tym spalinowego (na koniec 2018 r.) kształtował się następująco [95]:

- Grupa PKP CARGO posiadała 2352 lokomotywy, w tym 1286 lokomotyw spalinowych,
 - Spółka PKP IC roku posiadała 363 lokomotywy (w tym siedem lokomotyw spalinowych wynajętych z kolei ČD), 74 elektryczne zespoły trakcyjne (20 szt. ED250, 20 szt. ED160, 20 szt. ED161 oraz 14 szt. ED74), 2 114 wagonów pasażerskich,
 - Spółka PKP LHS posiadała 77 lokomotyw spalinowych,
 - PKP SKM: w 2018 roku miały na stanie 13 spalinowych zespołów trakcyjnych, jednak od 9 grudnia 2018 roku ich liczbę ograniczono do 10 szt.

Listę typów s.z.t. w dyspozycji głównych przewoźników (dane za 2019 r.) przedstawiono w tabl. 2.6 i 2.7. Łącznie przewoźnicy dysponowali 244 spalinowymi zespołami trakcyjnymi.

Tablica 2.6. Spalinowe zespoły trakcyjne w posiadaniu przewoźników w Polsce [123]

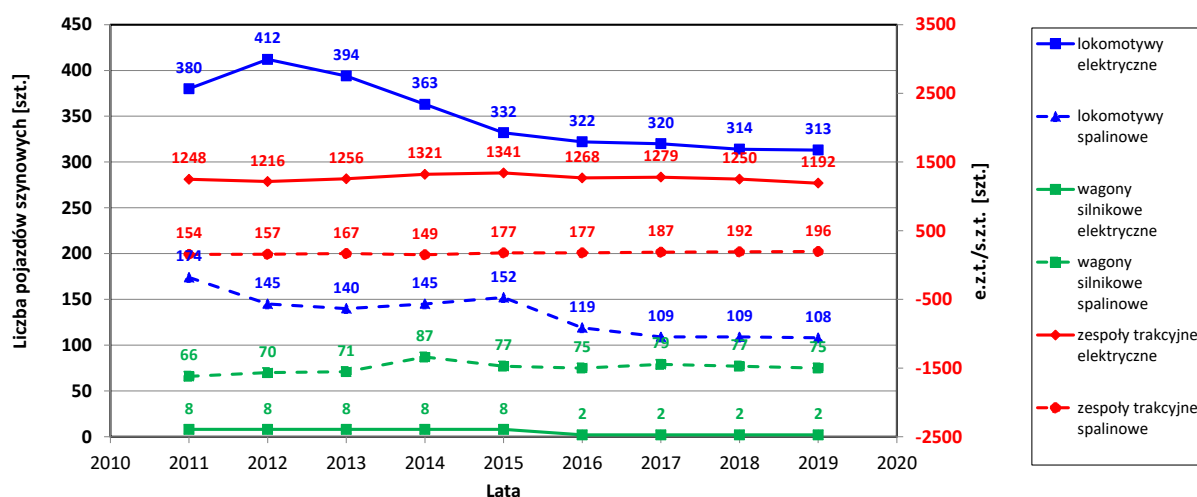
Lp.	Przewoźnik/ typ s.z.t.	SA101	SA102	SA103	SA105	SA106	SA107	SA108	SA109	SA123	SA130	SA131	SA132	SA133	
1	Przewozy Regionalne	1	2	13	6	5	2	6	7			1	3	24	
2	PKP SKM													3	
3	Koleje Dolnośląskie					1			2				1		
4	Koleje Wielkopolskie							4					11		
Lp.	Przewoźnik / Typ s.z.t.	SA134	SA135	SA136	SA137	SA138	SA139	SA140	VT627	VT628	VT646	401Da	409Da	MR/M RD	Y
1	Przewozy Regionalne	17	8	12	7	3	11	2							
2	Koleje Mazowieckie		7						4	2					
3	PKP Intercity							2							
4	PKP SKM			7	2	1									
5	Koleje Śląskie					1									
6	Koleje Dolnośląskie	8	9				4								
7	Koleje Wielkopolskie	2					4								

Tablica 2.7. Lokomotywy spalinowe w posiadaniu przewoźników w Polsce [122]

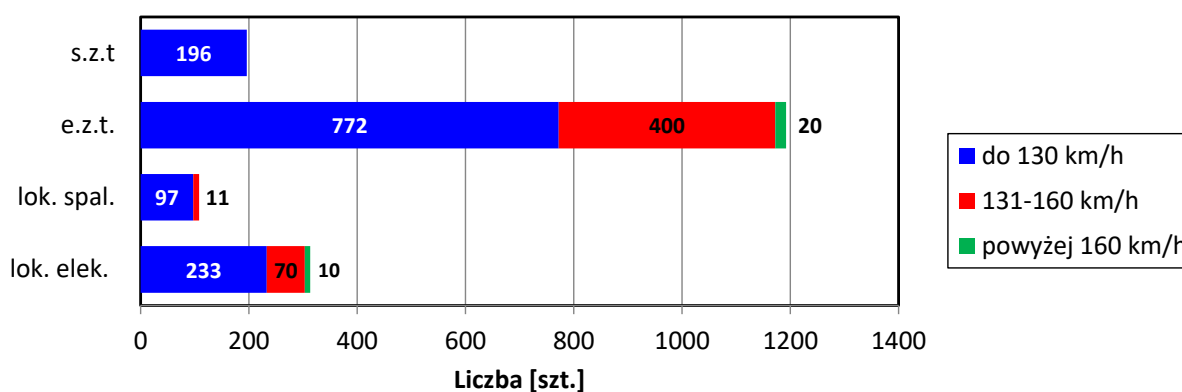
Lp.	Przewoźnik/ typ lokomotywy	SM03	SM04	SM30	SM31	SM32	SM42	SM48	SU42	SU45	SU46	SU160	T448
1	PKP Cargo	*		*	*	*		*		*	*		
2	DB Cargo				1		5						42
3	Lotos Kolej						*						
4	PKP LHS			1		1		7					
5	CTL Logistics/Train						5	13					
6	PUK Kolprem						*	*					
7	Orlen Kol - Trans						*			*			*
Lp.	Przewoźnik / Typ lokomotywy	S200	ST40	ST43	ST44	ST45	ST46	ST48 ¹⁾	BR232	Ls1000	Class 66 ²⁾	MakDE	
1	PKP Cargo			*	*	*	*	*					
2	DB Cargo		12		4				10	1	15	7	
3	Lotos Kolej												
4	PKP LHS				61			7					
5	CTL Logistics/Train	*			2								
6	PUK Kolprem	*			*								
7	Orlen Kol - Trans				*				*				

* brak danych liczbowych,
1) także jako 15D,
2) modernizacja SM42.

Liczbę oraz prędkości maksymalne trakcyjnych pojazdów kolejowych w kolejnych latach w podziale na dwa rodzaje pojazdów szynowych przedstawiono na rys. 2.5 oraz 2.6.



Rys. 2.5. Tabor kolejowy pasażerski – dane podstawowe [118]



Rys. 2.6. Tabor kolejowy pasażerski – podział ze względu na prędkość maksymalną [118]

Należy zwrócić uwagę na prawie niezmienny stan liczbowy lokomotyw spalinowych i elektrycznych będących w dyspozycji przewoźników towarowych w kilku ostatnich latach oraz na praktycznie niezmienny stan liczbowy pojazdów trakcyjnych będących w dyspozycji przewoźników pasażerskich.

Stan liczbowy taboru trakcyjnego w poprzednich latach w dyspozycji głównych przewoźników przedstawia się następująco:

a) PKP Cargo według danych z 2015 r. posiadały 2462 lokomotywy, z czego używały ponad 1,3 tys. Spółka dysponuje lokomotywami spalinowymi serii: SM03, SM30, SM42, SM31, SM48, ST43, ST44, ST45, ST46, ST48, SU46 [124];

b) PKP Polregio [126] dysponowało 5 lokomotywami elektrycznymi, 670 elektrycznymi zespołami trakcyjnymi, 23 lokomotywami spalinowymi oraz 139 spalinowymi zespołami trakcyjnymi i autobusami szynowymi (stan na 15.06.2020);

c) PKP Intercity miało w swoim taborze: 74 elektryczne zespoły trakcyjne, 326 lokomotyw elektrycznych oraz 60 lokomotyw spalinowych [125].

2.4. Rynek pojazdów kolejowych w Polsce – programy zakupu taboru trakcyjnego

Polskie Koleje Państwowe przedstawiły swoje plany inwestycyjne w zakresie zakupu i modernizacji taboru trakcyjnego [30]:

- PKP CARGO (łącznie 317,3 mln zł):

- zakup 83 szt. wagonów platform serii Sammns,
- zakup 3 szt. lokomotyw wielosystemowych,
- zakup 1 szt. lokomotywy elektrycznej,
- modernizację 49 szt. lokomotyw,
- PKP Intercity (łącznie 461,5 mln zł):
 - zaliczka na poczet lokomotyw $v = 160$ km/h,
 - modernizacja 39 lokomotyw EU/EP07 w trakcie naprawy rewizyjnej P4,
 - montaż 20 prędkościomierzy w lokomotywach EP07 w trakcie naprawy rewizyjnej P4,
 - zaliczka na zakup 12 elektrycznych zespołów trakcyjnych do prędkości 160 km/h,
- PKP LHS (łącznie 12,5 mln zł):
 - modernizacja 2 szt. lokomotyw SM48 na typ 15D/A.

UTK zwrócił się do największych polskich przewoźników kolejowych z prośbą o wypełnienie ankiety dotyczącej ich planowanych inwestycji. Dane przekazało osiem spółek, które w 2017 r. wykonały łącznie ponad 80% ogółu pracy przewozowej:

1. PKP Cargo S.A.
2. Lotos Kolej Sp. z o.o.
3. PKP LHS Sp. z o.o.
4. DB Cargo Polska S.A.
5. CTL Logistics Sp. z o.o.
6. ORLEN KolTrans Sp z o.o.
7. Pol-Miedź Trans Sp. z o.o.
8. PUK Kolprem Sp. z o.o.

Sześciu z ośmiu ankietowanych przewoźników planuje inwestycje dotyczące lokomotyw elektrycznych. Łączna kwota planowanych nakładów to około 690 mln zł, co obejmuje zarówno zakup, jak i inne formy pozyskania lokomotyw (np. leasing, dzierżawa lub odnowienie posiadanego taboru). Inwestycje dotyczą 116 lokomotyw elektrycznych.

W przypadku trakcji spalinowej, sześciu z ośmiu ankietowanych przewoźników planuje zakup lokomotyw nowych bądź używanych, leasing, dzierżawę lub odnowienie. Inwestycje mają objąć 167 spalinowych pojazdów trakcyjnych na kwotę ok. 930 mln zł.

Biorąc pod uwagę planowany udział inwestycji taborowych wg nakładów na zakup lokomotyw do 2023 r., ankietowani przewoźnicy wykazali większe zainteresowanie lokomotywami spalinowymi niż lokomotywami elektrycznymi.

Jak wynika z opublikowanego przez rząd w lutym 2021 roku Krajowego Planu Odbudowy, nastąpi wzrost nakładów w KPO na zakup taboru i rozwój infrastruktury kolejowej [89]. Samorządowcy w ponad 200-stronicowym dokumencie nie znaleźli ani swoich wniosków o dofinansowanie zakupu taboru, ani również o dofinansowanie rewitalizacji linii kolejowych. W dokumencie jedynymi beneficjentami związanymi z branżą kolejową były PKP Polskie Linie Kolejowe oraz PKP Intercity.

Do rozdysponowania na wszystkie regiony jest jeszcze 7,1 mld euro, co nie oznacza, że te ponad 32 mld złotych przeznaczone będą wyłącznie na kolej.

Należy zakładać, że znaczny procent wnioskowanych zakupów taborowych będzie zrealizowane. Warto zwrócić uwagę na fakt, że do Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej wpłynęło ponad 5,5 tysiąca uwag i komentarzy dotyczących Krajowego Planu Odbudowy. Obecnie trwa ich analiza pod kątem możliwości ich uwzględnienia w KPO. W takim przypadku inwestycje taborowe znajdują się w całkiem dobrej sytuacji, zważając że padła deklaracja o zwiększenie puli pieniędzy przeznaczonych właśnie dla tego segmentu gospodarki. Do końca kwietnia 2021 roku Polska ma czas na przedstawienie gotowego Programu przed Komisją Europejską. Natomiast KE miała dwa miesiące na zaakceptowanie planu.

Do podziału jest ponad 32 miliardy złotych, ale zainteresowanych jest dużo (złożono ok. 1200 propozycji projektów do realizacji). Samorządy starały się o dofinansowanie zakupu blisko 300 nowych pojazdów szynowych. Chodziło zarówno o e.z.t. i s.z.t., jak również

o jednostki z napędem hybrydowym (spalinowo-elektryczne) oraz jednostki z napędem wodorowym. Wniosek na największą kwotę złożył Urząd Marszałkowski Województwa Mazowieckiego, starając się o dofinansowanie zakupu 50 szt. elektrycznych zespołów trakcyjnych, 30 szt. piętrowych wagonów push-pull oraz 10 szt. jednostek hybrydowych. Łącznie dofinansowanie miało wynieść 2 miliardy 345 milionów złotych.

Urzędy Marszałkowski starają się o dofinansowanie zakupów taborowych w ramach Krajowego Planu Odbudowy [91]. W grę wchodzi zarówno e.z.t. oraz pojazdy hybrydowe i pociągi z napędem wodorowym. Samorządy Województwa w ramach programu „Krajowy Plan Odbudowy” starają się o dofinansowanie inwestycji taborowych. Obecnie Ministerstwo Finansów Funduszy i Polityki Regionalnej rozpoczęło konsultacje społeczne projektu Umowy Partnerstwa na lata 2021-2027 oraz założeń do Krajowego Planu Odbudowy.

Podział środków dla poszczególnych województw będzie znany dopiero po zaakceptowaniu projektów przez Komisję Europejską. Termin wydatkowania środków wyznaczono do połowy 2026 roku.

Województwo Wielkopolskie

Województwo Wielkopolskie jako jedno z pierwszych województw zapowiedziało zainteresowanie zakupem pociągów wodorowych. W ramach pierwszego naboru wniosków o dofinansowanie z Rządowego Funduszu Inwestycji Lokalnych (RFIL) Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego złożył dwa wnioski na zakup 6 nowych pojazdów hybrydowych oraz sfinansowanie wkładu własnego do projektu „Zakup taboru dla aglomeracyjnych kolejowych przewozów pasażerskich na obszarze Poznańskiej Kolei Metropolitalnej” – wniosków nie rozpatrzono pozytywnie.

W drugim naborze złożono ponowny wniosek o sfinansowanie zakupu dwóch dodatkowych e.z.t. w ramach prawa opcji do realizowanej umowy na dostawę jednostek Elf od PESA Bydgoszcz. Wnioskowana kwota dofinansowania wynosi 50 922 mln zł. W przypadku otrzymania dofinansowania przyznane środki będą musiały być wydatkowane do końca 2022 roku. Procedury przetargowe mają rozpocząć się niezwłocznie po ogłoszeniu wyników naboru.

Dodatkowo Urząd Marszałkowski oczekuje w dalszym ciągu decyzji o dofinansowanie w ramach KPO zakupu 20 sztuk nowych pięcioczęłonowych e.z.t. oraz 12 sztuk nowych pojazdów o napędzie wodorowym.

Województwo Opolskie

Urząd Marszałkowski Województwa Opolskiego złożył wniosek do Krajowego Planu Odbudowy na zakup 27 pojazdów hybrydowych. Takie pojazdy oferuje Newag z Nowego Sącza. Po raz pierwszy hybrydowy pojazd – Impuls (spalinowo-elektryczny) zaprezentowano podczas targów Trako 2019 w Gdańsku. Takie jednostki zamówiły już Koleje Dolnośląskie oraz województwo zachodniopomorskie. Natomiast w trakcie postępowania przetargowego na pojazdy hybrydowe jest Łódzka Kolej Aglomeracyjna.

Urząd Transportu Kolejowego wydał dopuszczenie do eksploatacji takich jednostek w październiku 2020 roku.

Urząd Marszałkowski poinformował, że o pojazdy z napędem wodorowym nie będzie się starał.

Województwo Małopolskie

Województwo Małopolskie ogłosiło plan zakupu taboru w ramach Krajowego Programu Odbudowy. Prawdopodobnie będą to elektryczne zespoły trakcyjne. Natomiast z pewnością wnioski nie dotyczyły pojazdów wodorowych. Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego również oczekuje na decyzję w sprawie złożonych do KPO dokumentów.

Województwo Podlaskie

Urząd Marszałkowski Województwa Podlaskiego poinformował, że stara się o pozyskanie ośmiu pojazdów hybrydowych w ramach Krajowego Planu Odbudowy. Urząd obecnie oczekuje na decyzje w sprawie przyznania dofinansowania.

Województwo Mazowieckie

Urząd Marszałkowski Województwa Mazowieckiego stara się o dofinansowanie w kwocie 2 miliardów 345 milionów złotych. Za tę kwotę Koleje Mazowieckie chcą pozyskać:

- 10 sztuk dwuczłonowych e.z.t.,
- 10 sztuk hybrydowych dwuczłonowych zespołów trakcyjnych,
- 15 sztuk czteroczłonowych piętrowych e.z.t.,
- 25 sztuk pięcioczłonowych e.z.t.,
- 30 sztuk wagonów piętrowych do pociągów typu push-pull.

Ponadto Urząd wnioskował o dofinansowanie zakupu 100 pojazdów zasilanych wodorem, jednostki hybrydowe lub elektryczne o różnej wielkości (autobusy, busy).

Województwo Lubelskie

Urząd Marszałkowski Województwa Lubelskiego nie złożył żadnych wniosków o dofinansowanie zakupu taboru w ramach Krajowego Planu Odbudowy oraz Funduszu Przeciwdziałania COVID-19.

Województwo Lubuskie

Urząd Marszałkowski Województwa Lubuskiego złożył wniosek o dofinansowanie w ramach KPO na zakup 8 pojazdów hybrydowych (spalinowo-elektrycznych). Wniosek ten wstępnie zakwalifikował się do programu. Urząd Wojewódzki biorąc pod uwagę dominację niezelektryfikowanych tras kolejowych na terenie województwa zakupił 20 spalinowych zespołów trakcyjnych, a w planach ma zakup kolejnych. Ponadto Urząd nie wyklucza zakupu pojazdów wodorowych lub wodorowo-elektrycznych.

Województwo lubuskie sukcesywnie pozyskuje nowe pasażerskie pojazdy kolejowe, które następnie udostępniane są operatorowi transportu do realizacji przewozów. Kształt sieci kolejowej na terenie tego województwa, w której aż 68% linii stanowią odcinki niezelektryfikowane, wymaga stosowania pojazdów z napędem spalinowym.

Województwo Podkarpackie

Urząd Marszałkowski Województwa Podkarpackiego w ramach Krajowego Planu Odbudowy wnioskował o dofinansowanie zakupu 10 sztuk czteroczłonowych elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz 5 sztuk trójczłonowych hybrydowych jednostek (elektryczno-spalinowych). Kwota o jaką stara się województwo to 410 mln złotych brutto.

Województwo Dolnośląskie

Samorząd stara się o dofinansowanie w ramach KPO zakupu 20 e.z.t., 12 sztuk „wysokoelektrycznych elektrycznych pojazdów kolejowych” oraz 40 sztuk autonomicznych pojazdów elektrycznych, a także 8 nowych dwuczłonowych spalinowych zespołów trakcyjnych i dwóch trójczłonowych pojazdów hybrydowych (elektryczno-spalinowych).

W ramach KPO samorząd złożył wnioski o dofinansowanie rozbudowy zaplecza technicznego Kolei Dolnośląskich oraz rewitalizacji około 300 km linii kolejowych i elektryfikacja następnych 110 km.

Województwo Pomorskie

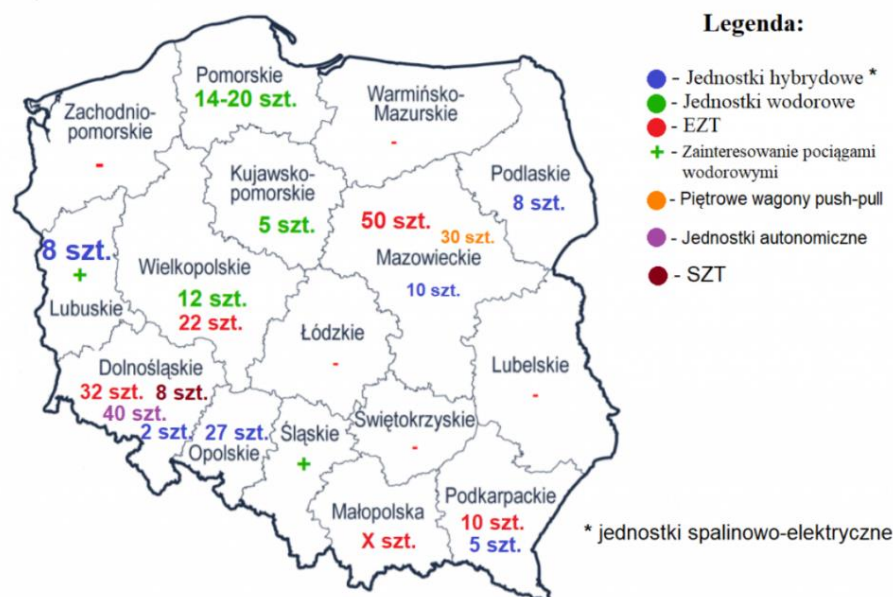
Województwo Pomorskie stara się w ramach KPO o dofinansowanie zakupu od 14 do 20 sztuk pociągów z napędem wodorowym.

Województwo Kujawsko-Pomorskie

Województwo Kujawsko-Pomorskie złożyło wniosek do Krajowego Programu Odbudowy o dofinansowanie zakupu 5 pociągów wodorowych.

Ponadto województwo lubuskie oraz woj. śląskie zadeklarowały zainteresowanie pociągami wodorowymi.

Plany poszczególnych województw dotyczące zakupu taboru kolejowego przedstawiono na rys. 2.7.



Rys. 2.7. Plany inwestycyjne województw [41]

Również spółka POLREGIO (dawniej Przewozy Regionalne) zgłosiła do KPO trzy wnioski, które łącznie opiewają na kwotę ponad 6,3 mld złotych [90]. Dotyczą one zakupu 180 nowych elektrycznych zespołów trakcyjnych (4,6 mld zł), 40 spalinowo-elektrycznych zespołów trakcyjnych (1,2 mld zł) oraz modernizację 50 szt. obecnie eksploatowanych e.z.t. (525 mln zł). Takie zakupy byłyby znacznym odmłodzeniem floty taborowej przewoźnika. W przypadku gdyby można było uzyskać finansowanie zakupu, nowy tabor miałby trafić przede wszystkim tam, gdzie dotychczas brakowało środków na wymianę starych EN57. Z dotychczasowych deklaracji Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej wynika, że środki na rozwój kolei regionalnej w KPO będą uwzględnione. Pozytywne sygnały w tej sprawie płyną też z innych ministerstw. Minister Przedsiębiorczości, Technologii i Pracy stwierdził, że jedną z dźwigni wychodzenia Polski z kryzysu są inwestycje samorządowe, w tym w infrastrukturę kolejową wykorzystywaną przez POLREGIO.

Europejski Bank Inwestycyjny (EBI) we wrześniu 2019 roku przyznał około 1 mld zł (233 mln euro) kredytu PKP Intercity na inwestycje w tabor [94]. PKP Intercity od tamtego roku planuje wykorzystywanie środków pochodzących z kredytu udzielonego przez EBI na częściowe pokrycie kosztów m.in. zakupu nowego taboru w ramach już zawartych umów. W ramach finansowanego przez EBI projektu, spółka PKP Intercity zamierza kupić m.in. nowe lokomotywy elektryczne, wagony pasażerskie, a także elektryczne zespoły trakcyjne. Z tych środków finansowana ma być również modernizacja obecnego taboru.

Rada Ministrów przyjęła uchwałę w sprawie udzielenia Europejskiemu Bankowi Inwestycyjnemu gwarancji spłaty pierwszej części kredytu zaciągniętego przez PKP Intercity przeznaczonego na częściowe finansowanie projektu inwestycyjnego pod nazwą "Program na rzecz konkurencyjności PKP Intercity".

W końcu 2018 roku w PKP Intercity, POLREGIO i SKPL (Stowarzyszenie Kolejowych Przewozów Lokalnych) było 109 lokomotyw spalinowych [101]. Znaczna ich większość należy do PKP Intercity. Dla porównania w 2015 roku było ich łącznie 152, a ich liczba spadła głównie przez kasacje starego taboru, który dokonuje się w spółce POLREGIO.

Ostatnie jako nowe kupiono lokomotywy spalinowe Gama. Ostatnim zakupem nowego spalinowego taboru trakcyjnego był zrealizowany przez PKP Intercity w 2014 (z dostawami już rok później), gdy w drodze przetargu wybrano ofertę firmy Pesa. Dostarczyła ona 10 lokomotyw Gama do obsługi odcinków sieci pozbawionych sieci trakcyjnej: Ełk–Korsze, Ełk–Suwałki, Rzeszów–Zamość, Rzeszów–Zagórz, Krzyż–Gorzów Wielkopolski i Piła–Krzyż, a także sezonowo kilku innych odcinków. Lokomotywy okazały się jednak bardzo awaryjne i dopiero obecnie, w 4 lata po wprowadzeniu ich do eksploatacji, ich sprawność wydaje się być zadowalająca.

Innym dużym zamówieniem związanym z modernizacją trakcji spalinowej w PKP Intercity była zaawansowana przebudowa lokomotyw SU42. Łącznie zmodernizowano 20 lokomotyw tego typu w firmie Newag, z których 10 przebudowano do standardu 6Di (dwuagregatowe, z możliwością prowadzenia pociągów) oraz 10 do standardu 18D (jednoagregatowe, z systemem jazdy akumulatorowej). Należy jednak zwrócić uwagę, że dotyczy to zaawansowanej modernizacji pojazdów, które zbudowano w większości w latach 70-tych XX wieku.

Obecnie PKP Intercity ponowi przetarg na zakup 10 lekkich lokomotyw manewrowych. Poprzedni przetarg, w którym ofertę złożyło tylko CZ Loko unieważniono, a ponowiony przetarg na zaawansowaną modernizację 9 sztuk (i 4 sztuk w opcji) lokomotyw SM42 także unieważniono, mimo złożenia oferty przez H. Cegielski FPS. Wykonawcą modernizacji 13 lokomotyw SM42 została poznańska Fabryka Pojazdów Szynowych.

Zakupu lokomotyw liniowych nie planuje się m.in. z uwagi na elektryfikację odcinka Rzeszów–Lublin, plany elektryfikacji odcinka Gorzów–Krzyż i bliski koniec modernizacji odcinka Warszawa–Lublin, który pozwoli na „uwolnienie” spalinowych lokomotyw z odcinka Łuków–Lublin.

PKP Intercity wciąż wypożycza od Kolei Czeskich niewielką liczbę lokomotyw serii 754.

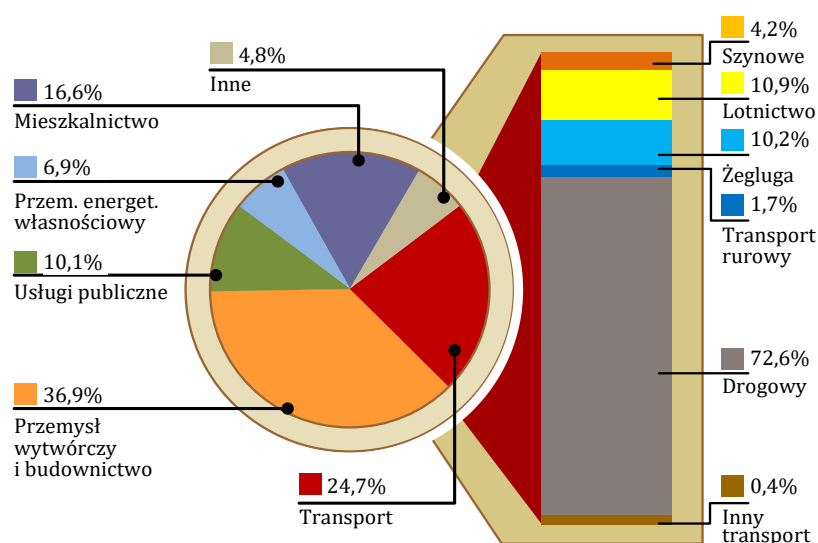
POLREGIO w ogóle nie ma w planach modernizacji lokomotyw spalinowych, stale redukując liczbę wagonów i lokomotyw do ich prowadzenia. W niektórych regionach, na wypadek zmniejszonej dostępności autobusów szynowych utrzymuje się znikomą rezerwę lokomotyw SU42. Tak jest na przykład na Warmii i Mazurach, na Opolszczyźnie i na Pomorzu. Jedynie w tym ostatnim regionie POLREGIO wykorzystuje lokomotywy spalinowe. Zdecydowana większość pracy przewozowej na liniach nieelektryfikowanych wykonywana jest w regionach autobusami szynowymi, z których tylko część jest własnością przewoźnika, a reszta należy do marszałków województw.

3. TRANSPORT SZYNOWY A ŚRODOWISKO NATURALNE

3.1. Wpływ transportu na środowisko naturalne

Transport jest jednym z sektorów przemysłu odpowiedzialnym z globalną emisję dwutlenku węgla. Jego udział wynosi około 25% (rys. 3.1). Największym emitentem CO₂ jest przemysł. Udział transportu szynowego w emisji CO₂ wynosi tylko 4,2%. Transport drogowy odpowiada za 17,9% całkowitej emisji dwutlenku węgla ze spalania paliw.

W 2015 r. sześć regionów i krajów (UE28, USA, Rosja, Chiny, Korea, Indie, Japonia) odpowiadało za 85,9% ogólnej emisji CO₂ w sektorze kolejowym, z czego jedna druga była emitowana przez Chiny. Zużycie węgla w kolejnictwie drastycznie zmniejszyło się w latach 1990-2015. W tym samym okresie zużycie energii elektrycznej w przewozach szynowych wzrosło z 17,2% do 36,4%.



Rys. 3.1. Emisja dwutlenku węgla ze spalania paliw w różnych sektorach przemysłu i transportu [110]

W roku 2015 jednostkowe zużycie energii w pasażerskim transporcie kolejowym wyniosło 145 kJ/km, podczas gdy wielkość ta w kolejowym transporcie towarowym wyniosła 135 kJ/tkm. Zużycie energii w tym sektorze transportu w latach 1990-2015 zmniejszyło się o 18,2% w przewozach pasażerskich i 19,2% w towarowych. Jednostkowe emisje dwutlenku węgla w tych sektorach uległy ograniczeniu odpowiednio o 38,1% oraz 31,2% w latach 1990-2015.

Negatywne z cywilizacyjnego punktu widzenia zmiany klimatyczne powodowane przez transport kolejowy wynikają podstawowo z dwóch powodów: z konieczności korzystania ze źródeł energii potrzebnej do wykonywania zadań przewozowych przez trakcyjne pojazdy kolejowe oraz w wyniku emisji zanieczyszczeń w trakcie wykonywania tych przewozów.

Poszukiwanie coraz mniej energochłonnych i niskoemisyjnych systemów transportowych w aglomeracjach staje się poważnym wyzwaniem dla ludzi odpowiedzialnych za rozwój cywilizacyjny kraju, na każdym szczeblu zarządzania państwem.

Konferencja COP 54 (Conference of Parties 25) w Madrycie (2–13 grudnia 2019) potwierdziła ważność tematu zmian klimatycznych i wskazała na olbrzymie zagrożenie dla naszej planety w sytuacji braku działań znacznie intensywniejszych niż dotychczasowe.

Część źródeł zanieczyszczenia powietrza jest niezależna bezpośrednio od człowieka i do tych źródeł należą:

- wulkany (ok. 450 czynnych), z których wydobywają się m. in. popioły wulkaniczne i gazy (CO₂, SO₂, H₂S),
- pożary lasów, sawann i stepów (emisja CO₂, CO i pyłów),

- bagna, wydzielające m.in. CH₄, CO₂, H₂S, NH₃,
- gleby i skały ulegające erozji, burze piaskowe (globalnie do 700 mln ton pyłów/rok),
- tereny zielone, z których pochodzą pyłki roślinne.

Poza nimi istnieje szereg źródeł emisji wynikających z działalności człowieka, zwanych antropogenicznymi. Są to źródła:

- energetyczne – spalanie paliw,
- przemysłowe – procesy technologiczne, np. w zakładach chemicznych, rafineriach, hutach i cementowniach,
- komunikacyjne – głównie transport samochodowy,
- komunalne – gospodarstwa domowe oraz gromadzenie i utylizacja odpadów i ścieków (np. wysypiska, oczyszczalnie ścieków) [56].

Komunikacja w aglomeracjach obejmuje zarówno przemieszczanie się mieszkańców i jak transport związany z zaopatrzeniem. Obejmuje zatem nie tylko transport zbiorowy lecz także indywidualny, głównie samochodami osobowymi. Ich wpływ na stan środowiska i klimatu jest w skali danej aglomeracji istotny, ze względu na to, że wszystkie te elementy transportu wpływają na zmianę stanu środowiska i klimatu. W celu właściwej oceny aktualnego stanu należy odnieść się dopuszczalnego poziomu zanieczyszczeń.

Unia Europejska ustaliła jedynie poziom dopuszczalny dla pyłów drobnych PM₁₀ i PM_{2,5}, odpowiednio dla PM₁₀ – 50 µg/m³ (dobowy) i 40 µg/m³ (średni roczny), a dla pyłu PM_{2,5} – 25 µg/m³ (średni roczny). Poziom dopuszczalny dla tlenku węgla w powietrzu wynosi 10.000 µg/m³ [28].

W Polsce normy dla pyłów drobnych PM₁₀ są ustalone na trzech poziomach [47]:

- poziom dopuszczalny 50 µg/m³ (dobowy) mówi o tym, że jakość powietrza nie jest dobra, ale nie wywołuje ciężkich skutków dla ludzkiego zdrowia,
- poziom informowania 200 µg/m³ (dobowy) oznacza, że mieszkańcy powinni ograniczyć swoją aktywności na powietrzu, bo norma przekroczona jest czterokrotnie,
- poziom alarmowy 300 µg/m³ (dobowy) oznacza, że norma przekroczona jest sześciokrotnie i należy bezwzględnie ograniczyć przebywanie na powietrzu i najlepiej zostać w domu – szczególnie dotyczy to osób chorych.

W Polsce poziomy alarmowe zdarzają się rzadko. W 2018 roku poziom alarmowy przekroczone raz, w Zabrze – 5 listopada. Wówczas dobowe stężenie pyłu PM₁₀ wyniosło tam 330 µg/m³.

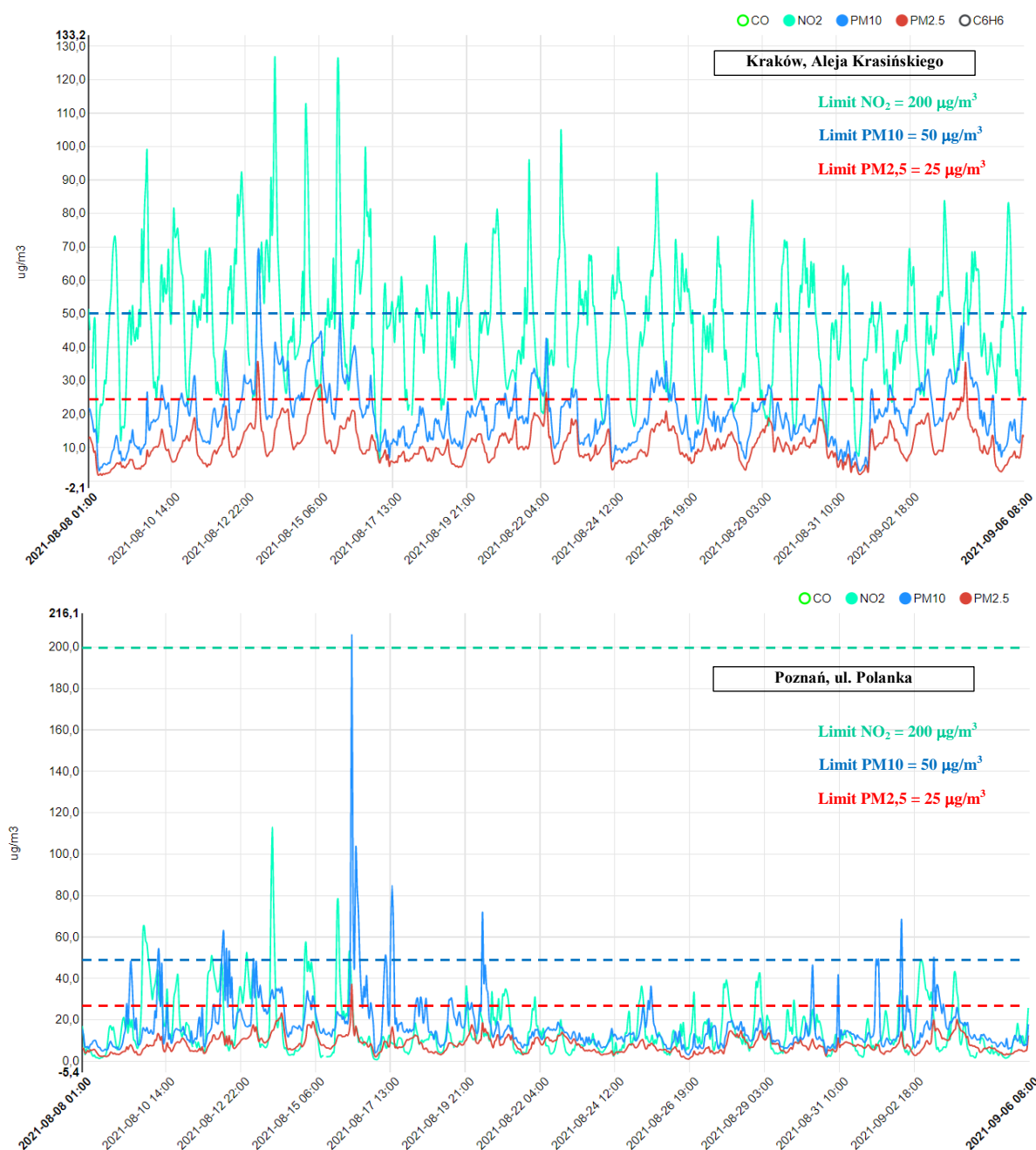
Poziomy informowania są przekraczane kilkadziesiąt razy w roku na różnych obszarach, co oznacza, że stężenie w kilku miejscach w Polsce przekracza 200 µg/m³ na dobę. Wynika z tego, że jakość powietrza, szczególnie w regionach Polski południowej, okresowo jest zła i mają na to wpływ zarówno czynnik ludzki oraz pogoda [12]. Udział w tej negatywnej statystyce ma nie tylko zbiorowy transport w miastach lecz także transport kolejowy.

Poziom zanieczyszczeń powietrza, przykładowo w Krakowie i w Poznaniu w roku 2021 przedstawiono na rys. 3.2.

Jak wynika z tych wykresów poziomy dla kilku składników zanieczyszczeń już w okresie letnim zostały przekroczone. Szczególnie niepokojący jest wysoki poziom tlenków azotu trwający w Krakowie przez cały okres roku 2019 (nie zamieszczony na wykresach), co wynika głównie z faktu, że do ogrzewania mieszkań nadal znaczący udział mają piece opalane węglem i innymi niedopuszczalnymi substancjami. Podobna sytuacja jest także w innych dużych miastach w Polsce.

Jednym z powszechnie wdrażanym w Zachodniej Europie sposobów poprawy sytuacji jest rozwijanie i wdrażanie technologii źródeł odnawialnych (ogniwa fotowoltaiczne, elektrownie wiatrowe i wodne).

Niezrozumiałe jest zaniechanie wspierania budowy na szeroką skalę elektrowni wiatrowych w aktualnej polityce naszego kraju. Przykładowo w strategicznym dokumencie, temat odnawialnych źródeł energii odniesiono tylko do gospodarstw rolnych [60].



Rys. 3.2. Poziomy zanieczyszczenia powietrza pyłami w 2020 r. (sierpień-wrzesień) (liniami zieloną, niebieską i czerwoną zaznaczono poziomy dopuszczalne): a) w Krakowie, b) w Poznaniu [27, 28, 35]

Z innego dokumentu rządowego dotyczącego strategii rozwoju państwa wynika, że planuje się wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych z 11,45% (rok 2014) do 15% w roku 2020, co daje rocznie przyrost ok. 0,5% [106]. Jest to impuls dla intensywnego rozwoju i wdrażania pojazdów z napędem wodorowym [66].

3.2. Działania w zakresie ochrony środowiska w trakcie okresów życia taboru kolejowego

Działania na rzecz ochrony środowiska ujęto w kilku strategicznych dokumentach rządowych [60, 106]. Przykładowo w dokumencie [108] dotyczącym rozwoju transportu, strategię działania dotyczącą środowiska ujęto w pkt 8 pt.: „Kierunek Interwencji 5: Ograniczenie negatywnego wpływu transportu na środowisko”.

Szczegółowe wymagania w zakresie ochrony środowiska naturalnego przed negatywnym oddziaływaniem transportu kolejowego zawarte są w kilku dokumentach normatywnych z zakresu kolejnictwa. Należy tu wymienić:

- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej [97],

- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1304/2014 z dnia 26 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Tabor kolejowy – hałas” [14],

- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 321/2013 z dnia 13 marca 2013 r. dotyczące technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – wagony towarowe” systemu kolei w Unii Europejskiej [99]

i inne rozporządzenia w sprawie Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności dla pozostałych podsystemów i aspektów kolei, a także szczegółowe normy europejskie [15, 16], odnoszące się do zagadnień dotyczących hałasu wewnątrz pojazdu (kabina maszynisty, przedział pasażerski).

Odniesienia do ochrony środowiska naturalnego znajdują się także w specyfikacji [97] w pkt 1.4 – Ochrona środowiska naturalnego:

- wpływ, jaki na środowisko ma utworzenie i funkcjonowanie systemu kolei, musi być oceniony i uwzględniony na etapie projektowania systemu zgodnie z obowiązującymi przepisami wspólnotowymi,

- tabor oraz systemy dostaw energii muszą być zaprojektowane i wykonane w sposób gwarantujący ich kompatybilność elektromagnetyczną z instalacjami, urządzeniami i sieciami publicznymi lub prywatnymi, z którymi mogą się wzajemnie zakłócać,

- funkcjonowanie systemu kolei musi opierać się na przestrzeganiu istniejących przepisów w zakresie poziomu hałasu; funkcjonowanie systemu kolei nie może powodować osiągnięcia niedopuszczalnego poziomu drgania gruntu w odniesieniu do działań i obszarów położonych w pobliżu infrastruktury i będących w normalnym stanie utrzymania.

Dopuszczalne poziomy hałasu dla kilku stanów pracy pojazdu przedstawiono także w pkt 4.2.1–4 specyfikacji [98]. Aspekty minimalizowania wpływu transportu kolejowego na środowisko brane są pod uwagę w kolejnych etapach „życia” pojazdów szynowych.

Etap prac badawczo-rozwojowych i projektowania pojazdu

W trakcie projektowania kolejowych pojazdów trakcyjnych prowadzone są wielowątkowe działania minimalizujące negatywny wpływ systemów i podzespołów na środowisko naturalne. Dotyczy to następujących elementów pojazdu:

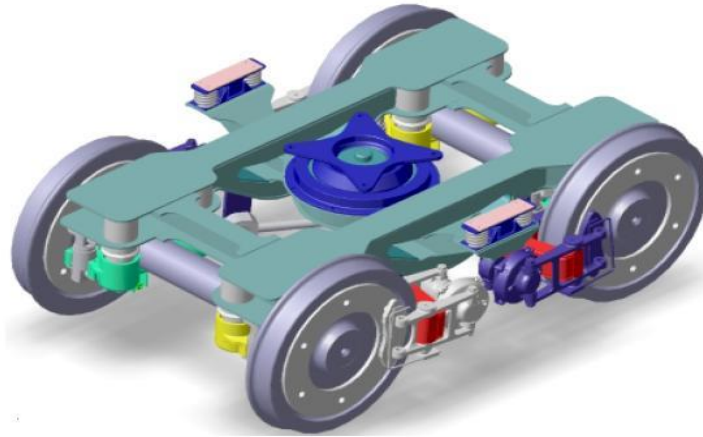
- elektryczny układ napędowy,
- napęd mechaniczny,
- wózki napędne i toczne,
- układy wykonawcze hamulca (ze względu na pył z klocków i tarcz hamulcowych),
- aerodynamiczność konstrukcji pojazdu (pod względem kształtu czoła i tyłu pojazdu, przejść międzywagonowych, kształtu pantografów, osłony urządzeń zabudowanych na dachu i pod pudłem).

Należy mieć świadomość, że na środowisko w istotny sposób wpływa hałas generowany w trakcie jazdy. Hałas aerodynamiczny powstaje na skutek nieregularnego opływu powietrza przez pudło pojazdu. Wielkość hałasu aerodynamicznego zależy przede wszystkim od kształtu pociągu (zarówno czoła, jak i jego końca) oraz od wystających elementów pociągu, powodujących gwałtowne fluktuacje powietrza.

W samej konstrukcji wózka w fazie jego projektowania istnieje możliwość obniżenia poziomu hałasu nawet o około 18 dB w wyniku:

- zmniejszenia masy wózka,
- udoskonalenia akustycznie koła (optymalizacja, tłumienie, ekranowanie),

- zastosowania gumowych elementów w zawieszeniu pierwotnym – rys. 3.3,
- zastosowania sprężyn pneumatycznych w zawieszeniu wtórnym,
- odstąpienia od stosowania amortyzatora ciernego (tłumika ciernego drgań),
- nanoszenia dźwiękochłonnych powłok malarskich na powierzchnię wózka,
- zamocowania tarczy hamulcowej na kole,
- zastosowania osłon akustycznych [2].



Rys. 3.3. Elementy wyciszające na wózku [32]

Brak osłon akustycznych dla urządzeń zainstalowanych na dachu pojazdu szynowego powoduje generowanie hałasu przez pracujące urządzenia oraz dodatkowo przez strumień powietrza, który ulega zaburzeniu, opływając krawędzie obudów tychże urządzeń. Na rysunku 3.4 przedstawiono przykład pojazdu szynowych z zainstalowanymi osłonami akustycznymi.



Rys. 3.4. Pociąg zespołowy Pendolino – osłony akustyczne urządzeń na dachu pojazdu []

Stosowanie lekkich materiałów konstrukcyjnych o dużej wytrzymałości mechanicznej i żywotności powinno dotyczyć nie tylko ww. wózków, lecz także konstrukcji całego pojazdu. Korzyścią jest – z jednej strony – mniejsza masa pojazdu, co ma szczególne znaczenie w aspekcie zużycia energii przez pojazdy wieloczołowe, w których problem odpowiedniej masy w związku z przyczepnością nie jest krytyczny, a z drugiej – także mniejsze nakłady energii przy produkcji tych materiałów.

Kolejnym zagrożeniem są elementy pochodzące ze zużywających się w wyniku tarcia składników hamulca mechanicznego oraz wycieki różnych płynów eksploatacyjnych (smary, oleje) z nieszczelnych zbiorników w wyniku zaniedbań w procesie utrzymania. Należy mieć

na uwadze także zanieczyszczenia związane z infrastrukturą, np. torowiska kolejowego powstałe w wyniku ścierania szyn oraz sieci trakcyjnej (kontakt z pantografem).

Istotne w tym względzie jest przestrzeganie obowiązkowych procedur przeglądowo-naprawczych opisanych w Dokumentacji Systemu Utrzymania (DSU) każdego pojazdu.

Dodatkowym elementem mogącym wpływać na efektywniejsze utrzymywanie pojazdu w nienagannym stanie jest diagnozowanie i prognozowanie stanu głównych jego podzespołów, co powoduje że ocena ich zużycia jest obiektywna. W związku z tym, już na etapie prac badawczo-rozwojowych należy podejmować prace służące wdrożeniu tych metod.

Na etapie opracowywania dokumentacji należy zwrócić uwagę na fazę redagowania programów prób i badań wymaganych w procesie dopuszczenia pojazdu do eksploatacji. Maksymalny rodzaj prób powinien być wykonywany na stanowiskach badawczych jednostek badawczo-rozwojowych, ale i w takim przypadku ich liczbę należy ograniczać w racjonalnie realizowanym programie prób.

Liczba prób i badań na postoju pod siecią oraz ruchowych powinna być także ograniczona do niezbędnej ich wielkości. Właściwym kierunkiem jest rozwijanie badań metodami symulacyjnymi w oparciu o dedykowane programy komputerowe.

W trakcie prac przy opracowywaniu nowego typu pojazdu konieczne jest spełnienie wszystkich wymagań zawartych w dokumentach TSI, bowiem w każdej z nich znajdują się odniesienia do ochrony środowiska naturalnego.

Budowa/produkcja pojazdu

Produkcja pojazdu, będąca wieloetapowym skomplikowanym procesem organizacyjno-logistycznym, powinna opierać się na ściśle opisanych procedurach, które uwzględniają zagadnienia poboru energii potrzebnej w każdej fazie wytwarzania.

Eksploatacja

W trakcie eksploatacji występuje kilka faz, w których odpowiednio zorganizowane działania mogą wpływać na stan środowiska naturalnego. Dotyczy to obszaru zużycia energii, które może być racjonalnie ograniczone, w wyniku m.in. wdrażania programów sterujących jazdą w celu minimalizowania zużycia energii. Dotyczy to zwłaszcza transportu zbiorowego realizowanego w aglomeracjach za pomocą e.z.t. i s.z.t. [11].

Istotny wkład nie tylko w racjonowanie zużycia energii daje wdrażanie systemów tramtrain, co ma już miejsce w wielu miastach Europy Zachodniej [13]. Pojemność środków przewozów jest dostosowana do liczby podróżujących pasażerów, co oznacza stosowanie odpowiednio przygotowanych tramwajów, nie tylko z napędami o mniejszej mocy w stosunku do pojazdów kolejowych, lecz także lżejszych, co ogranicza zużycie elementów infrastruktury. Infrastruktura ta wykorzystywana jest efektywniej, nie tylko przez pojazdy stricte kolejowe.

Kolejną fazą jest racjonalne i skrupulatne przeprowadzanie wszystkich prac przeglądowo-naprawczych, co przekłada się na utrzymywanie wysokiej sprawności urządzeń i zapobiega np. zwiększaniu poziomu hałasu w trakcie jazd oraz wyciekom z nieszczelnych zbiorników. Stosowanie metod diagnozowania oraz korzystanie z narzędzi, jakie dają systemy diagnozowania i prognozowania stanu urządzeń, przekazując informację on-line w trakcie jazdy [10].

Eksploatator pojazdu (przewoźnik) ma także duży wpływ na rozwiązania zastosowane w nowo projektowanym lub modernizowanym pojeździe. Odpowiednim narzędziem do tego celu jest właściwe opracowywanie Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia [65].

Stało się już powszechnie stosowaną praktyką, że w tych pracach biorą udział wysokiej klasy specjaliści z różnych jednostek związanych z kolejnictwem, dla których ochrona środowiska jest wyznacznikiem kierunku działań.

Trendem powinno być także promowanie zamówień na dostawę pojazdów z napędem elektrycznym lub przyszłościowym pojazdów z napędem zasilanym z ogniw wodorowych.

3.3. Działania użytkowników taboru szynowego w obszarze ochrony środowiska

Szerokie zastosowanie silników spalinowych do zasilania układów napędowych pojazdów oraz brak realnych perspektyw odejścia od tej technologii w najbliższym czasie mimo pojawiających się alternatyw, wymusza konieczność usprawniania metod właściwego użytkowania tych silników. Ponieważ obecnie główny nacisk w rozwoju technologii napędowych kładzie się na ich aspekty ekologiczne oraz zwiększanie ich wydajności, należy zauważyć, że zdecydowana większość prac rozwojowych skupia się na aspektach mechanicznych oraz projektowaniu silników spalinowych. Względnie niewiele uwagi poświęca się aspektom ich właściwego i optymalnego użytkowania. W rezultacie doprowadziło to do sytuacji, w której wysokimi kosztami czasu i pracy uzyskuje się coraz mniejsze korzyści w charakterystykach silników i układów napędowych, ignorując tym samym, względnie duży wpływ aspektów takich jak styl jazdy, również mających znaczący wpływ na ostateczne parametry eksploatacyjne [45, 58]. Istnieją obecnie wyzwania (dotyczące stylów jazdy u maszynistów i operatorów pojazdów), które skutkowały poprawą aspektów ekologicznych i ekonomicznych w skali światowej. Korzyści takie – częściowo dzięki skutecznej kampanii poprawy stylów jazdy – mogłyby znacząco zwiększyć korzyści z najnowszych badań rozwojowych dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych, systemów zasilania lub rekuperacji energii silników spalinowych i układów napędowych. Barkenbus [1] wykazał, że przestrzeganie odpowiednich zasad i stylów jazdy pośród kierowców pojazdów drogowych w Stanach Zjednoczonych mogłoby pozwolić ograniczyć energochłonność sektora transport drogowego nawet o 10%. Podobne prace badawcze przeprowadzone w aspekcie lepszej organizacji pracy pojazdów szynowych również wykazały pozytywne aspekty [6]. Mimo faktu, że transport szynowy nie jest głównym źródłem emisji spalin z pojazdów z silnikami spalinowymi, to pojazdy szynowe często pracują w obszarach zaludnionych, w których emisja spalin jest istotna. W związku z powyższym uznano, że opisany aspekt warty jest dalszej analizy, również dla pojazdów innych niż samochodowe. Artykuł przedstawia wstępną analizę badawczą wpływu stylu jazdy pasażerskiego pojazdu szynowego na jego emisję spalin. Celem podejmowanych prac jest ustalenie nowych metod pozwalających na spełnienie wymagań norm emisji spalin, zarówno obecnych jak i przyszłych [127] dla pojazdów szynowych oraz pozadrogowych w UE.

Omawiając aspekty związane ze sprawnością silników spalinowych ważne jest, że istnieje szereg parametrów związanych z jakością procesów spalania, które tą sprawność określają. Silniki spalinowe często pracują w stanach nieustalonych, w których ich sprawność jest niższa. Ponadto pozostałe układy i systemy silnikowe odpowiadające za np. kontrolę wtrysku paliwa, kąta wyprzedzenia zapłonu, jednorodności mieszanki paliwowo-powietrznej oraz własności smarnych również muszą być odpowiednio dostosowane i zarządzane przez jednostkę kontrolną silnika. W związku z tym pewne punkty pracy, wartości prędkości i momentu obrotowego silnika zawsze będą powiązane ze zmniejszoną ogólną sprawnością silnika. Stąd, w przeciwieństwie do użytkowania silników elektrycznych, silniki spalinowe charakteryzują się znaczącym poziomem skomplikowania względem ich właściwego i optymalnego użytkowania, co stwarza dodatkowe trudności dla maszynistów. Unikalne charakterystyki pracy różnych silników spalinowych wymusiły stosowanie coraz bardziej zaawansowanych strategii kontroli procesów silnikowych, takich jak oprogramowanie kontrolne, które wykorzystuje coraz większą liczbę danych z czujników, aby najsprawniej zarządzać wyborem punktów pracy o pożądanym parametrach. Nadal jednak działania i zachowanie maszynisty pozostają kluczowym aspektem wpływającym na ogólną sprawność pracy silnika i całego układu napędowego. Dlatego za uzasadnione uznaje się poszukiwanie dalszych usprawnień w ekologicznych i ekonomicznych pojazdach szynowych w aspekcie wykorzystania stylów jazdy prowadzących do zwiększenia sprawności pracy pojazdów. Kształtuje się zatem możliwość uzyskania znaczących korzyści względnie niewielkim kosztem, w odniesieniu do długich i kosztownych procesów projektowania, budowy i testowania nowych lub zmodyfiko-

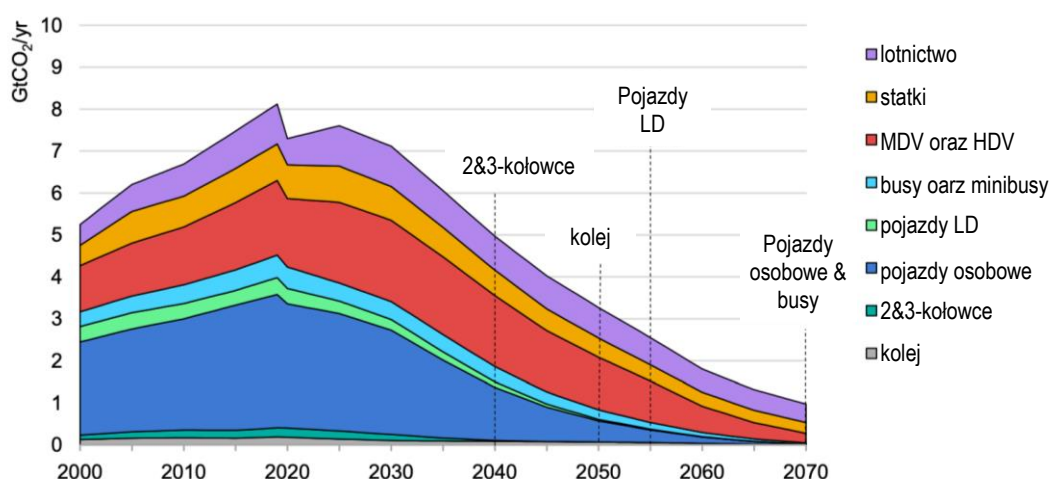
wanych konstrukcji silników spalinowych, w tym: komputerowego modelowania silników [121], kontroli procesu spalania [68], inżynierii chemicznej paliw [34] oraz modyfikacji struktury rozwiązań wewnątrz cylindra [48]. Ogólny wpływ na własności ekonomiczne i ekologiczne silników wysokoprężnych – jaki można byłoby osiągnąć wprowadzając odpowiednie strategie stylów jazdy w kategorii ekodrivingu – jest porównywalny do oczekiwanych korzyści wynikających z wcześniej wspomnianych prac rozwojowych. Powyższe rozważania uzasadniają więc podejmowanie prac badawczych w tym zakresie.

4. WYMAGANIA I UREGULOWANIA PRAWNE W ZAKRESIE BADAŃ EMISJI Z SILNIKÓW SPALINOWYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH

4.1. Przepisy Unii Europejskiej dotyczące badań emisji spalin pojazdów trakcyjnych

Węgiel pozostaje największym czynnikiem przyczyniającym się do globalnych emisji CO₂ związanej z energią, ponieważ jest najbardziej emisyjnym paliwem kopalnym i drugim co do wielkości źródłem energii na świecie. Węgiel odpowiadał za 45% całkowitej emisji CO₂ w 2019 r., następnie ropa naftowa (34%) i gaz ziemny (22%). Udział węgla w globalnym mieszkaniu energetycznym w ostatnich dziesięcioleciach zmniejsza się, podczas gdy ropy naftowej utrzymuje się na stałym poziomie, a gazu stale wzrasta. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA – *International Energy Agency*) oblicza, że węgiel jest główną przyczyną globalnego ocieplenia: CO₂ emitowany ze spalania węgla odpowiada za ponad 0,3°C z 1°C wzrostu średniej rocznej temperatury powierzchni na świecie powyżej poziomów sprzed epoki przemysłowej.

Udział pojazdów szynowych w ogólnej emisji dwutlenku węgla jest znikomy (rys. 4.1). Największy udział mają osobowe pojazdy samochodowe oraz pojazdy typu MDV (średnie ciężarówki) oraz HDV (ciężkie pojazdy ciężarowe). Liniami przerywanymi zaznaczono przewidywane zakończenie (lub znaczne ograniczenie) produkcji spalinowych układów napędowych danej grupy.



Rys. 4.1. Globalna emisja CO₂ ze źródeł transportowych [39]

Do początków unijnej polityki w dziedzinie ochrony środowiska należy posiedzenie Rady Europejskiej w Paryżu w 1972 roku. Wówczas wskazano na potrzebę wspólnotowych działań w kwestiach środowiskowych. Obecnie polityka Unii opiera się m.in. na czynnościach zapobiegawczych oraz eliminowaniu powstawania zanieczyszczeń u źródła. W ramach współpracy międzynarodowej ogłaszane są programy działań na rzecz środowiska naturalnego oraz strategie horyzontalne, a szereg działań poddawanych jest ocenie. Unijne prawo obejmuje kilkaset dyrektyw, rozporządzeń oraz decyzji [67].

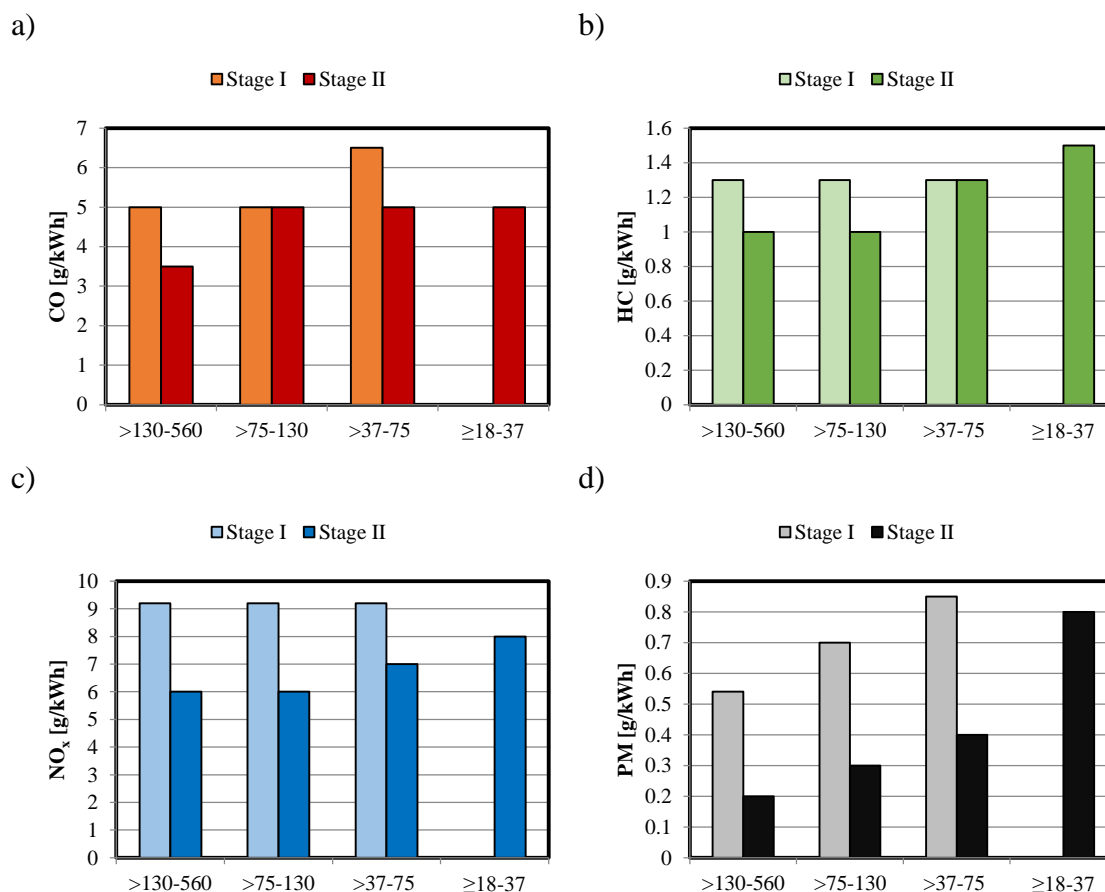
Przepisy dotyczące dopuszczalnej emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych o zastosowaniach pozadrogowych, do których należą także pojazdy szynowe, uregulowano w normach Stage I–V. Do oceny zastosowanych silników w spalinowych pojazdach trakcyjnych stosuje się także limity ujęte w raporcie ORE B13 Rp22 oraz kartach UIC.

Normy emisji Stage I–IV określono w dyrektywie 97/68/WF oraz jej poprawkach wprowadzanych w okresie 2002–2012, natomiast rozporządzenie 2016/1628 dotyczy przepisów ujętych w normie Stage V.

Stage I/II

Normę emisji zanieczyszczeń Stage I wprowadzono w 1999 roku dla wszystkich nowo zarejestrowanych pojazdów. Ograniczenia nie dotyczyły silników lokomotyw, okrętowych oraz lotniczych. Wyróżniono trzy kategorie, tj.: silniki o mocach w przedziałach: $130 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$ (kategoria A), $75 \text{ kW} \leq P < 130 \text{ kW}$ (kategoria B), $37 \text{ kW} \leq P < 75 \text{ kW}$ (kategoria C).

Limity emisji ujęte w normie Stage II wprowadzono w okresie 2001–2004. Dodano kolejną kategorię silników: $18 \text{ kW} \leq P < 37 \text{ kW}$ (kategoria D). Dla silników o największej mocy zmniejszono dopuszczalną wartość wszystkich substancji szkodliwych. W największym stopniu ograniczono limit emisji cząstek stałych (rys. 4.2). Norma Stage II określa największe limity emisji substancji szkodliwych dla silników o najmniejszej mocy.



Rys. 4.2. Limity emisji zanieczyszczeń a) CO, b) HC, c) NO_x, d) PM dla pojazdów NRMM silnikiem ZS ujęte w normach Stage I/II [9]

Stage III/IV

Normy emisji Stage III podzielono na: IIIA oraz IIIB. Przepisy dotyczące pojazdów o zastosowaniach pozadrogowych wprowadzono w kwietniu 2004 roku, natomiast w przypadku ciągników i maszyn rolniczych oraz leśnych dokument przyjęto w lutym 2005 roku. W 2010 roku na mocy dyrektywy 2010/26/EU określono szczegóły techniczne dotyczące badań i homologacji dla normy Stage IIIB oraz Stage IV [9].

Limity emisji wprowadzone w normie Stage III są pierwszymi, które odnoszą się także do silników wykorzystywanych w pojazdach szynowych oraz silników okrętowych. W przypadku silników o zastosowaniach pozadrogowych innych niż silniki trakcyjne oraz okrętowe wyróżnia się cztery kategorie w zależności od mocy:

- Stage IIIA: $130 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$ (kategoria H), $75 \text{ kW} \leq P < 130 \text{ kW}$ (kategoria I), $37 \text{ kW} \leq P < 75 \text{ kW}$ (kategoria J), $19 \text{ kW} \leq P < 37 \text{ kW}$ (kategoria K);

• Stage IIIB: $130 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$ (kategoria L), $75 \text{ kW} \leq P < 130 \text{ kW}$ (kategoria M), $56 \text{ kW} \leq P < 75 \text{ kW}$ (kategoria N), $37 \text{ kW} \leq P < 56 \text{ kW}$ (kategoria P) (tabl. 4.1).

W normie Stage IIIA ujęto wartości emisji tlenków węgla, cząstek stałych oraz sumy węglowodorów i tlenków azotu. W regulacji Stage IIIB opisano wartości każdego ze związków osobno. Wyjątek stanowią silniki o mocy $\geq 37\text{--}56 \text{ kW}$, występuje tu suma węglowodorów i tlenków azotu wynosząca $4,7 \text{ g/kWh}$. Na mocy normy Stage IIIB wprowadzono restrykcyjny limit cząstek stałych o wartości $0,025 \text{ g/kWh}$ obowiązujący we wszystkich kategoriach.

Przepisy ujęte w normie Stage IV odnoszą się do dwóch kategorii silników, tj.: $130 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$ (kategoria Q), $56 \text{ kW} \leq P < 130 \text{ kW}$ (kategoria R). W dokumencie określono znacznie ograniczone limity emisji NO_x , co wymusiło na producentach stosowanie pozasilnikowych układów oczyszczania spalin, np. system selektywnej redukcji katalitycznej (tabl. 4.2).

Tablica 4.1. Limity emisji związków toksycznych ujęte w normie Stage IIIA/IIIB dla pojazdów NRMM z silnikiem ZS oraz daty ich wprowadzenia [9]

Kategoria	P	Data wprowadzenia		CO	HC	NO _x	HC+ NO _x	PM
	kW	NTA	ANR					
Stage IIIA								
H	$130 \leq P \leq 560$	31.12.2005	31.12.2006	3,5	–	–	4,0	0,2
I	$75 \leq P < 130$	31.12.2006	31.12.2007	5,0	–	–	4,0	0,3
J	$37 \leq P < 75$	31.12.2005	31.12.2006	5,0	–	–	4,7	0,4
K	$19 \leq P < 37$	30.06.2005	31.12.2005	5,5	–	–	7,5	0,6
Stage IIIB								
L	$130 \leq P \leq 560$	31.12.2011	31.12.2012	3,5	0,19	2,0	–	0,025
M	$75 \leq P < 130$	31.12.2010	31.12.2011	5,0	0,19	3,3	–	0,025
N	$56 \leq P < 75$	31.12.2010	31.12.2011	5,0	0,19	3,3	–	0,025
P	$37 \leq P < 56$	31.12.2009	31.12.2010	5,0	–	–	4,7	0,025

Tablica 4.2. Limity emisji związków toksycznych ujęte w normie Stage IV dla pojazdów NRMM z silnikiem ZS oraz daty ich wprowadzenia [9]

Kategoria	P	Data wprowadzenia		CO	HC	NO _x	PM
	kW	NTA	ANR				
Q	$130 \leq P \leq 560$	30.09.2013	30.09.2014	3,5	0,19	0,4	0,025
R	$56 \leq P < 130$	31.12.2012	31.12.2013	5,0	0,19	0,4	0,025

NTA – homologacje nowego typu – *new type approvals*
ANR – wszystkie nowe rejestracje pojazdów – *all new registrations*

Normy Stage IIIA oraz Stage IIIB mają zastosowanie w silnikach trakcji szynowej o mocy powyżej 130 kW . Limity emisji zanieczyszczeń ujęte w Stage IIIA podzielono na trzy kategorie, tj.: $P < 130 \text{ kW}$ (kategoria RC A), $130 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$ (kategoria RL A), $P > 560 \text{ kW}$ (kategoria RH A) – tabl. 4.3. W kategorii RC A oraz RL A określono dopuszczalne wartości tlenków węgla, sumy węglowodorów i tlenków azotu oraz cząstek stałych, natomiast w kategorii RH A wyodrębniono limity węglowodorów oraz tlenków azotu. We wszystkich przedziałach mocy wartości tlenków węgla i cząstek stałych są tożsame. Wynoszą odpowiednio $3,5 \text{ g/kWh}$ oraz $0,2 \text{ g/kWh}$.

Przepisy zawarte w normie Stage IIIB określają silniki trakcyjne o mocy powyżej 130 kW w dwóch kategoriach, tj.: kategoria R B oznaczająca silniki lokomotyw oraz kategoria RC B dotycząca wagonów silnikowych. Istotną zmianą w odniesieniu do normy Stage IIIA jest znaczne zmniejszenie limitów emisji cząstek stałych do $0,025 \text{ g/kWh}$. Dopuszczalna wartość tlenku węgla pozostała niezmienną.

Tablica 4.3. Limity emisji związków toksycznych ujęte w normach Stage IIIA/IIIB dla silników trakcyjnych [9]

Kategoria	P	CO	HC	NO _x	HC+ NO _x	PM
	kW	g/kWh				
Stage IIIA						
RC A	P > 130	3,5	–	–	4,0	0,2
RL A	130 ≤ P < 560	3,5	–	–	4,0	0,2
RH A	P > 560	3,5	0,5 ¹	6,0 ¹	–	0,2
Stage IIIB						
RC B	P > 130	3,5	0,19	2,0	–	0,025
R B	P > 130	3,5	–	–	4,0	0,025

¹ HC = 0,4 g/kWh i NO_x = 7,4 g/kWh dla silników P > 2000 kW i D > 5 dm³/cycl.

Zgodnie z normami Stage I–III A obowiązującym testem jest NRSC (*Non-Road Stationary Cycle*), wcześniej określany jako ISO 8178. Do pomiaru emisji z silników trakcji szynowej wykorzystuje się procedurę zgodną z ISO 8178-F (rys. 4.3a), która obejmuje trzy punkty pomiarowe, tj.: bieg jałowy (60% udziału dla prędkości obrotowej biegu jałowego, bez obciążenia), bieg pośredni (15% udziału dla prędkości pośrednich, 50% obciążenia) oraz bieg maksymalny (25% udziału dla prędkości maksymalnych, 100% obciążenia), natomiast badania wagonów silnikowych wykonywane są na podstawie testu ISO 8178-C1 składającego się z ośmiu punktów pomiarowych [69]. W przypadku przepisów ujętych w normach Stage IIIB oraz Stage IV (oraz nieobligatoryjnie w Stage IIIA) konieczne jest przeprowadzenie dodatkowego testu NRTC (*Non-Road Transient Cycle*) (rys. 4.3b), w którym prędkość obrotowa wału korbowego określana jest na podstawie zależności:

$$n = \frac{\%n_{\text{nor}}(n_{\text{ref}} - n_{\text{jał}})}{100} + n_{\text{jał}} \quad (4.1)$$

gdzie: n_{nor} – znormalizowana prędkość obrotowa, $n_{\text{jał}}$ – prędkość biegu jałowego, n_{ref} – prędkość odniesienia określana na podstawie

$$n_{\text{ref}} = n_{50} + 0,95(n_{70} - n_{50}) \quad (4.2)$$

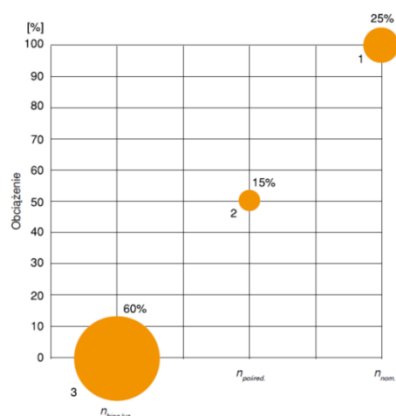
gdzie: n_{50} – minimalna prędkość obrotowa, przy której silnik osiąga 50% mocy znamionowej, n_{70} – maksymalna prędkość obrotowa, przy której silnik osiąga 70% mocy znamionowej.

Moment obrotowy wyznaczany jest na podstawie zależności:

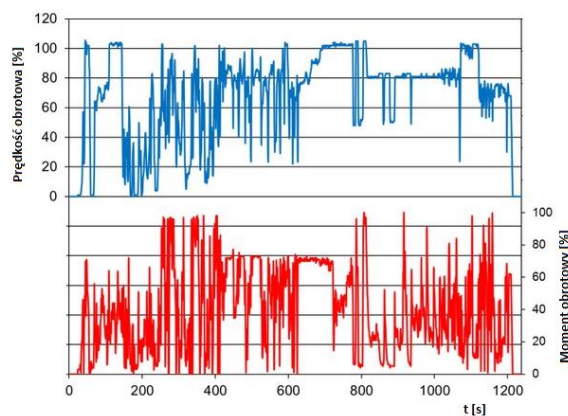
$$M_o = \frac{\%M_{o \text{ nor}} \cdot M_{o \text{ max}}}{100} \quad (4.3)$$

gdzie: $M_{o \text{ nor}}$ – znormalizowany moment obrotowy, $M_{o \text{ max}}$ – maksymalny moment obrotowy.

a)



b)



Rys. 4.3. Testy badawcze: a) PN-EN ISO 8178-F [57], b) NRTC [59]

Stage V

We wrześniu 2016 roku Parlament Unii Europejskiej przyjął rozporządzenie 2016/1628 określające nowy standard emisji zanieczyszczeń – Stage V. W normie wyróżnia się dziesięć kategorii silników (tabl. 4.4).

Tablica 4.4. Kategorie silników zapisane w normie Stage V [38]

Kategoria	Rodzaj	Wyjaśnienie
NRE	Inne maszyny typu NRMM	Silniki maszyn typu NRMM nieujęte w kategoriach 2–10. Silniki o mocy poniżej 560 kW stosowane zamiast silników z kategorii IWP, RLL, RLR
NRG	Zespoły prądotwórcze	Silniki o mocy powyżej 560 kW używane wyłącznie w zespołach prądotwórczych
NRSh	Maszyny z silnikami ZI	Silniki o zapłonie iskrowym (ZI) poniżej 19 kW używane wyłącznie w maszynach ręcznych
NRS		Silniki o mocy poniżej 56 kW nieujęte w kategorii NRSh
IWP	Statki żeglugi śródlądowej	Silniki o mocy 37 kW lub równej 37 kW używane do napędzania wyłącznie na statkach żeglugi śródlądowej
IWA		Silniki o mocy powyżej 560 kW używane wyłącznie na statkach żeglugi śródlądowej
RLL	Trakcja szynowa	Silniki używane wyłącznie w lokomotywach
RLR		Silniki używane wyłącznie w wagonach silnikowych
SMB	Skutery śnieżne	Silniki o zapłonie iskrowym używane wyłącznie w skuterach śnieżnych
ATS	ATV i SbS	Silniki ZI stosowane wyłącznie w pojazdach typu ATV i side-by-side

Dokument określa rygorystyczne limity emisji cząstek stałych oraz wprowadza dopuszczalne wartości liczby cząstek stałych (PN). Silniki pomocnicze w pojazdach szynowych (lokomotywach i wagonach silnikowych) zaliczane są do kategorii NRE lub NRS. Dla silników o mocy w przedziale od 19 kW do 560 kW limit masy cząstek stałych ograniczono do 0,015 g/kWh (tabl. 4.5). Wartość graniczną liczby cząstek stałych określono jako 1×10^{12} /kWh. Porównując normę Stage I i Stage V dla silników w przedziale mocy $130 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$ limit emisji cząstek stałych ograniczono o ponad 97%, natomiast wartość węglowodorów i tlenków azotu uległa zmniejszeniu odpowiednio o 85% oraz 96%.

Tablica 4.5. Limity emisji zanieczyszczeń dla silników maszyn nieporuszających się po drogach kategorii NRE zaproponowane w Stage V [38]

Kategoria	P kW	Typ zapłonu	CO	HC		NO _x	PM	PN #/kWh
				g/kWh				
NRE-v-1	0 < P < 8	ZS	8,0	HC + NO _x ≤ 7,5		0,40	–	
NRE-c-1								
NRE-v-2	8 ≤ P < 19	ZS	6,6	HC + NO _x ≤ 7,5		0,40	–	
NRE-c-2								
NRE-v-3	19 ≤ P < 37	ZS	5,0	HC + NO _x ≤ 4,7		0,015	1 × 10 ¹²	
NRE-c-3								
NRE-v-4	37 ≤ P < 56	ZS	5,0	HC + NO _x ≤ 4,7		0,015	1 × 10 ¹²	
NRE-c-4								
NRE-v-5	56 ≤ P < 130	ZS, ZI	5,0	0,19	0,4	0,015	1 × 10 ¹²	
NRE-c-5								
NRE-v-6	130 ≤ P ≤ 560	ZS, ZI	3,5	0,19	0,4	0,015	1 × 10 ¹²	
NRE-c-6								
NRE-v-7	P > 560	ZS, ZI	3,5	0,19	3,5	0,045	–	
NRE-c-7								

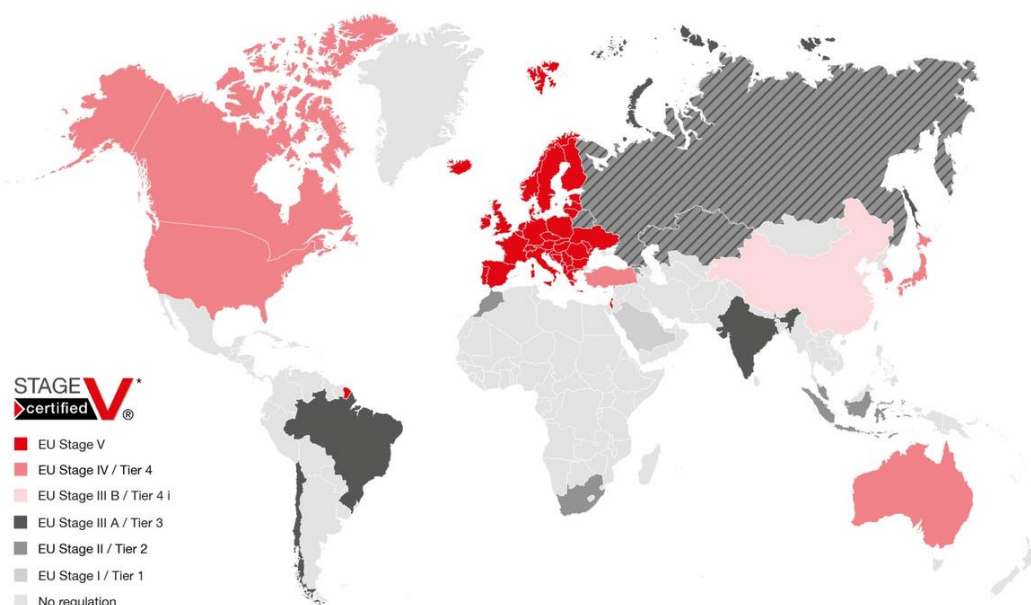
W przypadku silników stosowanych do napędzania pojazdów szynowych w normie Stage V wyodrębniono dwie kategorie w zależności od typu pojazdu, tj.: kategoria RLL (lokomotywy) oraz kategoria RLR (wagony silnikowe) (tabl. 4.6). Nie obowiązuje podział z uwagi na moc silnika, a także typ zapłonu. Dla lokomotyw zwiększony jest limit cząstek stałych o 0,01 g/kWh, natomiast nie określono dopuszczalnej ich liczby. Biorąc pod uwagę wagony silnikowe, liczba cząstek stałych nie może przekroczyć 1×10^{12} /kWh. Dopuszczalne wartości tlenków węgla są tożsame dla obu kategorii.

Norma Stage V wprowadzana jest stopniowo w zależności od kategorii. Dla silników trakcji szynowej terminem wprowadzenia przepisów był początek 2021 roku [38]. Norma Stage V obowiązuje w wybranych regionach świata. Ich analizę przedstawiono na rys. 4.4.

Tablica 4.6. Limity emisji zanieczyszczeń zaproponowane w normie Stage V dla silników trakcji szynowej [9]

Kategoria	Typ zapłonu	CO	HC ¹	NO _x	PM	PN
		g/kWh				
RLL	ZS/ZI	3,5	4,0 ²		0,025	–
RLR	ZS/ZI	3,5	0,19	2,0	0,015	1×10^{12}

¹ 6.00 dla silników zasilanych gazem, ² HC + NO_x



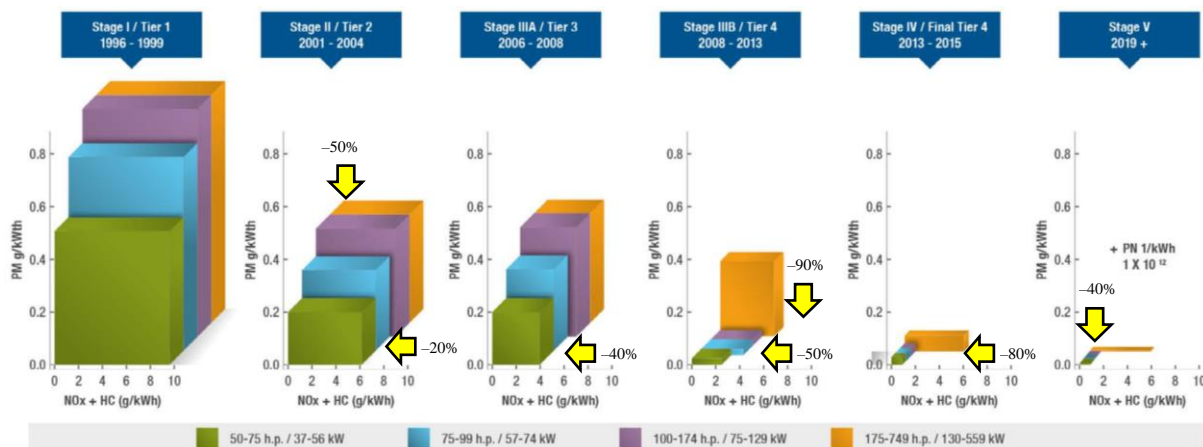
Rys. 4.4. Zasięg obowiązywania limitów normy Stage V w wybranych obszarach świata [44]

Według szacunków Komisji Europejskiej wszystkie pozadrogowe silniki spalinowe przyczyniają się emisji około 15% tlenków azotu oraz 5% cząstek stałych do atmosfery w Europie.

Norma Stage IIIB wprowadziła limit PM wynoszący 0,025 g/kWh i chociaż miała na celu wprowadzenie filtrów cząstek stałych do silników o zapłonie samoczynnym, to większość producentów osiągnęła limit PM bez filtrów. Ograniczenie NO_x do 0,4 g/kWh dla normy Stage IV spowodowała szerokie zastosowanie układów redukcji tlenków azotu (zazwyczaj selektywnej redukcji katalitycznej mocznikowej – SCR) w silnikach objętych tym zakresem.

Najnowsza norma Stage V narzuca nowe wyzwania związane z układem oczyszczania spalin, przy czym większość z nich wymaga, aby sprzęt zawierał kombinację reaktora utleniającego (DOC), filtra DPF i reaktora SCR. W porównaniu z normą Stage IV, zgodność z normą emisji Stage V jest prawie niemożliwa do osiągnięcia bez użycia filtra DPF.

Stage V to najnowsza i rygorystyczna norma emisji dla silników wysokoprężnych przewyższająca nawet amerykańskie normy Tier 4 Final. Stage V (lub tzw. etap V) po raz pierwszy wprowadza limity liczby cząstek stałych (PN), limity tlenu węgla (CO), węglowodorów (HC), PM i NO_x w znacznie szerszym zakresie mocy znamionowej silnika kW. Limity PM są teraz o 40% niższe w porównaniu z normą Stage IV dla silników o mocy od 56 do 560 kW (rys. 4.5).



Rys. 4.5. Zestawienie limitów emisji spalin w poszczególnych normach Stage I–Stage V [7]

Karta UIC

Karty UIC 623-2 oraz UIC 624 są zobowiązaniami dotyczącymi wszystkich kolei skupionych w Międzynarodowym Związku Kolejowym. W 2001 roku wprowadzono pierwsze przepisy dotyczące nowo wyprodukowanych silników. Limity emisji zanieczyszczeń nie miały zastosowania w przypadku lokomotyw specjalnych oraz silników trakcyjnych o mocy poniżej 100 kW. Od 2003 roku (UIC II) wprowadzono podział na silniki o mocy do 560 kW oraz o mocy powyżej 560 kW. Dopuszczalne wartości zawarte w UIC I dotyczyły tlenu węgla, tlenków azotu, węglowodorów oraz cząstek stałych. Dodatkowo obowiązywał pomiar zadyymienia spalin. Od 2008 roku obowiązują regulacje, w których ujęto mniejsze wartości emisji zanieczyszczeń. Limit określony dla tlenu węgla ograniczono z 3 g/kWh (UIC I) do 2 g/kWh. Dopuszczalna emisja tlenków azotu uległa zmniejszeniu o ponad połowę, tj. z 12 g/kWh do 4,6 g/kWh w przypadku silników o mocy do 560 kW lub 6 g/kWh dla silników o mocy powyżej 560 kW. Wartości węglowodorów zmniejszono z 0,8 g/kWh do 0,5 g/kWh. W UIC II 2008 ograniczono również limity dotyczące cząstek stałych (tabl. 4.7) [69]. Obowiązuje test badawczy PN-EN ISO 8178 cykl F. W przypadku silników przeznaczonych do lekkich pojazdów szynowych wykorzystywany jest cykl C1[69].

Tablica 4.7. Limity emisji zanieczyszczeń według kart UIC 623-2 oraz UIC 624 [69]

Data wprowadzenia (obowiązująca)	CO	NO _x	HC	PM
	g/kWh			
Do 31.12.2002	3,0	12,0	0,8	1,6 (2,5) ¹
Od 01.01.2003				
dla P ≤ 560 kW	2,5	6,0	0,6	0,25
dla P > 560 kW	3,0	9,5 ² /9,9 ³	0,8	0,25
Od 01.01.2008				
dla P ≤ 560 kW	2,0	4,6	0,5	0,15
dla P > 560 kW	2,0	6,0	0,5	0,20

¹ Obowiązywał pomiar zadyymienia spalin
² n > 1000 obr/min
³ n ≤ 1000 obr/min

4.2. Emisja hałasu

Redukcja emitowanego przez pojazdy hałasu staje się coraz większym wyzwaniem, gdyż sukcesywnie wzrasta liczba pojazdów, w efekcie czego zmienia się także natężenie ruchu. Stanowi to istotny problem w dużych aglomeracjach miejskich, w których odległość od źródła emisji jest stosunkowo niewielka, co znacząco pogarsza jakość życia mieszkańców i naraża ich na negatywne konsekwencje zdrowotne [4]. Zwiększenie przez społeczeństwo świadomości niekorzystnych skutków długotrwałej ekspozycji na hałas, a w konsekwencji presja wywierana na producentów oraz zarządców infrastruktury, wymusiło podjęcie działań na rzecz jego ograniczenia. Przykład stanowi m.in. modernizacja układów hamulcowych pojazdów szynowych lub ich całkowita wymiana na nowe [115].

Pojazdy nie tylko emitują hałas do środowiska, ale także wpływają na osoby korzystające z określonego środka transportu. Na szkodliwe działanie hałasu narażeni są zarówno podróżni, jak i kierujący pojazdem. Z tego względu wprowadzane są przepisy mające na celu wyznaczenie dopuszczalnych limitów hałasu podczas określonych warunków i dla określonych typów pojazdów. Polska, jako kraj będący członkiem Unii Europejskiej, zobligowana jest do spełnienia wymogów zawartych w Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności (*Technical Specifications for Interoperability*) [100]. Obowiązują także przepisy zawarte m.in. w:

- PN-EN ISO 3095 – Kolejnictwo. Akustyka. Pomiary hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe,
- PN-EN ISO 3381 – Kolejnictwo. Akustyka. Pomiary hałasu wewnątrz pojazdów szynowych,
- PN-EN 15892 – Kolejnictwo. Emisja hałasu. Pomiar hałasu wewnątrz kabiny maszynisty,
- PN-K-11000:1992 – Tabor kolejowy. Hałas. Ogólne wymagania i badania,
- Liście Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwi spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei wraz z załącznikami.

W 2019 roku weszły w życie nowe rozporządzenia wykonawcze Unii Europejskiej zmieniające dotychczas obowiązujące przepisy TSI, tj.:

- Rozporządzenie 2019/774 zmieniające rozporządzenie (UE) nr 1304/2014 poprzez rozszerzenia stosowania TSI dla podsystemu „Tabor kolejowy – hałas” w odniesieniu do istniejących wagonów towarowych,
- Rozporządzenie 2019/776 zmieniające brzmienie pozostałych TSI strukturalnych.

W dokumencie wskazano parametry mające znaczenie jako kluczowe dla interoperacyjności [100], takie jak:

- hałas stacjonarny,
- hałas ruszania,
- hałas przejazdu,
- hałas wewnątrz kabiny maszynisty.

Do każdego rodzaju hałasu przyporządkowano określone limity dla poszczególnych poziomów dźwięku. Dopuszczalne wartości wyznaczone są w odległości 7,5 m od osi toru i 1,2 m ponad niweletą główki szyny. Wyróżnia się następujące poziomy dźwięku [100]:

- równoważny ciągły poziom dźwięku A jednostki ($L_p A_{eq,T}$ [jedn.]),
- równoważny ciągły poziom dźwięku A w najbliższej pozycji pomiarowej „i”, z uwzględnieniem głównej sprężarki powietrznej ($L_p^i A_{eq,T}$),
- poziom dźwięku z korekcją typu A i stałą czasową F w najbliższej pozycji pomiarowej „i”, z uwzględnieniem hałasu impulsowego emitowanego przez zawór wylotowy suszarki powietrza ($L_p^i A F_{max}$).

W przypadku hałasu stacjonarnego limity określono dla lokomotyw elektrycznych/spalinowych i maszyn torowych z napędem elektrycznym/spalinowym, elektrycznych i spalinowych zespołów trakcyjnych, wagonów osobowych i towarowych. Dopuszczalne poziomy równoważnego ciągłego dźwięku A jednostki znajdują się w zakresie od 64 dB dla wagonów osobowych do 72 dB dla spalinowych zespołów trakcyjnych. Akceptowalny przedział wartości równoważnego ciągłego poziomu dźwięku A w najbliższej pozycji pomiarowej wynosi od 68 dB do 78 dB (tabl. 4.8) [100].

Tablica 4.8. Dopuszczalne wartości hałasu stacjonarnego wg TSI [100]

Kategoria podsystemu	$L_{pA_{eq,T}}$ [jedn.]	$L_{i pA_{eq,T}}$	$L_{i pAF_{max}}$
	[dB]		
Lokomotywy elektryczne i maszyny torowe z napędem elektrycznym	70	75	85
Lokomotywy spalinowe i maszyny torowe z napędem wysokoprężnym	71	78	
Elektryczne zespoły trakcyjne	65	68	
Spalinowe zespoły trakcyjne	72	76	
Wagony osobowe	64	68	
Wagony towarowe	65	nd.	nd.

Limity poziomu dźwięku dla hałasu ruszania podzielono na dziesięć kategorii dotyczących lokomotyw, zespołów trakcyjnych oraz maszyn torowych. Określana jest tylko wartość $L_{i pAF_{max}}$, która znajduje się w przedziale od 80 dB dla elektrycznych zespołów trakcyjnych osiągających prędkość maksymalną mniejszą niż 250 km/h do 87 dB dla maszyn torowych z napędem wysokoprężnym oraz lokomotyw spalinowych o mocy większej lub równej 2000 kW na wale (tabl. 4.9) [100].

Tablica 4.9. Dopuszczalne wartości hałasu ruszania wg TSI [100]

Kategoria podsystemu	$L_{i pAF_{max}}$ [dB]
Lokomotywy elektryczne o mocy < 4500 kW	81
Lokomotywy elektryczne o mocy \geq 4500 kW	84
Maszyny torowe z napędem elektrycznym	84
Maszyny torowe z napędem wysokoprężnym	87
Lokomotywy spalinowe o mocy < 2000 kW na wale	85
Lokomotywy spalinowe o mocy \geq 2000 kW na wale	87
Elektryczne zespoły trakcyjne o prędkości maksymalnej < 250 km/h	80
Elektryczne zespoły trakcyjne o prędkości \geq 250 km/h	83
Spalinowe zespoły trakcyjne o mocy < 560 kW/silnik na wale	82
Spalinowe zespoły trakcyjne o mocy \geq 560 kW/silnik na wale	83

Dopuszczalne wartości hałasu przejazdu wyznaczone są dla równoważnego ciągłego poziomu dźwięku A przy prędkości 80 km/h oraz 250 km/h. Podczas jazdy z prędkością 80 km/h limity określono w zakresie od 79 dB dla wagonów osobowych do 85 dB w przypadku lokomotyw spalinowych i maszyn torowych z napędem wysokoprężnym. Natomiast w czasie jazdy z prędkością 250 km/h poziom dźwięku A lokomotywy elektrycznej i maszyny torowej z napędem elektrycznym nie może przekroczyć 99 dB. Limity ustalone przy tej prędkości nie odnoszą się do lokomotyw spalinowych, maszyn torowych z napędem wysokoprężnym, wagonów osobowych oraz towarowych (tabl. 4.10) [100].

Oprócz hałasu na zewnątrz pojazdu istotny jest poziom dźwięku w jego wnętrzu. W kabinie maszynisty wartości hałasu określa się dla lokomotyw, maszyn torowych, spalinowych i elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz wagonów pasażerskich wyposażonych w kabinę. Najwyższa dopuszczalna wartość (95 dB) dozwolona jest podczas postoju z sygnałem dźwię-

kowym, natomiast przy prędkości maksymalnej mniejszej niż 250 km/h graniczny limit stanowi 78 dB (tabl. 4.11) [100].

Tablica 4.10. Dopuszczalne wartości hałasu przejazdu wg TSI [100]

Kategoria podsystemu	$L_p A_{eq, T_p}$ (80 km/h)	$L_p A_{eq, T_p}$ (250 km/h)
	[dB]	
Lokomotywy elektryczne i maszyny torowe z napędem elektrycznym	84	99
Lokomotywy spalinowe i maszyny torowe z napędem wysokoprężnym	85	nd.
Elektryczne zespoły trakcyjne	80	95
Spalinowe zespoły trakcyjne	81	96
Wagony osobowe	79	nd.
Wagony towarowe	83	nd.

Tablica 4.11. Dopuszczalne wartości hałasu w kabinie maszynisty wg TSI [100]

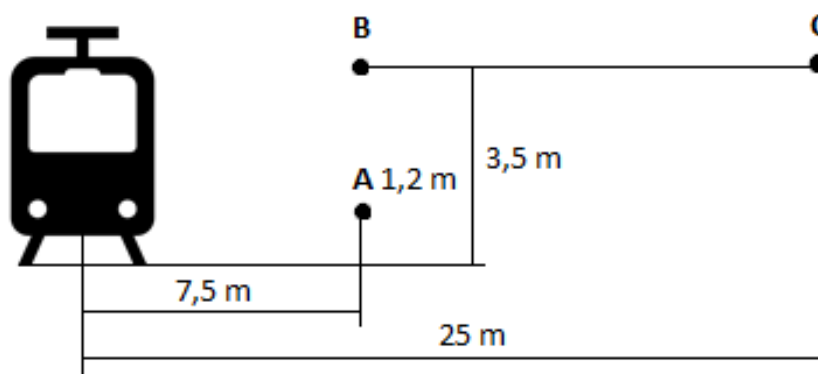
Hałas w kabinie maszynisty	$L_p A_{eq, T}$ [dB]
Podczas postoju z sygnałem dźwiękowym	95
Przy prędkości maksymalnej, jeśli prędkość maksymalna < 250 km/h	78
Przy prędkości maksymalnej, jeśli prędkość maksymalna jest \geq 250 km/h i < 350 km/h	80

W Polsce obowiązujące są także inne dokumenty normatywne. Norma PN-EN ISO 3095 zawiera metody pomiarowe oraz warunki, które umożliwiają pomiar hałasu zewnętrznego powodowanego przez pojazdy szynowe. W dokumencie wyróżnione są [78]:

- badania stacjonarne,
- próby przy stałej prędkości,
- próba przyspieszenia,
- próba hamowania.

W trakcie badania stacjonarnego jednostka musi być unieruchomiona. Wymagane jest, aby stanowisko pomiarowe było w odległości 7,5 m od osi toru na wysokości 1,2 m ponad górną powierzchnią szyny. Określoną podstawową wielkością mierzoną jest $L_p A_{eq, T}$ ($T = 20$ s) [78].

Próby przy stałej prędkości pojazdu muszą odbywać się z włączonym wyposażeniem pomocniczym przy normalnym obciążeniu odzwierciedlającym pracę przy zewnętrznej temperaturze 20°C. Gdy pomiar odnosi się do lokomotyw obciążenie ciągnięte powinno być większe niż dwie trzecie maksymalnego dopuszczalnego obciążenia. Analogicznie jak podczas pomiaru stacjonarnego, określono odległość stanowiska wynoszącą 7,5 m od osi toru na wysokości 1,2 m nad górną powierzchnią szyny (rys. 4.5). W przypadku prędkości większej lub równej 200 km/h można przeprowadzić pomiar w odległości 25 metrów od osi toru na wysokości 3,5 m.



Rys. 4.5. Pozycje mikrofonów (A,B,C) przy pomiarze przy stałej prędkości (opr. własne na podst. [78])

Do podstawowych wielkości należą: poziom dźwięku $L_p A_{eq, T_p}$, prędkość pojazdu v oraz czas przejazdu T_p . Pomiar dla jednostki rozwijającej prędkość poniżej 80 km/h powinien odbywać się przy prędkości maksymalnej, natomiast dla jednostek o $v_{max} > 80$ km/h przy prędkości maksymalnej oraz 80 km/h. Jeśli dodatkowo jest wymagane rozszerzenie badań, norma zaleca pomiar przy prędkościach w zakresie od 20 km/h do 350 km/h (próba co 20 km/h) [78].

Dokument dla próby przyspieszania wyróżnia dwie metody, tj. metoda maksymalnego oraz średniego poziomu. Wówczas oznaczane jest odpowiednio $L_p A_{AF}$ i $L_p A_{eq, T}$. Zakłada się ciągłe przyspieszanie od 0 km/h do 40 km/h. Natomiast przy próbie hamowania wyznaczane jest $L_p A_{AF}$ przy hamowaniu od 30 km/h do postoju [78].

Przepisy ujęte w normie PN-EN ISO 3381 dotyczą metodyki pomiarowej oraz warunków umożliwiających pomiar hałasu we wnętrzu pojazdu, tj. części pasażerskiej oraz kabinie maszynisty. Podobnie jak w normie PN-EN ISO 3095 wyróżnia się: badania na pojazdach stacjonarnych, hamujących, przyspieszających oraz poruszających się ze stałą prędkością. Umieszczenie aparatury badawczej zależy od lokalizacji w pojeździe. Punkty pomiarowe dla wyszczególnionych pozycji przedstawiono w tabl. 4.12 [79].

Tablica 4.12. Punkty pomiarowe dla określonych pozycji wg normy PN-EN ISO 3381 (opr. własne na podst.[79])

Rodzaj pozycji	Punkty pomiarowe
Siedzące	w przedziale zamkniętym w środku na wysokości 1,2 m od podłogi w przedziale otwartym w osi symetrii i w środku między rzędami siedzeń na wysokości 1,2 m od podłogi
Stojące	w środku obszaru dostępnego jako miejsca stojące na wysokości 1,6 m od podłogi
Robocze	w środku przedziału na wysokości 1,6 m od podłogi w odległości 0,1 m oraz na poziomie ucha maszynisty lub innej osoby zajmującej miejsce w kabinie
Leżące	powyżej 0,2 m od poduszki w wagonie sypialnianym

Pomiary przy stałej prędkości należy wykonywać w przedziale czasu $T = 20$ s. Preferowany zakres prędkości wynosi od 20 km/h do 350 km/h (próba co 20 km/h). Badania przy przyspieszaniu powinny odbywać się od prędkości 0 km/h do 30 km/h, a w przypadku hamowania od 30 km/h do całkowitego zatrzymania [79].

Normą odnoszącą się wyłącznie do hałasu w kabinie maszynisty jest PN-EN 15892, która opisuje wymagania w czasie jazdy z maksymalną prędkością oraz postoju z sygnałem akustycznym. Praca urządzeń pomocniczych, np. systemu klimatyzacji, nie powinna być zakłócana. Pomiar w trakcie postoju należy przeprowadzić w ośmiu punktach równomiernie rozłożonych w promieniu 25 cm od ucha maszynisty. Jeśli nie jest możliwe oszacowanie pozycji ucha należy przyjąć umowny punkt w pionowej odległości 0,8 m ($\pm 0,05$ m) od powierzchni siedzenia. Jazda z maksymalną prędkością powinna odbywać się w normalnych warunkach eksploatacji, a punkt pomiarowy określony jest przy uchu maszynisty w środku płaszczyzny rozciągającej się od tylnej ściany kabiny do szyby [77].

Załącznik TM-2 do Listy Prezesa UTK, o której mowa w art. 25d ust. 1 ustawy z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym, określa m.in. dopuszczalne wartości poziomu hałasu. Badania hałasu przejazdu należy wykonywać zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-EN 3095 (pkt 6), natomiast hałasu ruszania oraz stacjonarnego odpowiednio w oparciu o pkt 7 i pkt 5. Dopuszczalne wartości dla hałasu przejazdu oraz ruszania ujęto w tabl. 4.13 i 4.14. Hałas stacjonarny w poszczególnych punktach, wg załącznika TM-2, dla wartości równoważnego poziomu dźwięku $L A_{eq, T}$ nie powinien przekraczać 80 dB [54].

Dokument określa również akceptowalny hałas w kabinie maszynisty w zakresie prędkości od 0 km/h do 250 km/h. Metodykę pomiarową należy przeprowadzić zgodnie z PN-EN ISO 3381, a wartość równoważnego poziomu dźwięku nie może przekraczać 78 dB. Norma ta opisuje również wymagania dotyczące badań we wnętrzu pojazdu szynowego. Wyszczegół-

nione w załączniku TM-2 limity dopuszczalnych wartości w określonych warunkach (ruchowe, stacjonarne) przedstawiono w tabl. 4.15 [54].

Tablica 4.13. Dopuszczalne wartości dla hałasu przejazdu według załącznika TM-2 do Listy Prezesa UTK [54]

Prędkość jazdy [km/h]	60	80	100	120	140	160	180	200
	Równoważny poziom dźwięku $L_p A_{eq,Tp}$ [dB]							
Pojazdy trakcyjne	84	87	90	93	95	96	98	99
Wagony pasażerskie	84	87	90	93	95	96	98	99

Tablica 4.14. Dopuszczalne wartości dla hałasu ruszania według załącznika TM-2 do Listy Prezesa UTK [54]

Łączna moc silników [kW]	Do 300	300–1000	Powyżej 1000
	Maksymalny poziom dźwięku $L_p AF_{max}$ [dB]		
Elektryczne pojazdy trakcyjne	82	86	90
Spalinowe pojazdy trakcyjne	87	91	95

Tablica 4.15. Dopuszczalne wartości hałasu we wnętrzu pojazdu szynowego w warunkach ruchowych oraz stacjonarnych według załącznika TM-2 do Listy Prezesa UTK (opr.własne na podst. [54])

Warunki ruchowe	
Rodzaj przestrzeni	Równoważny poziom dźwięku $LA_{eq,T}$ [dB]
Pasażerski tabor trakcyjny	70
Wagony osobowe do kursowania w ruchu podmiejskim i lokalnym	70
Przestrzeń pasażerska w wagonach 2 klasy oraz pomieszczenia służbowe	68
Przestrzeń pasażerska w wagonach 1 klasy	65
Warunki stacjonarne	
Pasażerski tabor trakcyjny	60
Przestrzeń pasażerska w wagonach 2 klasy	60
Przestrzeń pasażerska w wagonach 1 klasy; wagony sypialniane i restauracyjne	55

5. PROBLEMATYKA DYSERTACJI, JEJ CEL I ZAKRES

Współczesne zagadnienia dotyczące ochrony środowiska naturalnego wymuszają prowadzenie prac naukowych w zakresie eksploatacji szynowych pojazdów trakcyjnych. Ich modyfikacja i naprawy mogą nie być wystarczające w ogólnym rachunku ekonomicznym dotyczącym ich użytkowania. Bardzo duże, roczne przebiegi takich pojazdów szynowych powodują, że poszukuje się nowych, alternatywnych metod ograniczania emisji (zarówno spalin oraz hałasu) szczególnie w odniesieniu do rachunku ekonomicznego. Zakup jedynie najnowszych pojazdów szynowych spełniających normy Stage V w warunkach krajowych nie jest rozwiązaniem optymalnym (szczególnie ze względu na wysokie koszty takich działań). Bieżące prace prowadzące do ograniczenia eksploatacyjnej uciążliwości środowiskowej i ekonomicznej w krajowych rozwiązaniach kolejowych stanowią alternatywę do zakupu najnowszych technologicznie pojazdów szynowych.

Celem niniejszej pracy jest ocena możliwości ograniczenia niekorzystnych oddziaływań środowiskowych (dotyczących przede wszystkim emisji spalin oraz komfortu jazdy), a także analiza aspektów ekonomicznych w wybranych warunkach krajowego ruchu pojazdów szynowych.

Główny problem badawczy sformułowano więc następująco:

zastosowanie takich warunków eksploatacji pojazdów szynowych spełniających typowe limity emisji spalin, które przyniosą korzyści środowiskowe (w postaci ograniczenia emisji spalin i komfortu jazdy) oraz ekonomiczne na typowych krajowych liniach kolejowych.

Przedstawiony problem badawczy wymaga analizy i rozwiązania następujących zagadnień:

1. ocenę bieżącego stanu uciążliwości środowiskowej pojazdów szynowych; zagadnienie to dotyczy rozpoznania bieżącego stanu eksploatacyjnego krajowego taboru szynowego,
2. propozycję zmian w warunkach prowadzenia pojazdów szynowych; propozycja skupia się na szynobusach ze względu na dużą liczebność takich pojazdów szynowych, których uwarunkowania środowiskowe (spełniane obecnie normy emisji spalin) umożliwiają typową ich eksploatację,
3. ocenę stanu komfortu jazdy zarówno w odniesieniu do maszynisty oraz pasażerów; zagadnienie to wymaga wskazania korzystnych i niekorzystnych warunków podróżowania obu grup docelowych; ocena akustyczna kabiny oraz wagonów pasażerskich umożliwi końcową ocenę zagadnienia,
4. analizy warunków ekonomicznych w postaci szacowania kosztów i przychodów z uwzględnieniem różnych wariantów użytkowania takich pojazdów szynowych.

Powyższej przedstawiony problem badawczy oraz zagadnienia szczegółowe wymagają użycia różnorodnego aparatu badawczego. Strukturę pracy wyjaśniającą rozwiązanie problematyki badawczej przedstawiono na rys. 5.1.

Dział pracy	Zawartość merytoryczna	Rozdział
Wstęp i geneza pracy	Wprowadzenie oraz perspektywy rozwoju krajowego transportu szynowego	1, 2
	Oddziaływanie transportu szynowego na środowisko	3, 4
Cel	Problematyka badawcza i definiowanie celu oraz zakresu pracy	5
Metodyka badań	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Obiekty badawcze</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Aparatura pomiarowa</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Trasy badawcze</div> </div>	6
	Metody badań eksperymentalnych i symulacyjnych	
Badania eksperymentalne i symulacyjne	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Aspekty środowiskowe (badania eksperymentalne)</p> <ul style="list-style-type: none"> Badania emisji spalin i stylu jazdy (<i>standard, ekodriving</i>) <ul style="list-style-type: none"> Trasy eksploatacyjne (3x) Trasa kontrolna (1x) Badania drgań (<i>kabina maszynisty, przedział pasażerski</i>) <ul style="list-style-type: none"> Warunki postoju Warunki jazdy Badania akustyczne (<i>kabina maszynisty, przedział pasażerski</i>) <ul style="list-style-type: none"> Warunki postoju Warunki jazdy </div> <div style="width: 45%;"> <p>Aspekty ekonomiczne (badania symulacyjne)</p> <ul style="list-style-type: none"> Koszty wprowadzenia limitów emisji Efektywność ekonomiczna pojazdów szynowych </div> </div>	7, 8, 9, 10
	Wnioski określenie osiągnięcia naukowego rozprawy kierunki dalszych prac	
Podsumowanie		

Rys. 5.1. Struktura pracy prowadząca do rozwiązania problemu badawczego

6. ZAKRES I METODYKA BADAŃ

6.1. Badania emisji spalin w aspekcie stylu jazdy









Obiekty badań

Zgodnie z przedstawionymi powyżej zagadnieniami, wskazano obiekty badawcze, które umożliwią realizację celu pracy. Do badań emisji spalin w aspekcie sposobu jazdy wybrano przedstawicieli pojazdów szynowych, których charakterystykę przedstawiono w tabl. 6.1. Są to pojazdy, które spełniają normy emisji Stage II (SA108 II – silnik MAN D2866) oraz Stage III (SA108 III – silnik MAN D2876). Są to przedstawiciele najbardziej popularnych pojazdów szynowych (szynobusów) na liniach pasażerskich.

Badania przeprowadzono także na silnikowym zespole trakcyjnym (SZT) składającym się z dwuczłonowego pojazdu szynowego o masie około 89 ton. Badany pojazd określono jako szynobus LINK, przeznaczony do transportu pasażerskiego na krótkich i średnich dystansach. Zespół trakcyjny zasilany jest dwoma silnikami MTU 6H 1800 R84P o objętości skokowej 12,8 dm³ i mocy nominalnej 390 kW.

Badania tej grupy prowadzono także z użyciem lokomotywy elektrycznej z dojazdowym silnikiem spalinowym (Gama Marathon – w skrócie Gama). Właśnie ten silnik spalinowy wykorzystano do badań emisji spalin. Jest to silnik CAT C15 o mocy 403 kW.

Tablica 6.1. Charakterystyka obiektów badawczych

Badania emisji spalin				
Wielkość	SA108 II	SA108 III	LINK	Gama
Typ silnika	MAN D2866 LUH21	MAN D2876 LUE21	MTU 6H 1800 R84P	CAT C15 ACERT
Liczba cyl./układ	6/R poziomy	6/R podłogowy	6/poziomy	6
Moc użyteczna	257 kW (350 KM)/ 2000 obr/min	257 kW (350 KM)/ 2000 obr/min	390 kW (523 KM)/ 1800 obr/min	403 kW (540 KM)/ 2100 obr/min
Moment obrotowy	1500 N·m/ 1000-1500 obr/min	1500 N·m/ 1000-1500 obr/min	2150 Nm/ 1300 obr/min	2648 Nm/ 1400 obr/min
Objętość skokowa	11,96 dm ³	12,816 dm ³	12,8 dm ³	15,2 dm ³
Średnica tłoka	128 mm	128 mm	128 mm	137 mm
Skok tłoka	155 mm	166 mm	166 mm	171 mm
Norma emisji spalin	Stage II	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IIIA
Pojazd szynowy				
Silnik spalinowy				

Metodyka pomiarowa

Zgodnie z tematyką rozprawy, zastosowanie krajowych pojazdów kolejowych rozpatruje się w aspektach środowiskowych i ekonomicznych. Aspekty środowiskowe dotyczą możliwości ograniczenia emisji spalin przez pojazdy kolejowe, w odniesieniu do określonego stylu jazdy maszynisty.

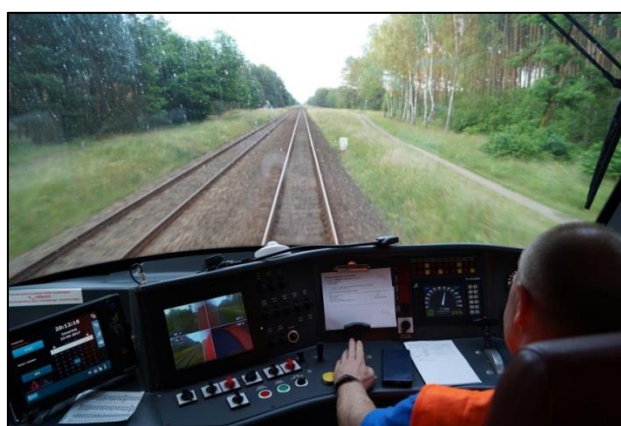
W związku z powyższym metodykę badań podzielono na kilka grup, z których w badaniach emisji spalin wyróżniono:

- a) przejazdy standardowe,
- b) przejazdy z wykorzystaniem tzw. ekodrivingu.

Styl jazdy oznaczony jako standardowy oznacza taki, który charakteryzował się tym, że maszynista starał się przyspieszyć i osiągnąć maksymalną ustaloną prędkość jazdy w jak najkrótszym czasie. Styl jazdy oznaczony jako ekodriving polegał na tym, że maszynista starał się możliwie ograniczać przyspieszanie i hamowanie pojazdu, utrzymując płynną jazdę. Uzyskane wyniki emisji spalin poddano analizie i odniesiono do parametrów pracy silnika dla każdego z przejazdów.

Zakres badań

Badania przeprowadzono w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdu SA108 II w trakcie wykonywanych przejazdów poprzeglądowych na 36-kilometrowym odcinku linii kolejowej wiodącej z Krzyża Wielkopolskiego do Trzcianki (rys. 6.1 i 6.2). W jedną stronę trasa była pokonywana przy zachowaniu standardowego sposobu sterowania silnikami autobusu szynowego, natomiast przejazd powrotny odbywał się już z uwzględnieniem zasad jazdy ekonomicznej i ekologicznej (tzw. ekodriving). Tą samą trasę wykorzystano do badań szynobusu SA108 III.



Rys. 6.1. Widok z kabiny maszynisty w trakcie prowadzenia badań w rzeczywistych warunkach ruchu



Rys. 6.2. Trasa badawcza Krzyż Wielkopolski-Trzcianka

Badania kolejnego pojazdu – LINK wykonano na torze testowym w Żmigrodzie (rys. 6.3). Badania emisji przeprowadzono w warunkach odzwierciedlających rzeczywiste warunki pracy na specjalnie przeznaczonym do tego torze testowym należącym do ośrodka badawczego w Żmigrodzie. Był to obwód torowy na równym terenie o długości całkowitej 7,7 km, wykorzystywany przez Instytut Kolejnictwa i szczegółowo opisany w [36]. Aby zapewnić popraw-

Tablica 6.2. Zestawienie tras przejazdu

Trasa	Pojazd	Rodzaj badań
Krzyż Wielkopolski–Trzcianka	SA108 II	Standard
Trzcianka–Krzyż Wielkopolski		Ekodriving
Krzyż Wielkopolski–Trzcianka	SA108 III	Standard
Trzcianka–Krzyż Wielkopolski		Ekodriving
Żmigród–tor doświadczalny	LINK	Standard
Żmigród–tor doświadczalny		Ekodriving
Bydgoszcz–Warlubie	Gama	Standard
Warlubie–Bydgoszcz		Ekodriving

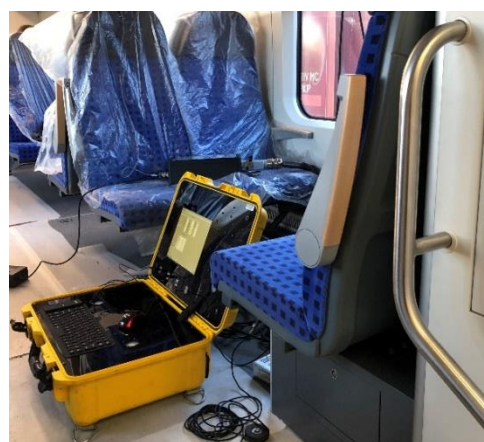
Aparatura pomiarowa

Pomiaru emisji związków toksycznych dokonano za pomocą urządzenia firmy Global MRV o nazwie AxionR/S+, należącego do grupy urządzeń mobilnych typu PEMS (*Portable Emissions Measurement System*) wraz z przepływomierzem (rys. 6.4) połączonym z układem wylotowym zespołu trakcyjnego. Urządzenie AxionR/S+ wyposażone jest w analizatory przeznaczone do pomiaru stężenia pięciu związków, obecnych w gazach wylotowych. Analizatory wchodzące w skład urządzenia to układ z czujnikiem NDIR (*Non-Dispersive Infrared*) służący do pomiaru stężenia związków węglowych takich jak CO, CO₂ i HC oraz analizator elektrochemiczny służący do pomiaru stężenia NO i O₂. Specyfikacje techniczne urządzenia pomiarowego opisano w tabl. 6.3. Wartość przepływu strumienia spalin wykorzystano do obliczenia wartości emisji drogowej badanych pojazdów szynowych.

a)



b)



Rys. 6.4. Warunki prowadzenia badań: a) przepływomierz zamontowany na dachu pojazdu, b) analizator spalin AxionR/S+ ustawiony wewnątrz pojazdu

Tabela 6.3. Parametry pomiarowe systemu AxionR/S+ [26]

Związek	Metoda pomiaru	Dokładność
CO	NDIR, zakres 0-10%	±3%
CO ₂	NDIR, zakres 0-16%	±3%
NO	Elektrochemiczny, zakres 0-4000 ppm	±4%
HC	NDIR, zakres 0-4000 ppm	±3%
O ₂	Elektrochemiczny, zakres 0-25%	±3%

6.2. Badania hałasu

Obiekty badań

Aspekty środowiskowe dotyczące wykorzystania pojazdów szynowych odniesiono także do badań hałasu. Badania wewnątrz pojazdu na postoju oraz w ruchu wykonano podczas jazdy na torach PLK między stacjami Poznań Górczyn–Zbąszynek–Poznań Górczyn.

Badania te dotyczyły trójczłonowego pojazdu o oznaczeniu typu 221M (seria SA138). W pojeździe zastosowano ten sam silnik spalinowy (MTU 6H 1800 R84), który montowano w szynobusie LINK (tabl. 6.4).

Tablica 6.4. Obiekt badawczy oraz trasa przejazdu podczas badań hałasu

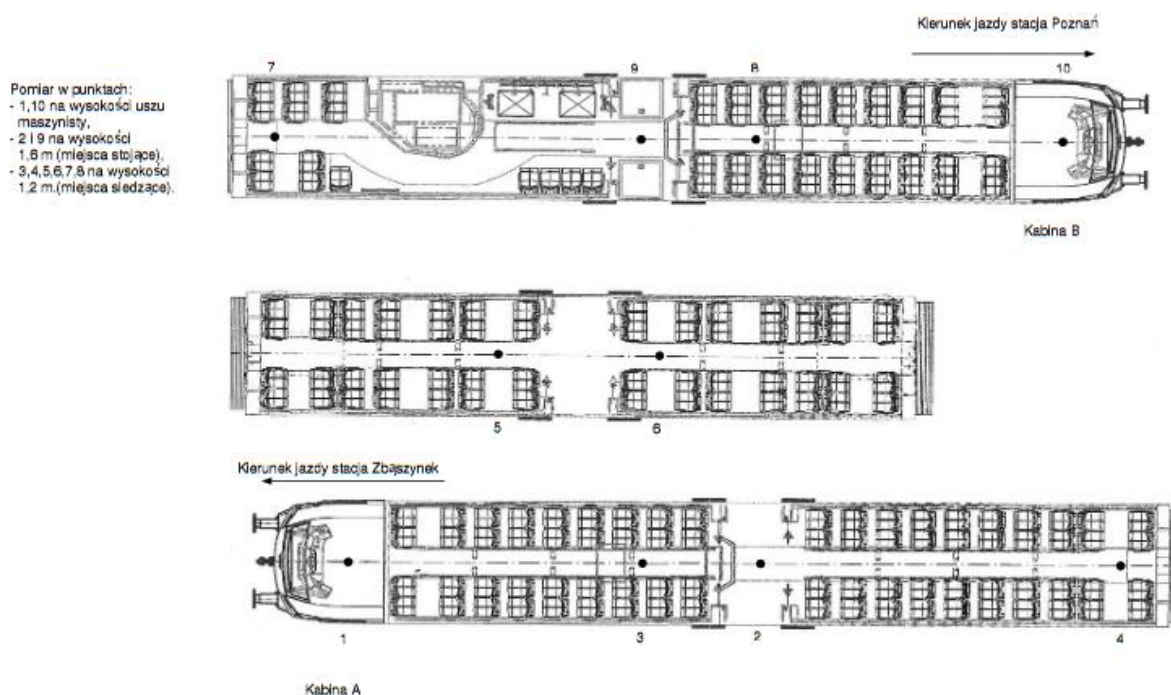
Trasa	Pojazd	Rodzaj badań
Poznań Górczyn–Zbąszynek–Poznań Górczyn	221M	badania wewnątrz pojazdu podczas jazdy
		badania wewnątrz pojazdu na postoju

Metodyka badań

Zakres badań akustycznych był zgodny z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury [14]. Pomiary realizowano w oparciu o Program Prób Eksploatacyjnych [92], Program Prób i Badań [62] i wymagania przedstawione w odpowiednich normach. PN-K-11000:1992 [81], PN-N-01338:1986 [85], PN-Z-01338:2010 [88], PN-ISO 7196:2002 [88], PN-N-01321:1986 [84], PN-EN ISO 3381 [79], TSI-Hałas [112] dokonując pomiarów poziomu hałasu w kabinie oraz w części pasażerskiej poszczególnych członów podczas jazdy i na postoju.

Lokalizacja punktów pomiarowych

Lokalizację punktów pomiarowych poziomu hałasu w pomieszczeniach pasażerskich przedstawiono na rys. 6.5.



Rys. 6.5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych we wnętrzu pojazdu

Warunki badań

Pomiary poziomu hałasu słyszalnego w kabinach maszynisty i w pomieszczeniach pasażerskich wykonano na postoju oraz podczas jazdy ($v = 80$ i 120 km/h) spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M między ww. stacjami przy drzwiach i oknach zamkniętych.

Podczas jazdy z prędkością $v = 80$ km/h prędkości obrotowe silników spalinowych wynosiły około 1300 obr/min, a przy $v = 120$ km/h około 1550 obr/min.

Badania prowadzono w następujących wariantach:

- w kabinie:
 - przy załączonym nawiewie układu klimatyzacji oraz ogrzewania,
 - przy wyłączonych układach (układy pracowały oddzielnie),
- w pomieszczeniach pasażerskich:
 - przy załączonym i wyłączonym nawiewie wentylatora układu klimatyzacji,
 - przy załączonym i wyłączonym ogrzewaniu.

Podczas pomiarów w kabinach (na postoju i podczas jazdy) mikrofon był umieszczony na wysokości głowy $\sim 1,4$ m siedzącego maszynisty, w pobliżu środka kabiny. W pomieszczeniach pasażerskich punkty pomiarowe poziomu hałasu były zlokalizowane na wysokościach 1,2 m (miejsca siedzące) i 1,6 m (miejsca stojące). Pomiar hałasu infradźwiękowego i ultradźwiękowego w kabinach realizowano w tych samych warunkach co pomiary hałasu słyszalnego. Dla pomiarów na postoju w kabinie przy załączonym sygnalizatorze akustycznym mikrofon był umieszczony z czterech stron głowy maszynisty w odległości 0,25 m.

6.3. Badania komfortu jazdy

Obiekty badań

Badania prowadzono na dwóch pojazdach: obiekt A stanowił dwuczłonowy spalinowy zespół trakcyjny typu 220M (SA137 – silnik MTU 6H 1800 R84 – tabl. 6.1). Obiekt B stanowił trójczłonowy spalinowy zespół trakcyjny typu 221M (SA138-02 – ten sam silnik spalinowy). Oba pojazdy wyposażono w dwa wózki napędne typu 74RsNa oraz jeden (220M) i dwa (221M) wózki toczne typu 72RsTa. Pojazdy wyprodukowano przez firmę NEWAG S.A., a szczegółową charakterystykę pojazdów przedstawiono w tabl. 6.5.

Tablica 6.5. Charakterystyka pojazdów wykorzystanych do badania komfortu jazdy

Oznaczenie typu	220M	221M
Układ osi	Bo'2'Bo'	Bo'2'2'Bo'
Prędkość maksymalna	120 km/h	120 km/h
Moc całego zespołu trakcyjnego	780 kW	780 kW
Długość ze zderzakami	42712 mm	58630 mm
Masa pojazdu próżnego	79,9 t	104,7 t
Silnik spalinowy 6H1800R84 MTU zainstalowany na obu wagonach: znamionowa prędkość obrotowa prędkość obrotowa na biegu jałowym	1630 obr/min 590 obr/min	1630 obr/min 590 obr/min
Ogrzewanie	kabina maszynisty wyposażona w nagrzewnicę wodną typu HZ1200 z wentylatorem nawiewu (0, 1, 2, 3 – pozycje prędkości obrotowej wentylatora); przedział pasażerski jest wyposażony w ogrzewanie wodne konwekcyjne; w członach A i B po stronach członu C oraz przy wszystkich drzwiach wejściowych są zainstalowane grzejniki z wentylatorami nawiewu.	
Klimatyzacja	kabina maszynisty wyposażona w klimatyzator sufitowy typu KL 20E z wentylatorem nawiewu (0, 1, 2, 3 – pozycje prędkości obrotowej wentylatora), przedział pasażerski wyposażony w klimatyzator dachowy typu HVAC 8101 Konvecta z wentylatorem nawiewu (płynna regulacja prędkości obrotowej wentylatora w zakresie od 0 do 7 pozycji na wyświetlaczu).	
W II stopniu usprężynowania wózków zastosowano system pneumatyczny (poduszka powietrzna).		

Metodyka badań

W normie PN-EN 12299 [75] określono dopuszczalne wartości drgań w części pasażerskiej. Według dokumentu odczucie pasażera związane jest z zachowaniem pojazdu przeno-

szonym przez punkty kontaktu, takie jak np. kontakt stopy z podłogą, kontakt pleców z powierzchnią siedziska. Przepisy wyróżniają wskaźniki odnoszące się do komfortu, do których należy komfort średni N_{MV} , N_{VD} , N_{VA} . Obliczane są one na podstawie równań określających wartości drgań skutecznych [109]:

$$a_{X_j}^{Wi}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t (\ddot{x}_{Wi}(\tau))^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (6.1)$$

$$a_{Y_j}^{Wi}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t (\ddot{y}_{Wi}(\tau))^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (6.2)$$

$$a_{Z_j}^{Wi}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t (\ddot{z}_{Wi}(\tau))^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (6.3)$$

gdzie:

- $a_{X_j}^{Wi}, a_{Y_j}^{Wi}, a_{Z_j}^{Wi}$ – wartości skuteczne drgań określone dla kierunków X, Y, Z;
- W_i – waga korekcyjna sygnału w kierunkach (i): b – pionowym, c – poziomym (na oparciu fotela), d – poprzecznym i podłużnym;
- j – miejsce w którym dokonuje się pomiaru, P – podłoga, A – siedzisko fotela, D – oparcie fotela;
- T – czas pomiaru;
- $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ – wartości przyspieszenia zmierzone w osiach X, Y, Z.

Ponadto istnieją dwie metody wyznaczania komfortu średniego: dokładna i podstawowa. Metoda dokładna rozróżnia sposób obliczania dla [109]:

- pozycji siedzącej:

$$N_{VA} = 4 \cdot (a_{ZP95}^{W_b})^2 + 2 \cdot \sqrt{(a_{YA}^{W_d})^2 + (a_{ZA95}^{W_b})^2} + 4 \cdot (a_{XD95}^{W_c})^2 \quad (6.4)$$

- pozycji stojącej:

$$N_{VD} = 3 \cdot \sqrt{16 \cdot (a_{XP50}^{W_d})^2 + 4 \cdot (a_{YP50}^{W_d})^2 + (a_{ZP50}^{W_b})^2} + 5 \cdot (a_{YP95}^{W_d})^2 \quad (6.5)$$

W metodzie podstawowej wskaźnik N_{MV} zapisano jako [109]:

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{(a_{XP95}^{W_d})^2 + (a_{YP}^{W_d})^2 + (a_{ZP95}^{W_b})^2} \quad (6.6)$$

Wartości 95 oraz 50 określają centyl wartości skutecznych przyspieszeń próbkowanych co 5 sekund w czasie 5 minutowego pomiaru.

Dopuszczalne wartości drgań oddziałujących na maszynistę były ujęte m.in. w:

- PN-90/K-11001 – Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa pracy i ergonomii,
- PN-91/N-01354 – Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.

Normy określają akceptowalne limity w kierunkach X, Y, Z dla 8-h oraz 12-h zmiany roboczej.

Wytyczne dotyczące przeprowadzania pomiarów zawarte są również PN-EN 14253+A1 [76]. Według przepisów wyznaczanie dziennej ekspozycji na drgania może być podzielone na kilka etapów, takich jak: wyróżnienie serii operacji jakie wykonuje pracownik w czasie dnia; wybranie operacji podlegającej ocenie; określenie wartości skutecznej przyspieszenia; ustalenie średniego czasu dziennej ekspozycji oraz obliczenie dziennej ekspozycji [76]. W każdym kierunku l dzienna ekspozycja na drgania $A_l(8)$ [m/s^2] wyznaczana jest na podstawie równania (6.7):

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0}} \sum a_{wli}^2 T_i \quad (6.7)$$

gdzie:

- a_{wli} – ważona częstotliwościowo skuteczna wartość przyspieszenia drgań określona dla przedziału czasu T_i ;
 k_x, k_y, k_z – dla kierunków x i y = 1,4; dla kierunku z = 1;
 l – x, y, z;
 T_0 – czas odniesienia równy 8 h (28800 s).

Natomiast udział danej operacji lub cyklu pracy i w dziennej ekspozycji określany jest równaniem:

$$A_{li}(8) = k_l a_{wli} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (6.8)$$

Ocenie poddano wpływ drgań oddziałujących na obsługę i pasażerów dla dwóch spalinyowych zespołów trakcyjnych.

Pomiary i ocenę poziomu przyspieszenia drgań na stanowisku pracy maszynisty (fotel, podłoga) w kabinie i w pomieszczeniu pasażerskim (fotel, podłoga) realizowano w oparciu o Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [14], Program Prób Eksploatacyjnych [63], Program Prób i Badań [62] oraz normy: PN-91/N-01352 [86], PN-90/K-11003 [83], PN-90/K-11001 [82], PN-91/N-01354 [87], ERRI B153 Rp8 [21], ERRI B153 Rp 23 [20], ISO 2631 [40], UIC 513 [114] i częściowo EN12299 [17]. Dodatkowo wyznaczono wskaźnik spokojności biegu W_z w oparciu o PN-92/K-02503 [80] oraz M16 [51, 55].

Poziom przyspieszenia drgań (ocena końcowa) na stanowisku pracy maszynisty (fotel, podłoga) nie powinien przekraczać dopuszczalnych wartości granicy uciążliwości dla 8-godzinnej zmiany roboczej (tabl. 6.6). Komfort jazdy pasażera określony jest wskaźnikami N_{Mv} , N_{vA} (tabl. 6.7).

Tablica 6.6. Wartości granicy uciążliwości dla określonych dokumentów

Dokument	Kierunek drgań	Granica uciążliwości (przyspieszenie m/s^2) dla zmiany	
		8-h	12-h
PN-90/K-11001 [5]	X,Y	0,40	0,33
	Z	0,55	0,45
PN-91/K-01354 [6]	X,Y	0,45	0,37
	Z	0,63	0,51

Tablica 6.7. Ocena komfortu wg określonych dokumentów

Komfort wg [17]		Komfort wg [114]	
$N_{Mv} < 1,5$	bardzo komfortowy	$N < 1$	bardzo dobry komfort
$1,5 \leq N_{Mv} < 2,5$	komfortowy	$1 \leq N < 2$	dobry komfort
$2,5 \leq N_{Mv} < 3,5$	średnio komfortowy	$2 \leq N < 4$	średnio umiarkowany komfort
$3,5 \leq N_{Mv} < 4,5$	nisko komfortowy	$4 \leq N < 5$	zły komfort

Dodatkowo wyznaczono wskaźnik spokojności biegu W_z . Wskaźnik ten wyznacza się na podstawie wzoru opracowanego przez Sperlinga [102]:

$$W_z = \sqrt[10]{\sum_{i=1}^{n_f} W_{Z_i}^{10}} \quad (6.9)$$

gdzie:

n_f – liczba wszystkich częstotliwości dyskretnych, określona za pomocą szybkiej transformaty Fouriera,

W_{zi} – wskaźnik spokojności biegu dla i -tej częstotliwości:

$$W_{zi} = \sqrt[6,67]{a_i^2 \cdot B^2(f_i)} \quad (6.10)$$

gdzie:

a_i – amplituda pików przyspieszeń i -tej częstotliwości, mierzona na podłodze,

$B(f_i)$ – współczynnik wagi:

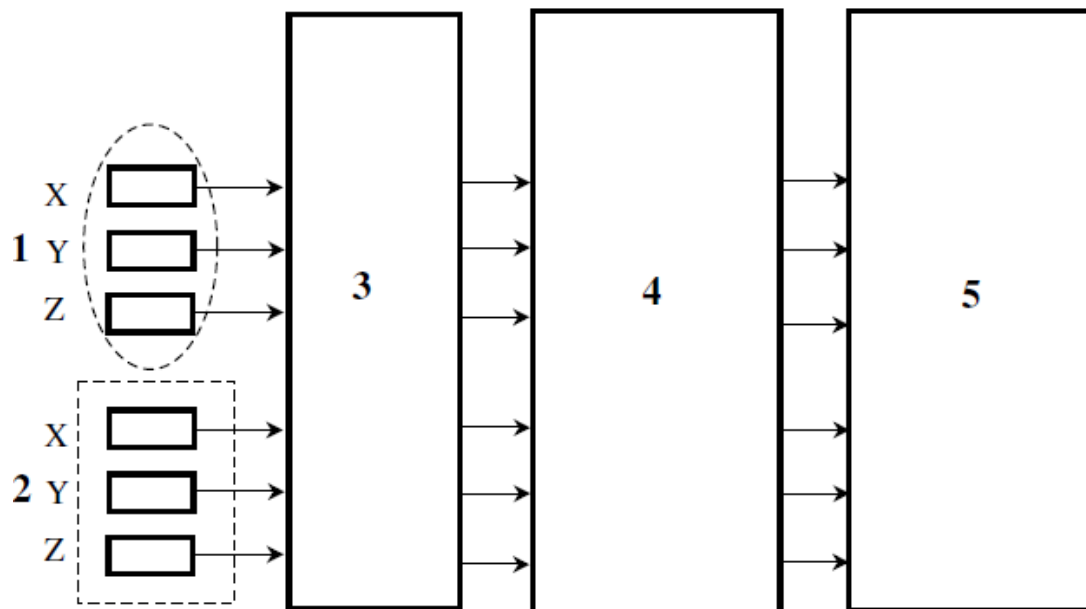
$$B(f_i) = k \cdot \sqrt{\frac{1,911f^2 + 0,0625f^2}{(1 - 0,277f^2)^2 + (1,563f - 0,0368f^3)^2}} \quad (6.11)$$

gdzie $k = 0,737$ dla przyspieszeń poziomych oraz $0,588$ dla przyspieszeń pionowych.

Wartości współczynnika spokojności biegu W_z przedstawiono w tabl. 6.8. Jego wartość dla drgań w kierunku pionowym i poziomym poprzecznym nie powinna przekraczać 3,25 w kabinie i w pomieszczeniu pasażerskim. Układ pomiarowy zastosowany w badaniach komfortu przedstawiono na rys. 6.6.

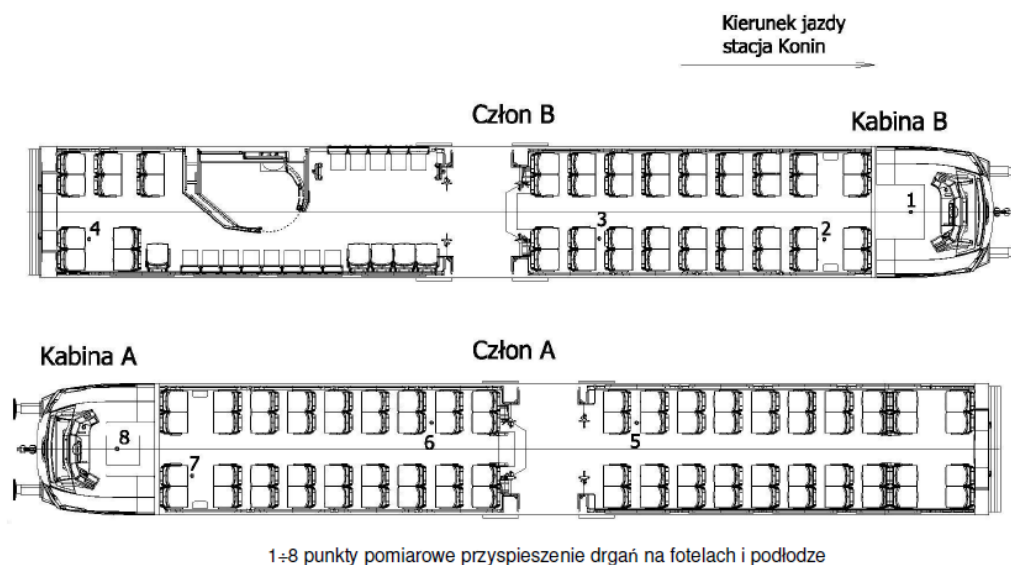
Tablica 6.8. Ocena oddziaływania drgań na podstawie współczynnika spokojności biegu W_z [128]

W_z	Ocena
1	Ledwo zauważalne
2	Wyraźnie odczuwalne
3,5	Silne, ale wciąż komfortowe
3	Silne, nieprzyjemne, ale wciąż tolerowane
3,25	Bardzo nieprzyjemne
3,5	Wyjątkowo nieprzyjemne, dokuczliwe, nietolerowane przy dłuższym oddziaływaniu
4	Bardzo dokuczliwe, przy dłuższym oddziaływaniu dokuczliwe

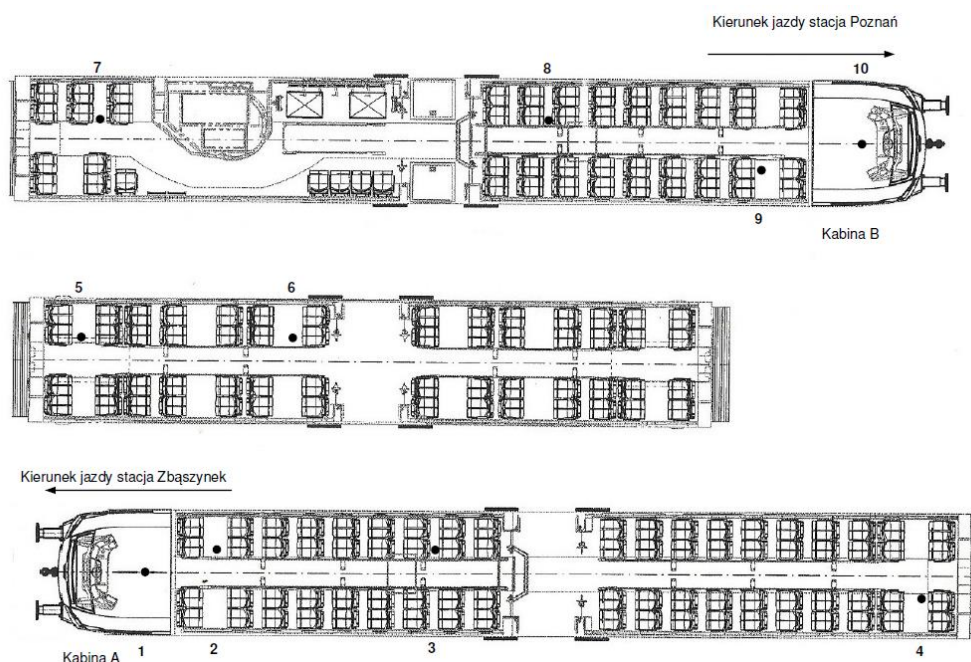


Rys. 6.6. Układ pomiarowy (1 – dysk pomiarowy z przetwornikami przyspieszenia typu EGCS-A2; 2 – płytka z przetwornikiem przyspieszenia typu EGCS-A2; 3 – zasilacz pomiarowy przetworników przyspieszenia typ Z6x12V; 4 – magnetofon pomiarowy typ VL2401; 5 – zestaw komputerowy)

Badania realizowano przez pomiar przyspieszenia drgań występującego na fotelu i podłodze (w trzech kierunkach drgań X, Y, Z) w punktach pomiarowych zaznaczonych na rys. 6.7 (pojazd A) oraz na rys. 6.8 (pojazd B).



Rys. 6.7. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przyspieszenia drgań na stanowisku maszynisty oraz w pomieszczeniach pasażerskich spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M



Rys. 6.8. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przyspieszenia drgań na stanowisku maszynisty oraz w pomieszczeniach pasażerskich spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M

Pomiary wykonano podczas postoju przy pracujących na biegu jałowym silnikach spalinowych oraz podczas jazdy z prędkościami 20, 40, 60, 80, 100, 120 km/h między stacjami Kostrzyn Wlkp.–Konin–Kostrzyn Wlkp. (pojazd A) oraz między stacjami Poznań–Zbąszynek–Poznań (pojazd B).

Punkty pomiarowe w pojeździe A (na fotelu i podłodze) zaznaczone na rys. 6.7 były zlokalizowane w następujących miejscach:

- pkt 1 i 8 – w kabinach pojazdu,
- pkt 2 – w pobliżu środka wózka napędowego po stronie kabiny B,
- pkt 3 – nad silnikiem spalinowym członu B,
- pkt 4 – nad wózkiem tocznym w członie B,
- pkt 5 – w pobliżu środka członu A,

- pkt 6 – nad silnikiem spalinowym członu A,
- pkt 7 – w pobliżu czopu skrzytu wózka napędowego po stronie kabiny A.

Punkty pomiarowe w pojeździe B (na fotelu i podłodze) zaznaczone na rys. 6.8 były zlokalizowane w następujących miejscach:

- pkt 1 – człon A (w kabinie A),
- pkt 2 – człon A (za kabiną A),
- pkt 3 – człon A (nad silnikiem spalinowym),
- pkt 4 – człon A (na końcu członu),
- pkt 5 – człon C (na początku członu),
- pkt 6 – człon C (w pobliżu środka członu),
- pkt 7 – człon B (na końcu członu),
- pkt 8 – człon B (nad silnikiem spalinowym),
- pkt 9 – człon B (za kabiną B),
- pkt 10 – człon C (kabina B).

Na fotelach umieszczony był dysk pomiarowy z zainstalowanymi przetwornikami przyspieszenia na którym siedział maszynista lub pasażer. Natomiast przetworniki mierzące przyspieszenie na podłodze były montowane na płycie stalowej o wymiarach 70×70×5 mm, która była mocowana do podłogi.

Podczas jazdy na trasie Kostrzyn Wlkp.–Konin z przodu znajdował się człon B, natomiast w trakcie jazd po trasie Konin–Kostrzyn Wlkp. z przodu był człon A. Tory na których wykonywano pomiary były zbudowane z szyn S-60 ułożonych na podkładach strunobetonowych (mocowanie szyn sprężyste) i na podkładach drewnianych (mocowanie szyn śrubowe). Tory na podkładach drewnianych były zlokalizowane na obwodnicy Wrześni (tor nr 1 i 2) oraz za stacją Słupca w kierunku Konina (tor nr 2). Dopuszczalna prędkość jazdy na szlakach między stacjami Kostrzyn Wlkp.–Konin i Konin–Kostrzyn Wlkp. wynosi 160 km/h.

Podczas jazdy na trasie Poznań–Zbąszynek z przodu znajdował się człon A, natomiast w trakcie jazd po trasie Zbąszynek–Poznań z przodu był człon B. Tory na których wykonywano pomiary były zbudowane z szyn S-60 ułożonych na podkładach strunobetonowych (mocowanie szyn sprężyste). Podsypkę stanowił tłuczeń. Dopuszczalna prędkość jazdy na szlakach między stacjami Poznań–Zbąszyń i Zbąszyń–Poznań wynosi 160 km/h, a na szlaku Zbąszyń–Zbąszynek–Zbąszyń $v = 80$ km/h.

Czas pomiaru i rejestracji przyspieszenia drgań podczas jazd z założoną prędkością i na postoju wynosił min. 60 s. Podczas badań temperatura otoczenia wynosiła 13–20°C (pojazd A) oraz 10–12°C (pojazd B), prędkość wiatru była mniejsza od 3 m/s. Szyny były suche.

Zarejestrowane wartości przyspieszenia drgań (na fotelu i podłodze) podczas jazd z prędkościami 20–120 km/h oraz na postoju poddano dalszej obróbce stosując program do obliczania wartości RMS przyspieszenia oraz wskaźnika W_z . Zestawienie tras przejazdu przedstawiono w tabl. 6.9.

Tablica 6.9. Trasy przejazdu podczas badań komfortu jazdy

Badania komfortu jazdy	Pojazd	Rodzaj badań
Trasa		
Kostrzyn Wlkp.–Konin–Kostrzyn Wlkp.	Pojazd A	20–120 km/h, $\Delta v = 20$ km/h
Kostrzyn Wielkopolski i Konin	220 M (SA137) dwuczłonowy	Postój
Poznań–Zbąszynek–Poznań	Pojazd B 221M (SA0138-02)	
Poznań Górczyn i Zbąszynek	trójczłonowy	Postój

7. ASPEKTY EKONOMICZNE WPROWADZANIA LIMITÓW EMISJI SPALIN

7.1. Koszty ograniczania emisji spalin

Bazując na danych zawartych w publikacji [8] dokonano analizy kosztów przyrostowych, wynikających bezpośrednio z kosztów materiałowych i produkcji głównych elementów kontroli silnika i emisji spalin.

Kontrola emisji spalin obejmuje:

- kontrolę wewnątrzcyldrową,
- systemy oczyszczania spalin,
- prace badawczo-rozwojowe.

Zarządzanie wewnątrzcyldrowe obejmuje zarządzanie systemem wtrysku paliwa (czasem wtrysku i pomiarem dawki), zarządzanie dolotem powietrza i jego pomiarem oraz tworzeniem ładunku; oprócz kontroli powietrza i paliwa wewnątrz cylindra, system obejmuje kontrolę NO_x z wykorzystaniem chłodzonego systemu recyrkulacji spalin.

Koszty zmiany systemu wtrysku rozdzielaczowego na system common rail szacuje się na około \$750 w przypadku 6-cylindrowego silnika o objętości skokowej 11 dm^3 [18]. Koszty dotyczące różnych objętości silników – liniowo skorygowano. Przyjęto, że koszt technologii kontroli emisji wynosi 50% tych kosztów, ponieważ system wtrysku paliwa ma także inne funkcje poza kontrolą emisji spalin (np. uzyskiwanie określonych parametrów pracy silnika).

Koszty systemu wtrysku dla różnych etapów regulacyjnych oszacowano na podstawie proporcjonalnej korekty opartej na ciśnieniu wtrysku paliwa, które przyjęto, że wzrosło od 130 MPa (Stage II) do 220 MPa (Stage V).

Przyrostowy koszt systemu CR wynosi \$10 za każde 10% wzrostu ciśnienia wtrysku paliwa (dane pochodzą z raportu firmy FEV [23]).

Systemy doładowania silników ZS obejmują przede wszystkim układy turbosprężarki o zmiennej geometrii łopatek kierownicy – VGT (*variable geometry turbochargers*). Technologia ta umożliwia pełną kontrolę emisji PM oraz NO_x dzięki wykorzystaniu map sterujących ich pracą. Koszty turbosprężarki oraz układu chłodzenia szacuje się na \$875 (na podstawie danych EPA [19]). Szacuje się, że elektryczny system VGT zwiększa koszt o \$370. Tak jak poprzednio, tylko 50% kosztów tego układu zalicza się do zgodności z normami emisji, gdyż układ ten zapewnia przede wszystkim korzyści w zakresie mocy silnika.

Układ recyrkulacji spalin (wysokociśnieniowej) zawiera jeden lub więcej zaworów EGR oraz jedną lub więcej chłodnic. Koszt takiego systemu oszacowano na \$439 oraz \$108 za system chłodzenia.

Koszt **jednostki sterującej silnika** spełniającej normę Stage IIIA wyceniono na \$250–\$300 dla silnika 4-cylindrowego. Jako punkt wyjścia przyjęto koszt \$275, który dodatkowo obniżono o 50%. Wynika to z pozostałych operacji silnikowych wykonywanych przez sterownik. Dla silników 6-cylindrowych zwiększono koszt o 10%.

Koszty **układów oczyszczania spalin** podzielono na trzy grupy odpowiadające poszczególnym systemom: reaktorowi utleniającemu, filtrowi cząstek stałych oraz systemowi selektywnej redukcji katalitycznej (wraz ze zbiornikiem oraz systemem dozowania). W przypadku dwóch pierwszych systemów największym kosztem jest koszt podłoża do nakładania metali szlachetnych.

W tabelicy 7.1 przedstawiono procentowe udziały kosztów reaktora utleniającego zastosowanego w silniku o objętości skokowej $10,8 \text{ dm}^3$. Koszty zastosowania filtra cząstek stałych w silniku o tej samej objętości skokowej przedstawiono w tabl. 7.2. W przypadku tych systemów nie zmieniają się koszty w zależności od spełnianej normy emisji spalin. Przykładowy koszt systemu SCR (bazujący na zeolicie) wykorzystanego w silniku spełniającym normę Stage V (z systemem DPF) zawarto w tabl. 7.3.

Tablica 7.1. Koszt reaktora DOC

Objętość skokowa silnika (CV)	10.8 dm ³		
Objętość reaktora (SVR = 0,7)	7,6		
Platyna 0,94 g/dm ³ × CV × \$30/g	\$213	40,8%	
Pallad 0,47 g/dm ³ × CV × \$30/g	\$107	20,5%	
Całkowity koszt pokryć reaktora	\$320	61,3%	
Podłoże (\$6 × CV)	\$51	9,8%	
Płaszcz (\$13 × CV)	\$98	18,8%	
Pokrycie + podłoże + płaszcz	\$469	89,8%	
Konserwacja (\$5 × CV)	\$38	7,3%	
Akcesoria	\$15	2,9%	
Koszt wytworzenia (krótkoterminowy)	\$522	100%	
Koszt wytworzenia (długoterminowy)	\$470		90%

Tablica 7.2. Koszt filtra cząstek stałych

Objętość skokowa silnika (CV)	10.8 dm ³		
Objętość reaktora (SVR = 2,0)	21,6		
Platyna 2/3 × 0,2 g/dm ³ × CV × \$31/g	\$76	7,4%	
Pallad 1/3 × 0,2 g/dm ³ × CV × \$27/g	\$38	3,7%	
Całkowity koszt pokryć reaktora	\$114	11,1%	
Podłoże (\$23 × CV)	\$497	48,3%	
Płaszcz (\$10 × CV)	\$216	21,0%	
Pokrycie + podłoże + płaszcz	\$826	80,4%	
Konserwacja (\$5 × CV)	\$108	10,5%	
Akcesoria	\$13	1,3%	
System regeneracji	\$81	7,9%	
Koszt wytworzenia (krótkoterminowy)	\$1028	100%	
Koszt wytworzenia (długoterminowy)	\$926		90%

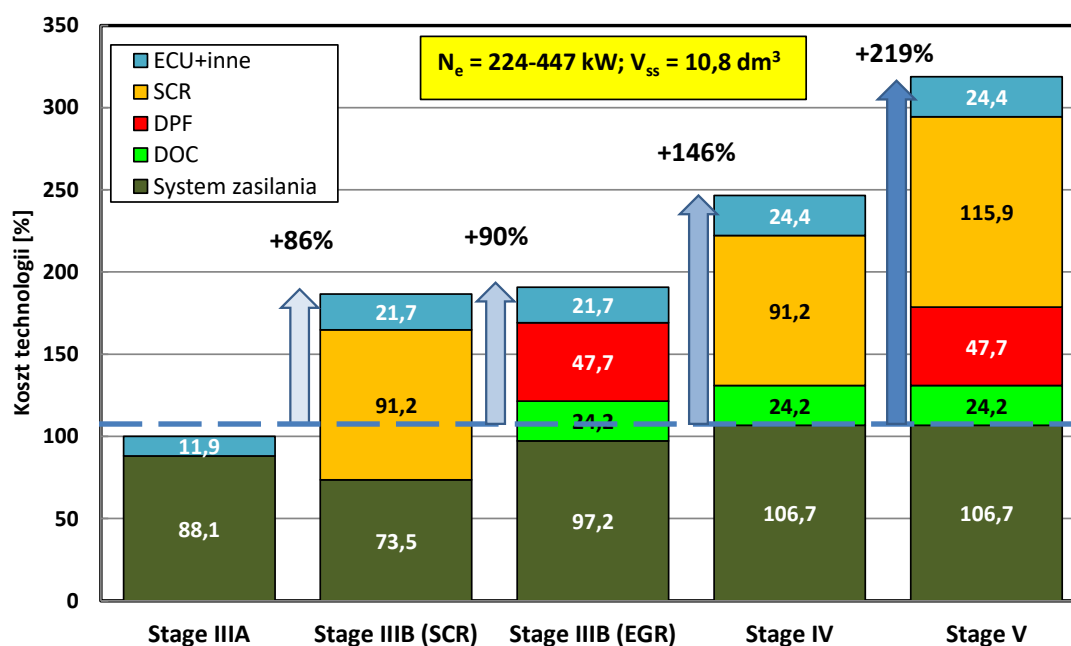
Tablica 7.3. Koszt systemu SCR (bazującego na zeolicie) wykorzystywany do silników spełniających normę Stage V (wraz z układem DPF)

Objętość skokowa silnika (CV)	10.8 dm ³		
Objętość reaktora (SVR = 2,5)	27,0		
Reaktor amoniaku (25 ppm amoniaku)	\$12	0,5%	
Podłoże + płaszcz (zeolit: \$18 × CV)	\$486	19,5%	
Konserwacja (\$25 × CV)	\$675	27,1%	
Reaktor + podłoże + płaszcz	\$1173	47,1%	
Zbiornik (6 × Vss)	65 dm ³		
Koszt zbiornika mocznika	\$290	11,6%	
Czujnik poziomu w zbiorniku	\$48	1,9%	
Akcesoria zbiornika	\$40	1,6%	
Pompa	\$91	3,7%	
Wtryskiwacz	\$60	2,4%	
Oprawy	\$127	5,1%	
Oprawa wtryskiwacza	\$89	3,6%	
System ogrzewania 200 W	\$70	2,8%	
Czujnik temperatury	\$84	3,4%	
Mikser	\$50	2,0%	
Sterownik wtrysku	\$200	8,0%	
Czujnik NO _x	\$170	6,8%	
Całkowity koszt systemu mocznika	\$1319	52,9%	
Koszt wytworzenia (krótkoterminowy)	\$2492	100%	
Koszt wytworzenia (długoterminowy)	\$2243		90%

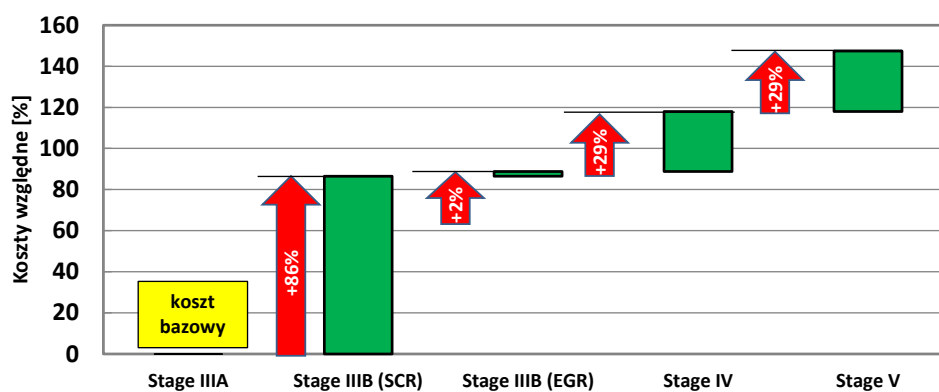
Uwzględniając wszystkie koszty zmienne (przedstawione powyżej) oraz koszty stałe (\$190–\$431 – w zależności od normy emisji) w tabl. 7.4 przedstawiono całkowite koszty wdrożenia poszczególnych norm emisji dla silników o mocach 224–447 kW (silnik o $V_{ss} = 10,8 \text{ dm}^3$). Przedział mocy silników odpowiada tym stosowanym w trakcji szynowej (do pojazdów szynowych oraz lokomotyw spalinowych). Podsumowanie tych prac przedstawiono na rys. 7.1, a na rys. 7.2 wskazano przyrostowe koszty zmian technologii.

Tablica 7.4. Koszty technologii dostosowania silników do wymagań norm emisji (silnik ZS, $V_{ss} = 10,8 \text{ dm}^3$, $N_e = 224\text{--}447 \text{ kW}$)

	Stage IIIA (bazowy)	Stage IIIB		Stage IV	Stage V
		SCR	EGR		
Wyposażenie sprzętowe					
System zasilania					
Układ paliwowy – 50% całk. kosztu	\$813	\$990	\$990	\$990	\$990
Doładowanie – 50% całk. kosztu	\$438	\$438	\$438	\$438	\$438
VGT (dodatkowo) – 50% całk. kosztu				\$185	\$185
System EGR	\$351		\$351	\$351	\$351
Chłodzenie EGR	\$108		\$108	\$108	\$108
Koszt całkowity	\$1710	\$1428	\$1887	\$2072	\$2072
System oczyszczania spalin					
DOC			\$470	\$470	\$470
DPF			\$926		\$926
SCR		\$1772		\$1772	\$2251
Koszt całkowity		\$1772	\$1396	\$2242	\$3647
Koszt wyposażenia sprzętowego	\$1710	\$3200	\$3283	\$4314	\$5719
ECU oraz czujniki	\$42	\$42	\$42	\$42	\$42
Koszty stałe	\$190	\$380	\$380	\$431	\$431
Całkowity koszt systemu	\$1942	\$3622	\$3705	\$4787	\$6192
Koszt przyrostowy (do bazowego)	–	\$1680	\$1763	\$1082– \$1165	\$1405



Rys. 7.1. Względne koszty zmiany technologii Stage III–Stage V



Rys. 7.2. Przyrostowe koszty zmiany technologii spełniających normy emisji Stage III–Stage V

7.2. Analiza systemów silnikowych i pozasilnikowych w aspekcie zmian limitów emisji spalin

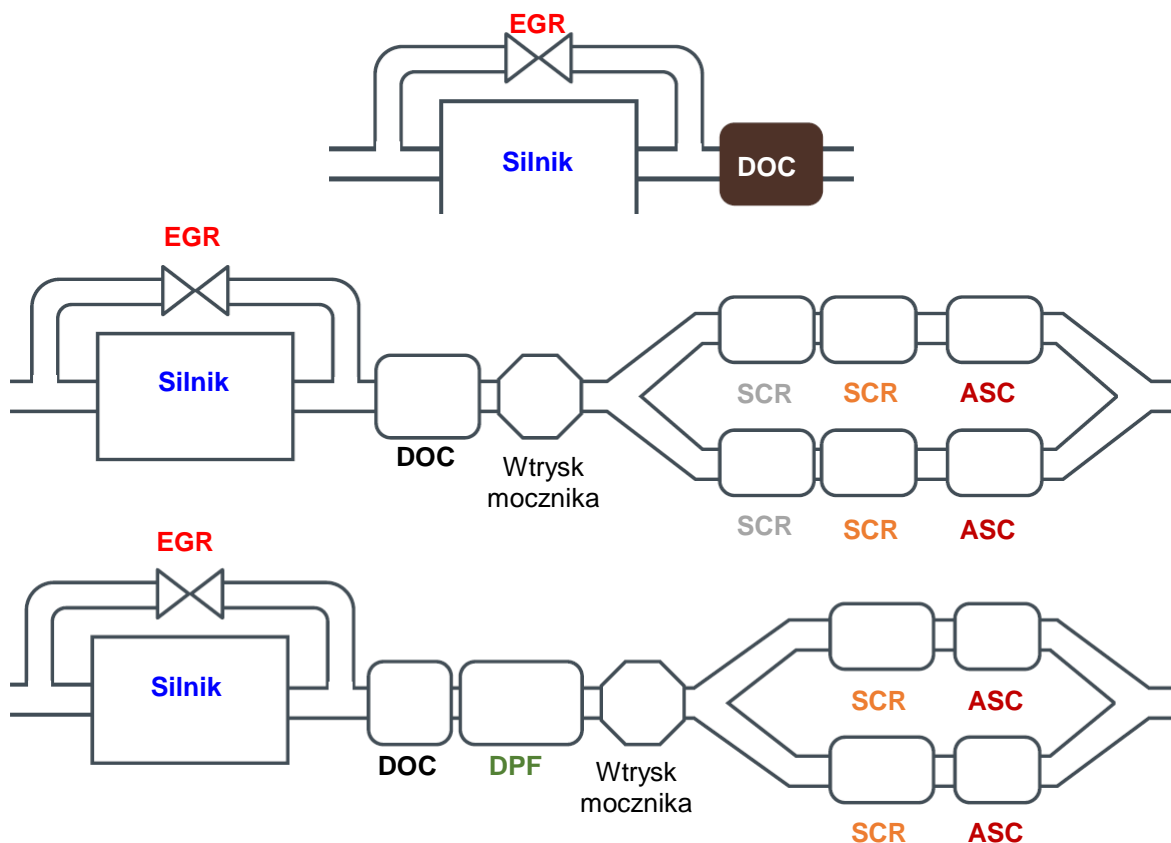
Kolejne normy emisji spalin pojazdów szynowych wymagają zmian systemów sterowania silnikiem, a w szczególności systemów oczyszczania spalin. Przykładowe technologie umożliwiające osiągnięcie limitów emisji spalin dla silników o mocy 130-560 kW przedstawiono w tabl. 7.5.

Tablica 7.5. Technologie silnikowe dotyczące limitów emisji spalin silników o mocy 130-560 kW [8]

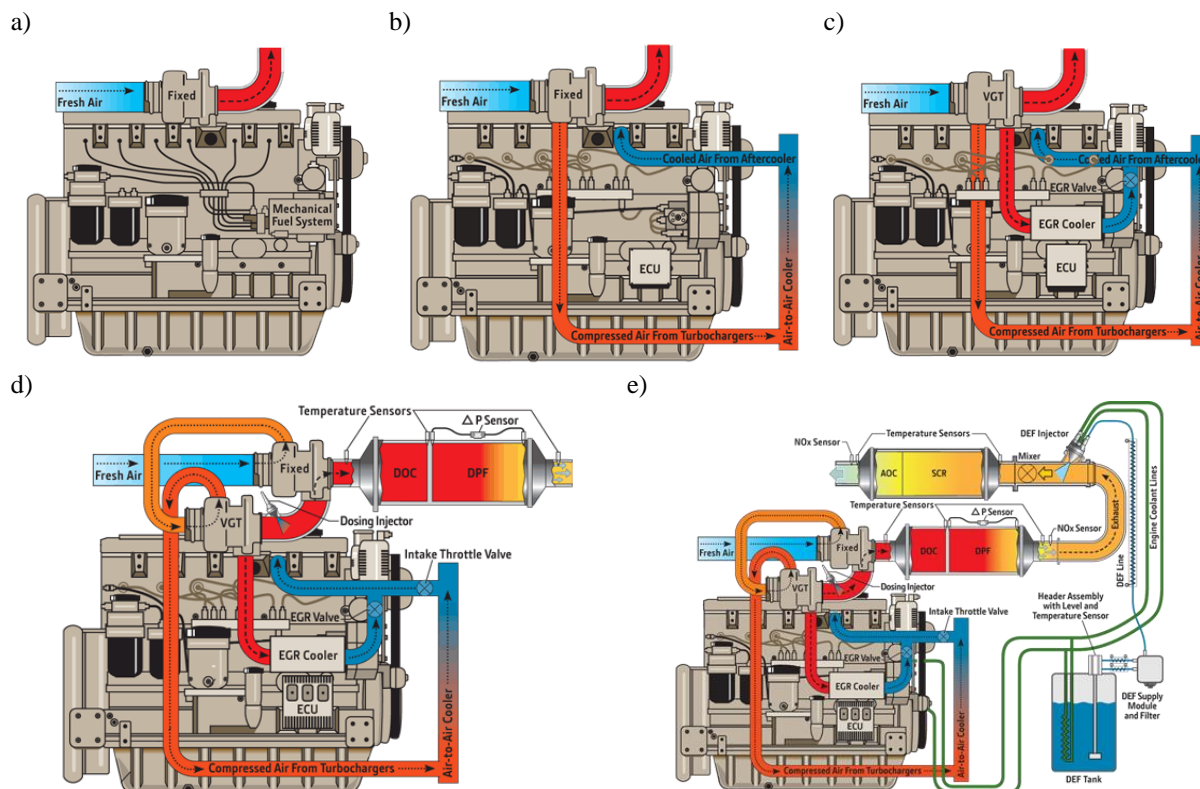
	Stage IIIA (bazowy)	Stage IIIB		Stage IV	Stage V
		SCR	EGR		
Limit PM (% redukcji względem poprzedniego limitu)	0,2 g/kWh	0,02 g/kWh (–90%)		0,02 g/kWh (0%)	0,015 g/kWh (–40%)
Limit NO _x (% redukcji względem poprzedniego limitu)	4,0 g/kWh	2,0 g/kWh (–50%)		0,40 g/kWh (–80%)	0,40 g/kWh (0%)
Silnikowa kontrola emisji	<ul style="list-style-type: none"> • Doładowanie upustowe • Elektroniczny bezpośredni wtrysk paliwa • Chłodzony EGR • ECU 	<ul style="list-style-type: none"> • Doładowanie upustowe • Wtrysk paliwa CR • ECU 	<ul style="list-style-type: none"> • Doładowanie upustowe • Wtrysk paliwa CR • Chłodzony EGR • ECU 	<ul style="list-style-type: none"> • Doładowanie VGT • Wtrysk paliwa CR • Chłodzony EGR • ECU 	<ul style="list-style-type: none"> • Doładowanie VGT • Wtrysk paliwa CR • Chłodzony EGR • ECU
System oczyszczania spalin	• Brak	<ul style="list-style-type: none"> • Redukcja NO_x przez system SCR • ASC – reaktor ograniczania amoniaku 	<ul style="list-style-type: none"> • Ograniczenie PM przez DOC oraz DPF 	<ul style="list-style-type: none"> • Ograniczenie PM przez DOC oraz DPF • Redukcja NO_x przez system SCR • ASC – reaktor ograniczania amoniaku 	<ul style="list-style-type: none"> • Ograniczenie PM przez DOC oraz DPF • Redukcja NO_x przez system SCR • ASC – reaktor ograniczania amoniaku

Współczesne normy emisji Stage IV oraz Stage V wymagają odmiennych systemów oczyszczania spalin. Silniki o małej mocy w celu spełnienia normy Stage IV wyposaża się jedynie układ recyrkulacji spalin oraz w reaktor utleniający (rys. 7.3a). Silniki dużej mocy spełniające tę samą normę Stage IV w celu spełnienia limitów emisji spalin muszą być wyposażone w systemy powyżej przedstawione oraz w rozbudowany układ ograniczania tlenków azotu, składający się z systemu wtrysku mocznika podwójnego, szeregowo-równoległego systemu SCR oraz reaktora ASC – ograniczającego emisję amoniaku (rys. 7.3b). System spełniający normę Stage V wyposażony jest we wszystkie systemy poprzedniej normy spalin (Stage IV dla silników dużej mocy) oraz dodatkowo w układ DPF (rys. 7.3c).

Traktując jako bazowe, silniki spełniające normę Stage I, należy przyjąć standardowe ich wyposażenie (występują jeszcze rozdzielaczowe pompy wtryskowe oraz wybiórcze systemy doładowania) – rys. 7.4a. Wyposażenie silników spełniających normę Stage II stanowią: sys-



Rys. 7.3. Systemy ograniczania emisji spalin: a) silników o małej mocy w zakresie cząstek stałych przy użyciu DOC – Stage IV, b) DOC + SCR (bez DPF) dla silników 56–560 kW – Stage IV, c) dla silników 56–560 kW spełniających normę Stage V [8] (ASC – reaktor ograniczania amoniaku)



Rys. 7.4. Schematy zmian konstrukcji systemów silnikowych oraz pozasilnikowych norm emisji spalin: a) Stage I, b) Stage II, c) Stage IIIA, d) Stage IIIB, e) Stage V (utrzymano tu zapisy w języku angielskim ze względu na czytelność systemów, dodatkowo znaczenia przetłumaczono w tekście pracy) [46]

tem elektronicznego sterowania silnikiem (ECU), wysokociśnieniowy system wtrysku paliwa, a także chłodnica powietrza doładowującego (rys. 7.4b). W celu spełnienia limitów normy Stage IIIA wymagane są dodatkowe systemy w postaci chłodzonej recyrkulacji spalin oraz turbosprężarki o zmiennej geometrii łopatek kierownicy – VGT (rys. 7.4c).

Spełnienie limitów emisji spalin Stage IIIB wymaga bardziej skomplikowanego systemu oczyszczania spalin. Należy tu wyróżnić systemy reaktorów utleniających oraz filtrów cząstek stałych (rys. 5.4d). Najnowsze limity emisji Stage V spełniają silniki wyposażone dodatkowo w układy selektywnej redukcji tlenków azotu oraz układy redukcji amoniaku (rys. 5.4e).

Zróżnicowane technologie silnikowe w celu spełnienia limitów emisji silnikowych i pozasilnikowych układów pojazdów szynowych przedstawiono w tabl. 7.6.

Tablica 7.6. Technologie silnikowe i pozasilnikowe do spełnienia normy emisji spalin w zakresie pojazdów szynowych [8, 46]

Technologia	Stage				
	I	II	IIIA	IIIB	V
Kalibracja silnika	■	■	■	■	■
Wtrysk paliwa (rozdzielaczowy)	■				
Wysokociśnieniowy wtrysk paliwa (akumulacyjny)		■	■	■	■
2- lub 4-zaworowa głowica	■	■			
Różne sposoby zasilania powietrzem (wolnossący, doładowany, chłodzenie)	■				
Duża objętość skokowa silnika	■	■			
Bezpośrednie chłodzenie głowicy	■	■	■	■	■
Elektronizacja silnika		■	■	■	■
Chłodzenie powietrza doładowującego		■	■	■	■
Chłodzenie systemu EGR			■		
Chłodzenie systemu VGT			■	■	■
4-zaworowa głowica			■	■	■
Niskosiarkowe paliwa			■	■	■
Sekwencyjne doładowanie				■	■
System DOC + PDF				■	■
Zarządzanie temperaturą spalin				■	■
Zmienna natężenie cieczy chłodzącej				■	■
Rozszerzony system chłodzenia EGR z pomiarem przepływu (Venturi)				■	■
Integracja system kontroli emisji spalin					■
System SCR					■

Analiza rysunku 7.4 oraz tabl. 7.6 wskazuje na zwiększenie liczby systemów niezbędnych do spełniania kolejnych norm emisji spalin w zakresie pojazdów szynowych (również w zakresie pojazdów samochodowych). Można stwierdzić, że spełnienie normy Stage V wymaga wprowadzenia około 10 nowych, silnikowych i pozasilnikowych systemów odpowiedzialnych za sterowanie pracą silnika oraz za układy oczyszczania spalin.

Na podstawie powyższego można stwierdzić, że zaproponowana koncepcja dotycząca wpływu ekodrivingu na emisję spalin może być prostszym sposobem na obniżenie emisyjności pojazdów szynowych. Jednocześnie może zapobiec nadmiernym kosztom ekonomicznym modernizacji taboru kolejowego.

8. EMISYJNA OCENA WYBRANYCH KRAJOWYCH LOKOMOTYW SPALINOWYCH

8.1. Trasy badawcze pojazdów szynowych

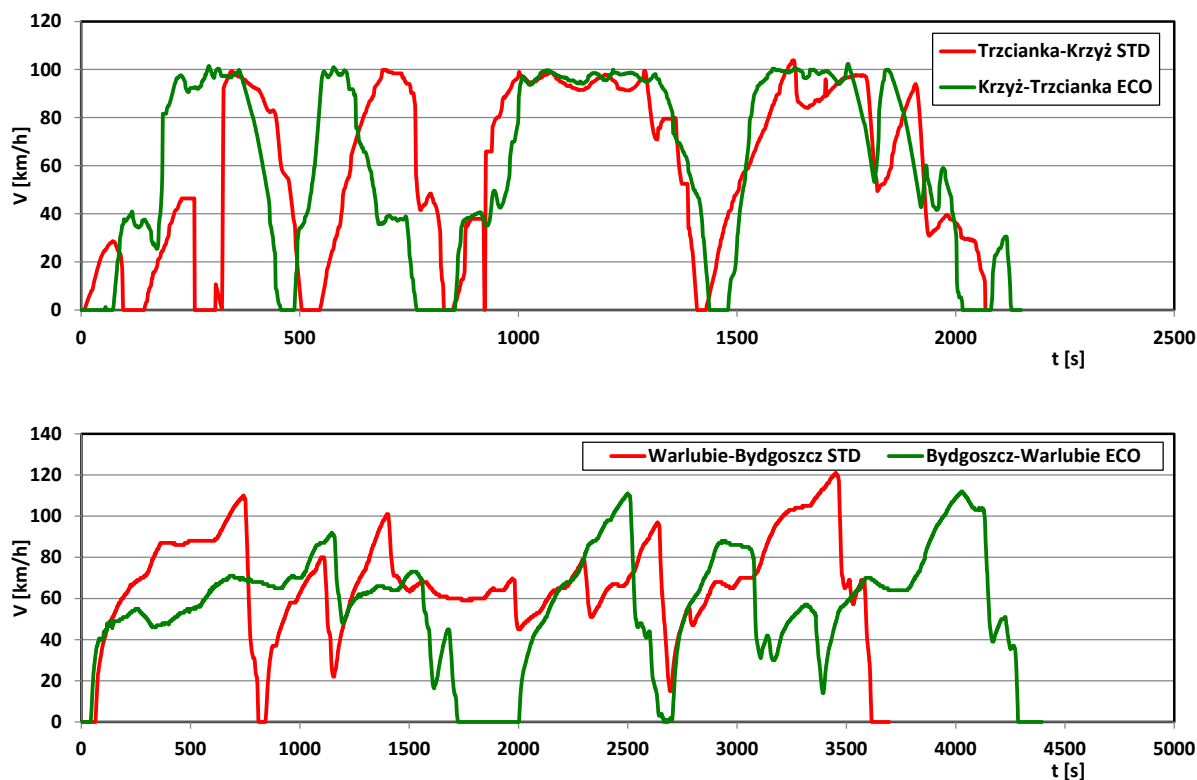
Badania emisyjności pojazdów szynowych prowadzono w nawiązaniu do sposobów badań pojazdów samochodowych (zastosowanie typowych układów PEMS) w odniesieniu do rzeczywistych badań drogowych. Oznacza to, że badania prowadzono z użyciem pojazdów szynowych na typowych szlakach kolejowych (poza obiektem Żmigród, podanym w metodyce badań – rozdz. 6).

Analizę tras przejazdów wraz z podaniem długości tras oraz czasami ich przejazdów przedstawiono w tabl. 8.1. Z zestawienia tras badawczych wynika, że przejazdy w trybie ekodrivingu były dłuższe o kilka minut co wynika z zasad tej techniki jazdy.

Tablica 8.1. Trasy przejazdu w trybie standard i ekodriving (ECO) dla poszczególnych pojazdów szynowych

Pojazd	STD	ECO	Długość trasy [km]	Czas przejazdu STD/ECO [min]
SA108 Stage II	Trzcianka–Krzyż	Krzyż–Trzcianka	33/35	34/36
SA108 Stage III	Trzcianka–Krzyż	Krzyż–Trzcianka	33/35	34/36
LINK	Żmigród	Żmigród	7,7	9/13
Gama	Warlubie–Bydgoszcz	Bydgoszcz–Warlubie	67,95/68,04	61/71

Uwzględniając dane z tabl. 8.1, na rys. 8.1 przedstawiono profile prędkości poszczególnych przejazdów (nie uwzględniono przejazdu w Żmigrodzie). Obie trasy pokonano w dwie strony realizując przejazd standardowy oraz przejazd w trybie ekodrivingu. Widoczne jest duże podobieństwo przejazdów w zakresie prędkości maksymalnych, jednakże sposób pokonania trasy (narastanie ustalonych prędkości) jest dosyć odmienne.

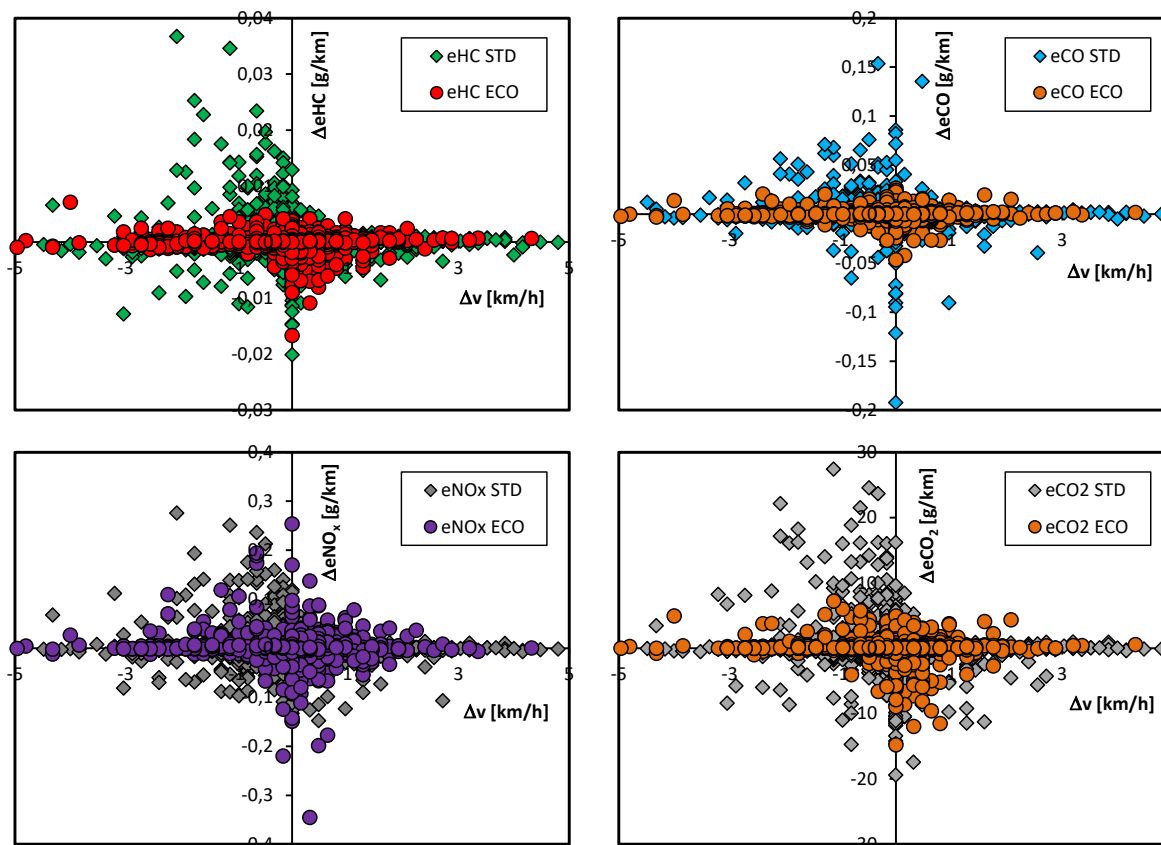


Rys. 8.1. Profile prędkości jazdy wybranych tras badawczych na których realizowano przejazdy standardowe oraz ekodriving

8.2. Wpływ stylu jazdy maszynisty na emisję spalin

8.2.1. Przejazdy lokomotywą SA108 Stage II

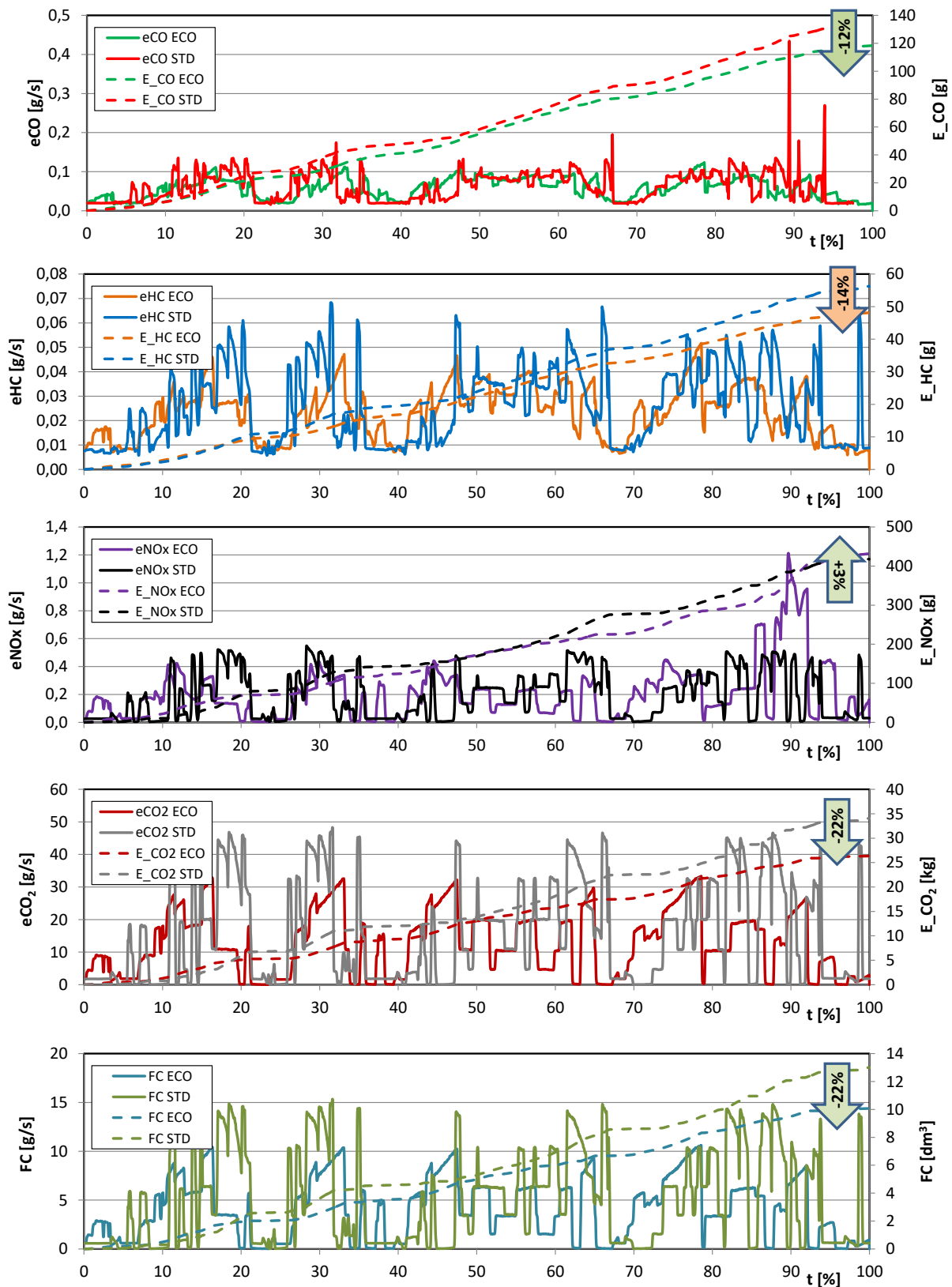
Ocenę emisji zanieczyszczeń z silników pojazdów szynowych w zależności od stylu jazdy prowadzono osobno dla każdego pojazdu. Przejazdy w trybie ekodrivingu nie miały założonych kryteriów, a jedynie były realizowane w sposób odpowiadający prowadzącym maszynistom. Sposób przejazdu w dwóch trybach pojazdem SA108 II (taki zapis oznacza spełnienie normy Stage II) przedstawiono na rys. 8.2.



Rys., 8.2. Emisja drogowa składników spalin w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodrivingu określona na podstawie zmian prędkości jazdy – pojazd szynowy SA108 II

Przejazdy w trybie standardowym cechują się znacznie większymi wartościami emisji wszystkich analizowanych składników spalin w odniesieniu do przejazdów ekodrivingu. Pozwala to na bezpośrednie wskazanie różnic w warunkach jazdy pojazdem szynowym. Można zauważyć, że przy dużych zmianach prędkości jazdy ($\Delta v = 3\text{--}5$ km/h) brak jest istotnych różnic w zmianach emisji spalin. W odniesieniu do zmian emisji drogowej węglowodorów obserwowane różnice wynoszą około 0,35 g/km przy niewielkich zmianach prędkości jazdy. Największe różnice obserwuje się przy małych zmianach prędkości także w odniesieniu do emisji tlenku węgla, a nieco mniejsze dla dwutlenku węgla. Praktyczny brak zmian emisji przy zmianach prędkości występuje podczas analizy emisji tlenków azotu. Wskazuje to na występowanie zbliżonych poziomów emisji drogowej tego składnika.

Pełną analizę emisji drogowej oraz emisji skumulowanej poszczególnych składników spalin przedstawiono na rys. 8.3. Natężenie emisji tlenku węgla przedstawia się podobnie w obu przejazdach. Widoczne są zwiększone wartości tego natężenia w końcowym fragmencie jazdy, co wynika z większej dynamiki zmian prędkości jazdy. Analiza skumulowanych wartości emisji wskazuje na 12% zmniejszenie emisji CO podczas przejazdu w trybie ekodrivingu.



Rys. 8.3. Natężenie emisji spalin, skumulowane wartości tej emisji oraz zużycie paliwa uzyskane w warunkach standardowych oraz ekodrivingu – pojazd szynowy SA108 II

Emisja węglowodorów jest zdecydowanie mniejsza w trybie ekodrivingu. Końcowe wartości tej emisji są o 14% mniejsze niż w trybie standardowym.

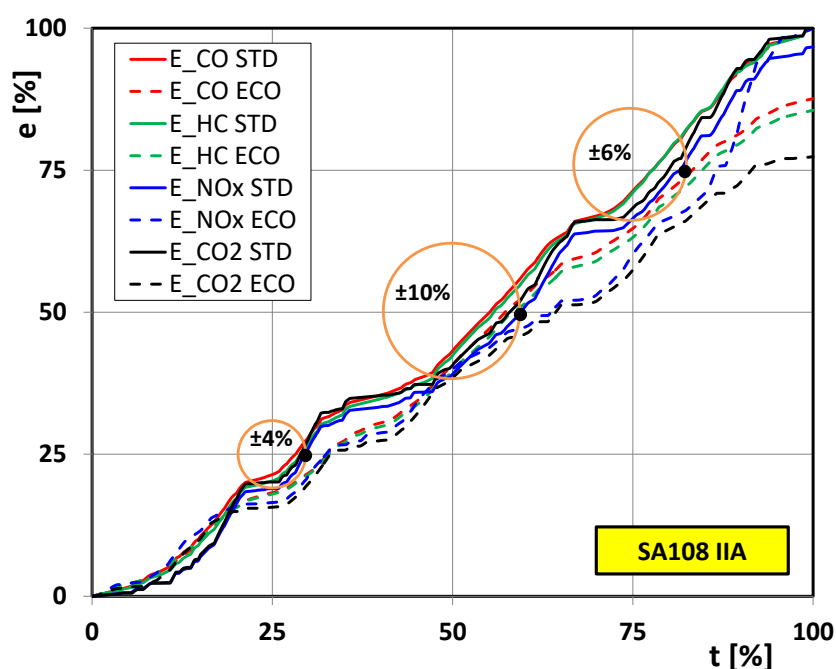
Analiza natężenia emisji NO_x już wcześniej nie wskazywała na występowanie dużych różnic – i tutaj ta teza się potwierdza. Skumulowana wartość emisji do połowy trasy jest prawie

identyczna w obu przejazdach. Większe różnice pojawiły się w drugiej części trasy, jednak zakończenie przejazdu powoduje, że końcowa emisja NO_x jest nieznacznie większa dla przejazdu w trybie ekodrivingu (o 3%).

Emisja dwutlenku węgla jest zgodna ze zużyciem paliwa (pomiar bezpośredni). Jest to wielkość najistotniej wpływająca na zmianę stylu jazdy pojazdu szynowego. Mimo, że pojazd spełnia normę Stage II to zmiana trybu jazdy umożliwia ograniczenie zużycia paliwa o 22% (jednocześnie ograniczając również emisję CO_2 o taką samą wartość).

Kolejnym etapem prac była analiza skumulowanych względnych wartości emisji poszczególnych składników spalin. Analiza ta ma na celu określenie zmian skumulowanych emisji w odniesieniu do czasu tworzenia składników spalin – rys. 8.4.

Ocena danych wskazuje na prawie liniową zależność tworzenia składników spalin od względnego czasu trwania przejazdu. Na wykresach zaznaczono charakterystyczne koła wskazujące na odchylenia największej wartości od zakresu typowo liniowego.



Rys., 8.4. Względna emisja skumulowana odniesiona do względnej drogi w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodrivingu – pojazd szynowy SA108 II

Mimo, że przejazd nie odbywał się ze stałą prędkością jazdy, to warunki tworzenia składników spalin były prawie liniowe. Pierwsze 25% trasy przejazdu ma o około 4% emisję odbiegającą od warunków liniowości. Kolejne 25% – również ma ten wskaźnik poniżej 50% z jednocześnie największym rozrzutem, wynoszącym 10%. W trzeciej ćwiartce pokonanego dystansu wartości rozrzutu wynoszą już tylko 6%, co wskazuje na zwiększone tworzenie składników spalin w tym okresie jazdy. Należy zauważyć, że wszystkie składniki spalin mają podobną tendencję szybkości „generowania” emisji podczas przejazdu standardowego. Warunki eko-drivingu odniesione do warunków standardowych wskazują, że największe korzyści z tego typu jazdy generowane są w trzeciej i czwartej części przejazdu.

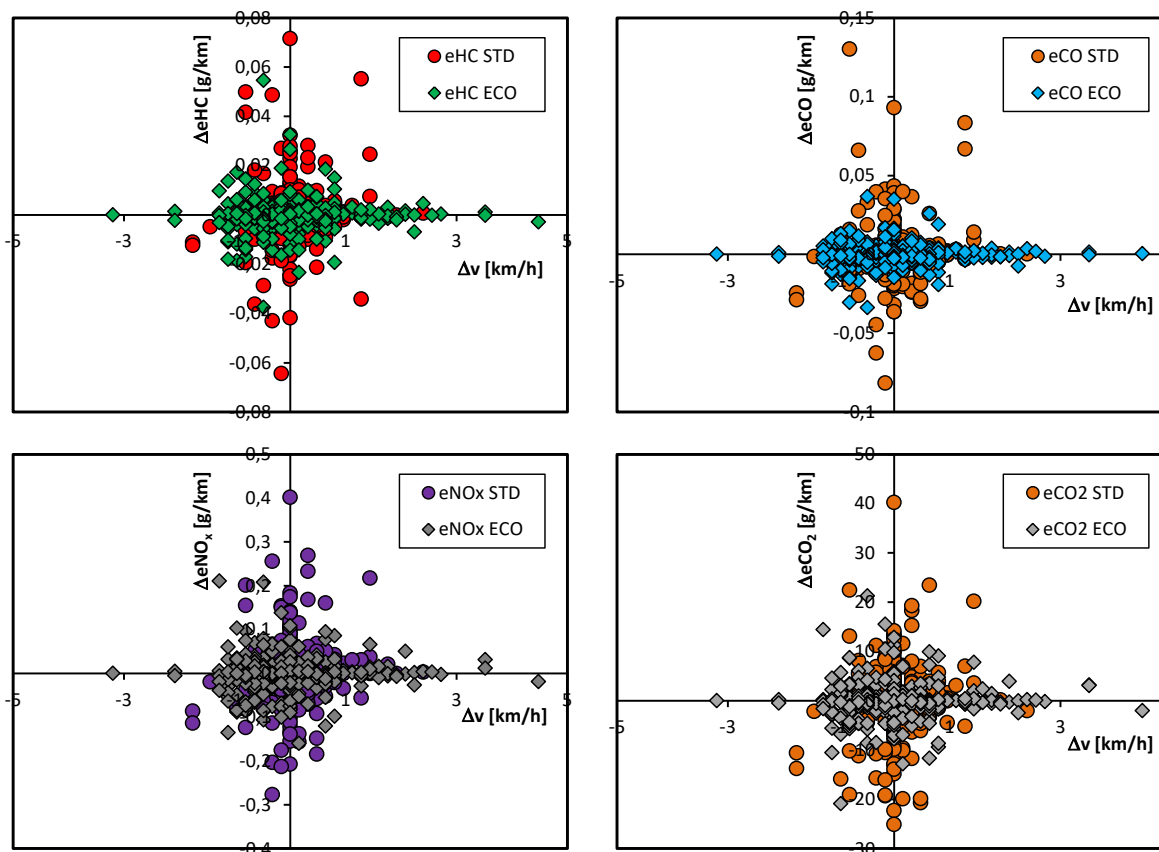
Przetawione analizy wskazują, że wykorzystanie ekodrivingu jest najskuteczniejsze w odniesieniu do emisji dwutlenku węgla (22%), następnie węglowodorów (14%) oraz tlenu węgla (12%). Nieznacznie zwiększeniu uległa emisja tlenków azotu (3%).

W przypadku pojazdu SA108 spełniającego normę Stage II wykorzystanie ekodrivingu jest skutecznym sposobem ograniczenia większości gazowych składników spalin.

8.2.2. Przejazdy lokomotywą SA108 – Stage III

Przejazdów pojazdem szynowym SA108 spełniającym normę Stage III dokonano na tej samej trasie co pojazdem SA108 II. Takie prace umożliwiają bezpośrednie porównanie wartości emisji. Są to takie same pojazdy, w których różnica wynika z typu zamontowanego silnika (przedstawiono je w rozdz. 6 – Metodyka badań).

Ocenę przejazdów we współrzędnych $\Delta e = f(\Delta V)$ przedstawiono na rys. 8.5. W tym przejeździe różnice nie są tak duże. Może to wynikać z normy emisji spalin spełnianej przez ten pojazd szynowy. Oznacza to, że wartości emisji mogą być również podobne. Analiza wyników wskazuje na znacznie mniejsze wartości zmian prędkości jazdy (w porównaniu do SA108 II), przy czym: wartości zmian emisji węglowodorów są większe o 100%, emisji tlenu węgla nieco mniejsze, emisji tlenków azotu oraz dwutlenku węgla – porównywalne.

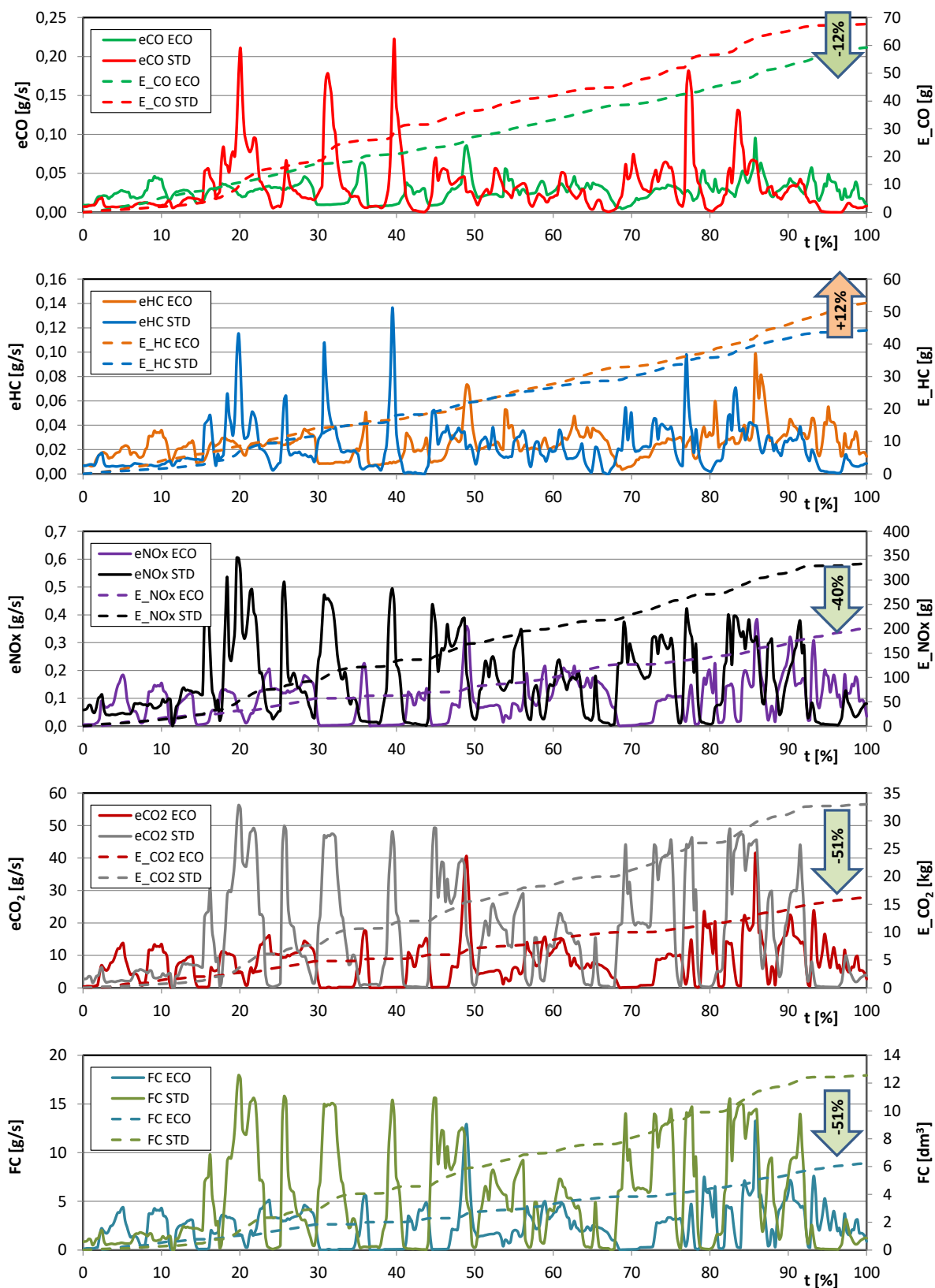


Rys. 8.5. Emisja drogowa składników spalin w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodrivingu określona na podstawie zmian prędkości jazdy – pojazd szynowy SA108 III

Przedstawione wyniki zmian prędkości jazdy oraz zmian emisji cechują się większym skupieniem wokół wartości zerowej. Oznacza to płynną jazdę pojazdem zarówno podczas przyspieszania oraz hamowania. Maszynista – w trybie standardowym, również nie wykorzystuje tzw. trybu forsownego (polegającego na szybkim osiągnięciu maksymalnej dopuszczalnej prędkości jazdy).

Analizę emisji drogowej podczas tego przejazdu zawarto na rys. 8.6. Mimo, że zmiany prędkości w dwóch trybach jazdy nie wykazywały dużych rozbieżności, to emisja drogowa tlenu węgla jest zdecydowanie zróżnicowana. Już początkowe fragmenty jazdy wskazują na jej ograniczenie. Brak jest typowych pików zmian emisji w przypadku trybu ekodriving. W rezultacie uzyskuje się 12% ograniczenie skumulowanej wartości emisji CO. Podczas analizy emisji węglowodorów stwierdzono, że początkowe warunki jazdy skutkują jednakowymi wartościami skumulowanej emisji (mimo zróżnicowanych wartości natężenia emisji HC).

Druga część pokonanej trasy wskazuje na zwiększenie emisji w trybie ekodrivingu. Sumarycznie uzyskano 12% wzrost emisji węglowodorów podczas ekodrivingu.



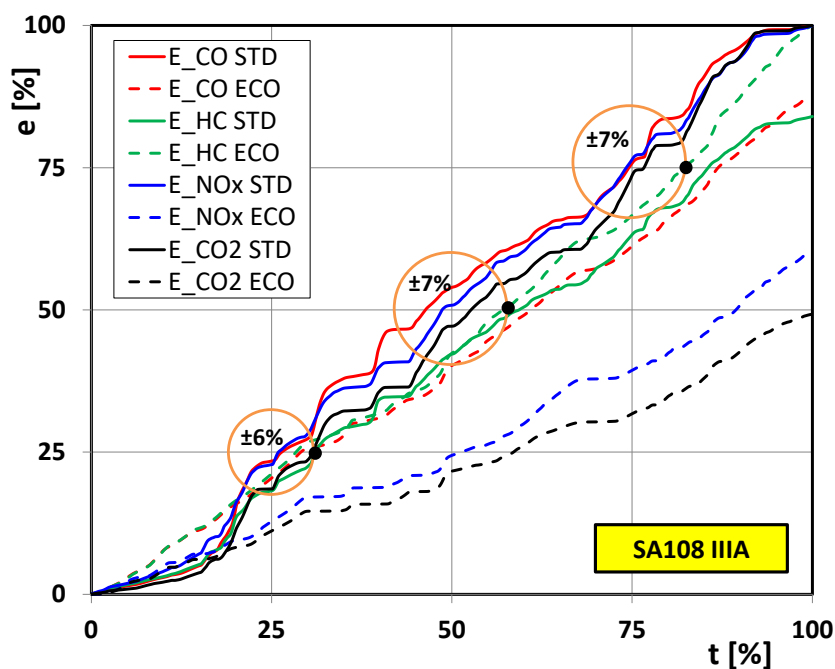
Rys., 8.6. Natężenie emisji spalin, skumulowane wartości tej emisji oraz zużycie paliwa uzyskane w warunkach standardowych oraz ekodrivingu – pojazd szynowy SA108 III

Natężenie emisji tlenków azotu w obu przypadkach przejazdów jest odmienne. Ekodriving skutkuje znaczącym ograniczeniem emisji tlenków azotu. Cały przejazd cechuje się równomiernym ograniczeniem emisji w warunkach łagodnego przejazdu. W efekcie uzyskano 40% ograniczenie emisji tego składnika spalin.

Duże ograniczenie NO_x powoduje, że uzyskano także duże ograniczenie zużycia paliwa, co potwierdza przebieg natężenia emisji dwutlenku węgla. Przebieg zmian skumulowanej emisji CO_2 ma kształt zbliżony emisji NO_x . W konsekwencji ograniczono zużycie paliwa o 51%.

Ocena skumulowanych względnych wartości emisji (rys. 8.7) ma nieco inny przebieg niż dla pojazdu szynowego SA108 II. W tym przypadku, w pierwszej ćwiartce trasy obserwuje się gwałtowny przyrost emisji. Przy 25% pokonanej drogi, emisja CO_2 jest najmniejsza. Jej rozrzut wynosi 6%. W kolejnej części trasy obserwuje się zwiększenie wartości emisji tlenku węgla oraz tlenków azotu (przy 50% drogi wartości emisji wynoszą ponad 50%). W tym zakresie największe zmiany dotyczą węglowodorów (7%). Takie same wartości dotyczą trzeciej ćwiartki dystansu.

Względne emisje dotyczące ekodringingu wskazują na ich znaczne ograniczenie w stosunku do przejazdów standardowych. W połowie trasy emisję NO_x oraz CO_2 ograniczono o 50% (wynoszą około 25% maksymalnej względnej emisji podstawowego przejazdu).



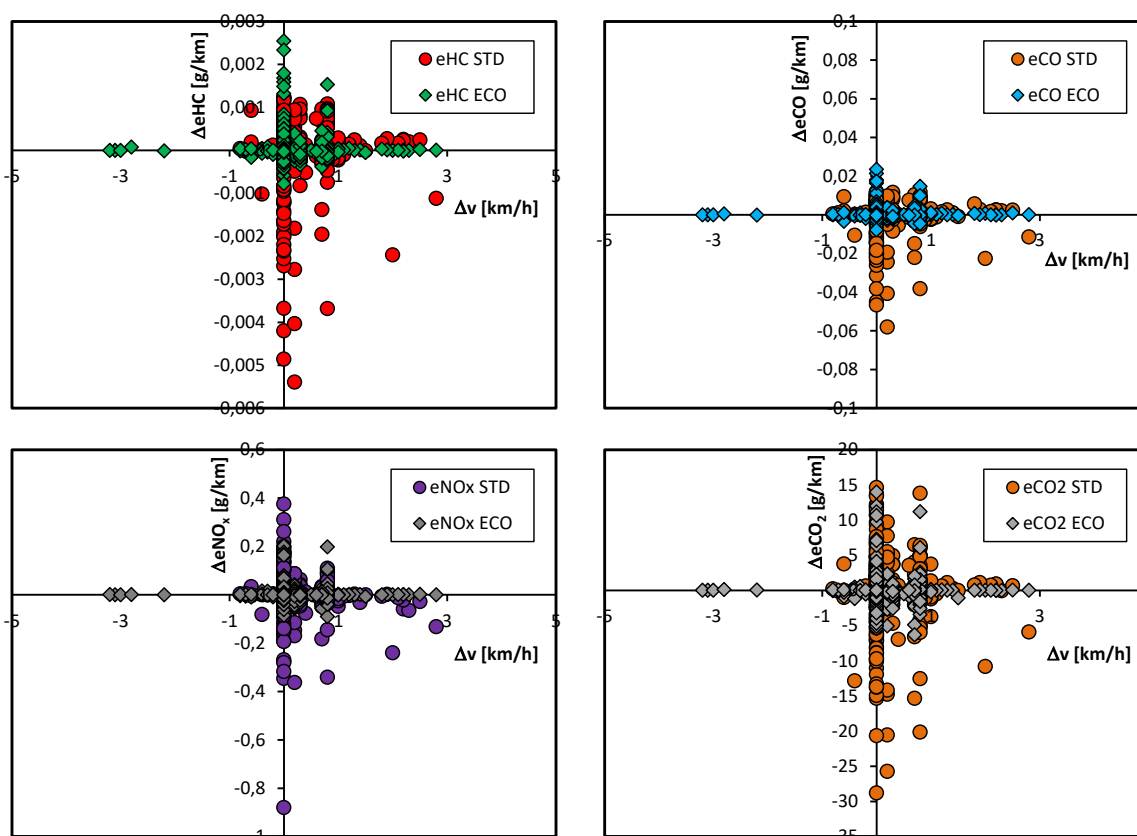
Rys. 8.7. Względna emisja skumulowana odniesiona do względnej drogi w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodringingu – pojazd szynowy SA108 III

Przetawione analizy wskazują, że wykorzystanie ekodringingu jest najskuteczniejsze w odniesieniu do emisji dwutlenku węgla (51%), tlenków azotu (40%) oraz tlenku węgla (12%). Pewnemu zwiększeniu uległa emisja węglowodorów (12%).

W przypadku pojazdu SA108 spełniającego normę Stage III wykorzystanie ekodringingu jest skutecznym sposobem ograniczenia emisji dwutlenku węgla o ponad 50%. Jest to wartość, która potwierdza także znaczne ograniczenie emisji tlenków azotu. Taki przypadek potwierdza, że ekologiczna jazda pojazdem szynowym umożliwia drastyczne ograniczenie emisji tlenków azotu. Składnik ten w przypadku pojazdu spełniającego normę Stage IIIA nie jest ograniczany bezpośrednio w układzie wylotowym (silnik wyposażono w układy spełniające normę Stage IIIA, czyli nie ograniczające w układzie wylotowym tlenków azotu – bez układu SCR).

8.2.3. Przejazdy lokomotywą LINK

Pojazd szynowy LINK testowano na całej długości dostępnego toru testowego 7,7 km (w Żmigrodzie) z wykorzystaniem stylu jazdy standardowego oraz ekodrivingu. Brak typowego przejazdu powoduje, że warunki hamowania pojazdem nie odpowiadają tym przedstawionym poprzednio. Pojazd ten wyposażono w silnik spełniający normę Stage IIIB, co powoduje, że zmiany emisji są mniejsze niż podczas badań pojazdów SA108. Można przyjąć, że zmiany emisji CO oraz NO_x są podobne (rys. 8.8), jednak pozostałe składniki HC oraz CO₂ są znacząco mniejsze (od dwóch do kilku razy). Dodatkowo, ze względu na tor, różnice w stylach jazdy są mniej widoczne na rysunkach dotyczących zmiany prędkości i zmiany emisji.



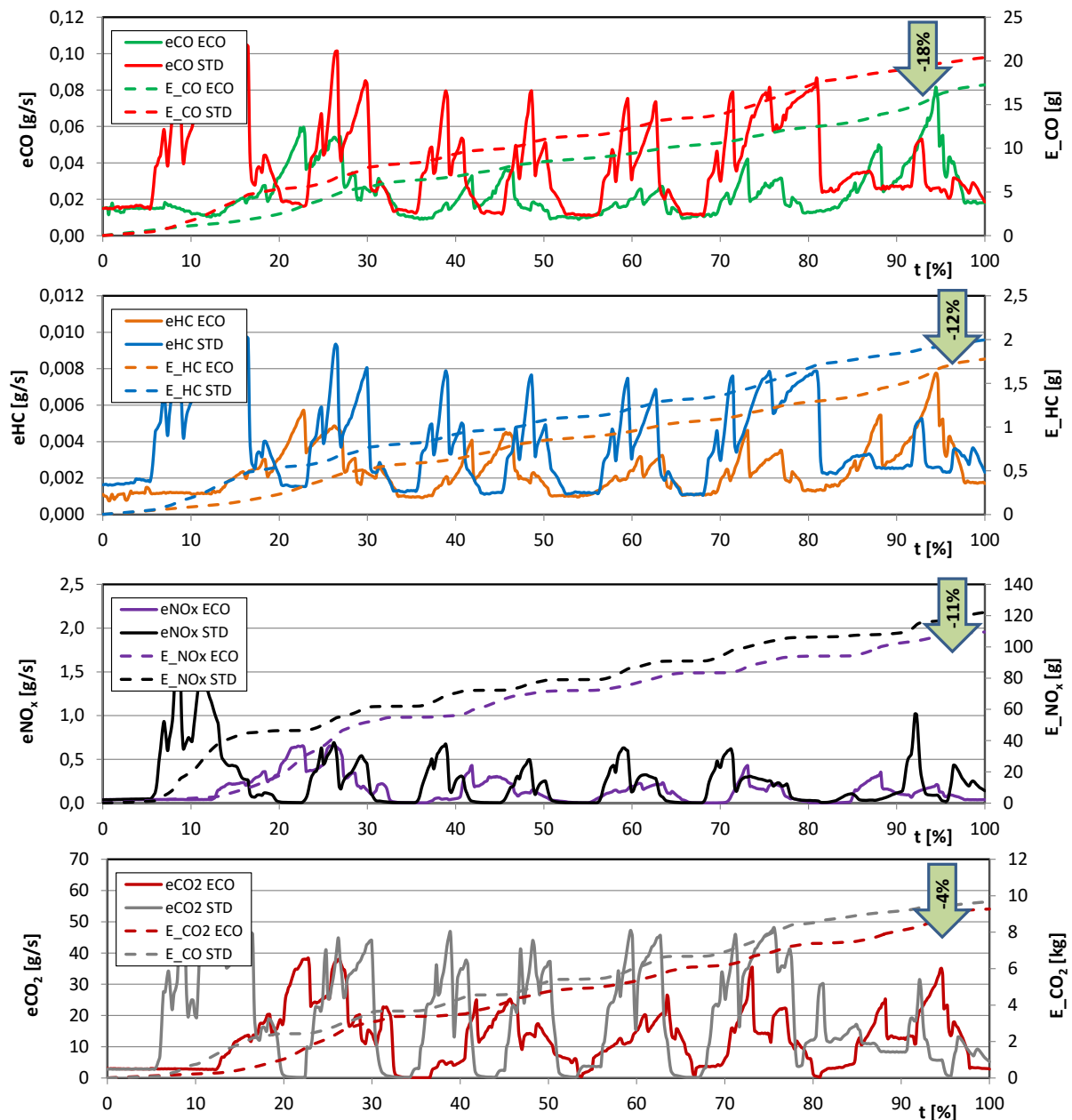
Rys., 8.8. Emisja drogowa składników spalin w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodrivingu określona na podstawie zmian prędkości jazdy – pojazd szynowy LINK

Warunki toru testowego, mimo, że nie odpowiadają typowym liniom kolejowym, umożliwiły ocenę wpływu stylu jazdy maszynisty na emisję spalin. Natężenie emisji tlenku węgla w trybie standardowym jest znacznie większe (i powtarzalne) w odniesieniu do trybu ekodrivingu. Skumulowana emisja CO w trybie standardowym jest o 18% większa w odniesieniu do trybu ekodrivingu.

Podobne rezultaty uzyskano podczas analiz natężenia emisji węglowodorów. Natężenie to jest odzwierciedleniem natężenia emisji tlenku węgla. Skumulowane wartości tej emisji w trybie standardowym są o 12% większe od emisji w trybie ekodrivingu.

Poziom emisji tlenków azotu nie odbiega od wcześniej badanych pojazdów szynowych. W tym przypadku jednak, emisja w trybie standardowym jest większa (o 11%) od emisji w trybie ekodrivingu. Należy jednak zauważyć, że wielkości tych emisji w dużym przedziale czasowym utrzymywały się na podobnym poziomie.

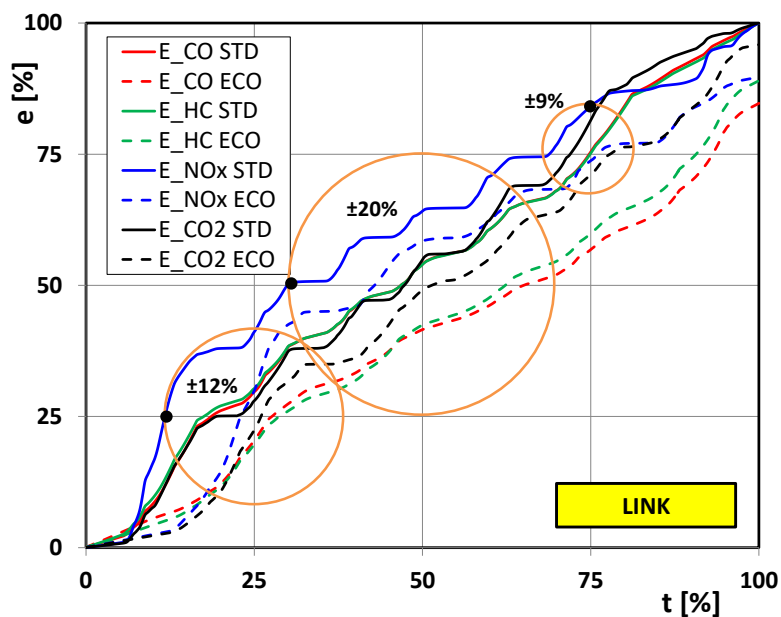
Wykorzystanie różnych stylów jazdy pojazdem LINK nie wpływa na wielkość emisji dwutlenku węgla (różnica między trybami jazdy to 4%, ze wskazaniem na tryb ECO). Tym samym nie odnotowano zmian w zużyciu paliwa.



Rys. 8.9. Natężenie emisji spalin oraz skumulowane wartości tej emisji uzyskane w warunkach standardowych oraz ekodrivingu – pojazd szynowy LINK

Względne, skumulowane wartości emisji przedstawiono na rys. 8.10. W tym przypadku różnice są największe. Emisja tlenków azotu zwiększa się znacząco już od początku przejazdu. Osiąga 25% wartości w połowie 25% dystansu. Dalsze zwiększanie tej emisji powoduje, że 50% uzyskuje się po pokonaniu 30% dystansu. Nawet przejazd w trybie ECO wskazuje na zwiększone wartości względnej emisji tlenków azotu. Mimo to emisja wszystkich składników w trybie ekodrivingu jest mniejsza niż w trybie standardowym.

Należy zaznaczyć na podstawie doświadczenia i znajomości użytkownika taboru kolejowego, że większość maszynistów nie stosuje w żadnym stopniu metod ekodrivingu podczas codziennej pracy. Stąd uznaje się, że dodatkowe szkolenia i wyeliminowanie złych nawyków wśród maszynistów może znacząco wpłynąć na ogólną emisję NO_x oraz pozostałych związków toksycznych z silników pojazdów szynowych. Mogłoby to znacząco wpłynąć na poziom zanieczyszczeń generowanych przez pojazdy kolejowe pracujące w obszarach miejskich i gęsto zaludnionych.



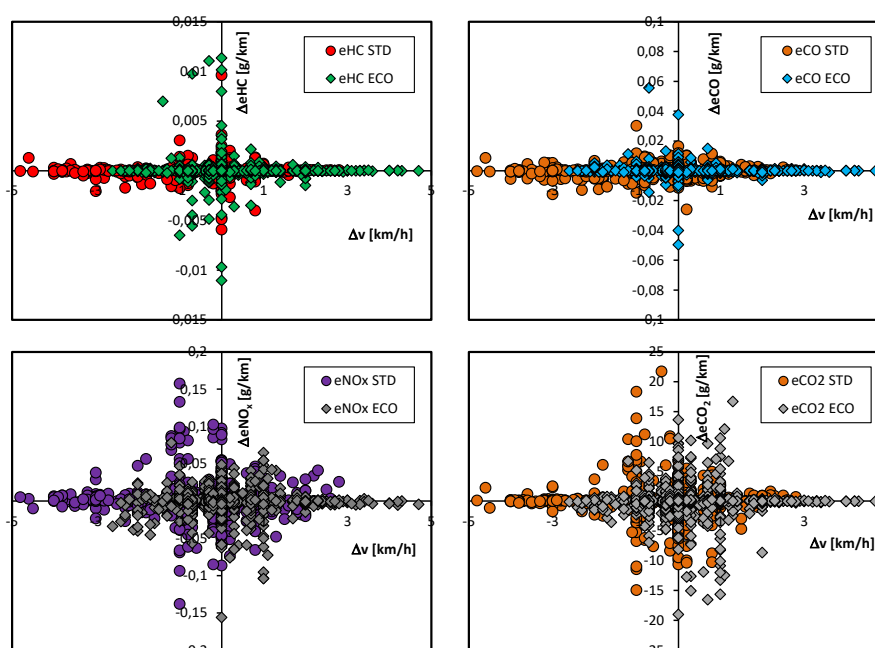
Rys. 8.10. Względna emisja skumulowana odniesiona do względnej drogi w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodringingu – pojazd szynowy SA108 II

Przetawione analizy wskazują, że wykorzystanie ekodringingu z wykorzystaniem pojazdu LINK jest najskuteczniejsze w odniesieniu do emisji tlenku węgla (18%), węglowodorów (12%), tlenków azotu (11%) oraz dwutlenku węgla (4%).

Tak niewielkie zmiany wskazują na duże trudności wykorzystania ekodringingu w pojazdach szynowych wyposażonych w silniki spełniające nowsze normy emisji spalin Stage IIIB.

8.2.4. Badania lokomotywy Gama

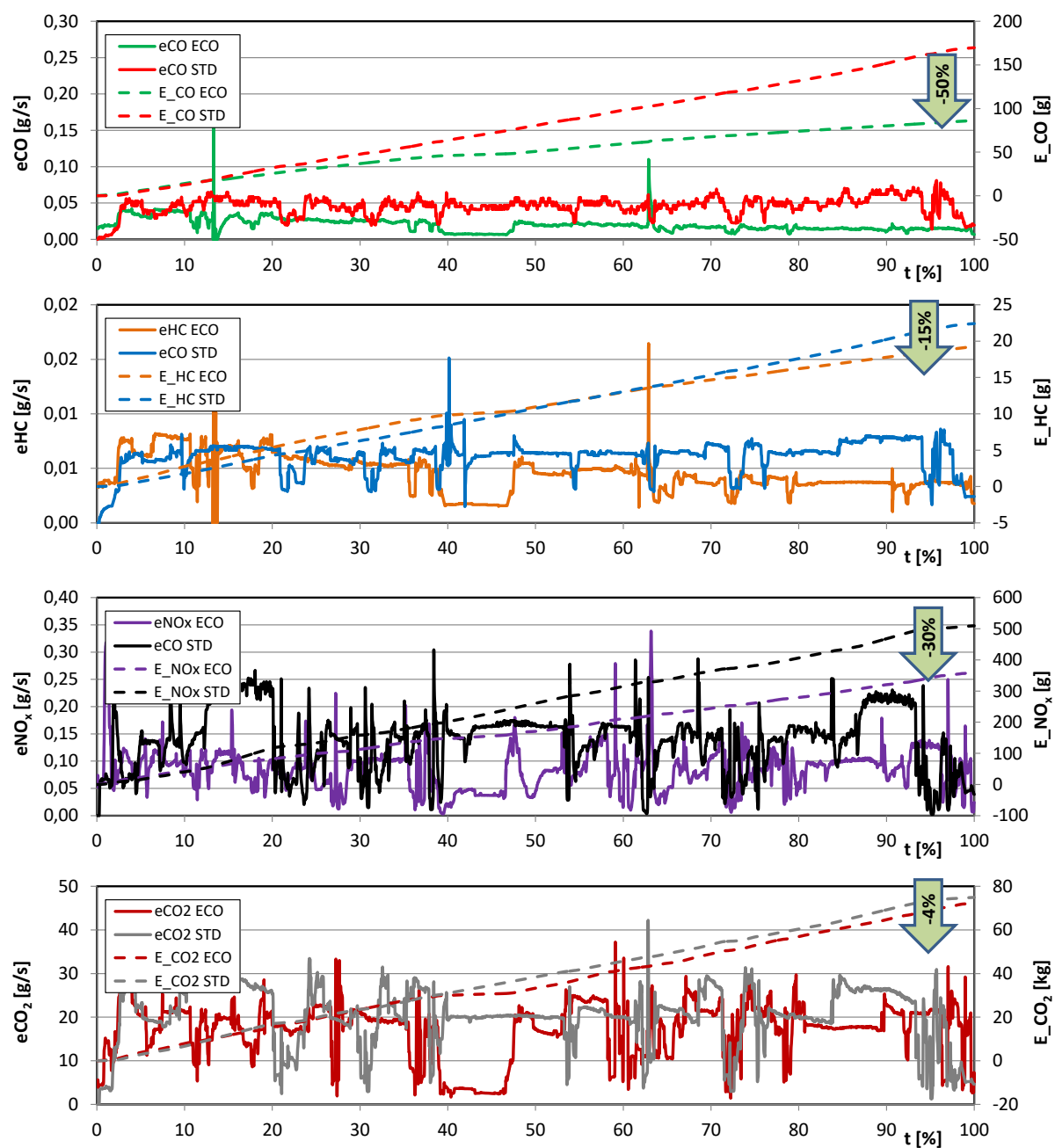
Najnowszym badanym pojazdem szynowym jest Gama Marathon. Jest to lokomotywa elektryczna z dojazdowym silnikiem spalinowym CAT C15 o największej mocy z dotychczas badanych (403 kW).



Rys. 8.11. Emisja drogowa składników spalin w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodringingu określona na podstawie zmian prędkości jazdy – pojazd szynowy Gama

Wartości zmian prędkości i emisji wskazują na istotne różnice w obu przejazdach (rys. 8.11). Przejazd standardowy cechuje się większym zakresem zmian prędkości przy porównywalnych zmianach emisji poszczególnych składników spalin. Bardzo małe różnice w zmianach emisji odnotowano jedynie w przypadku tlenku węgla. Oba te przejazdy cechują się dużą zmiennością prędkości jazdy (największą ze wszystkich analizowanych pojazdów szynowych).

Zmiany natężenia emisji oraz wartości skumulowanej emisji przedstawiono na rys. 8.12. Wartości natężenia emisji w obu przejazdach są proporcjonalne (bez znaczących wahań przebiegów), co oznacza ustabilizowane warunki przejazdów. Ta proporcjonalność przebiegów wpływa na duże różnice w emisji bezwzględnej. Odnotowano 50-procentowe zmniejszenie emisji CO podczas ekodrivingu. Podobny przebieg ma emisja węglowodorów, jednak końcowe wartości zmian nie są tak duże (jedynie 15%).

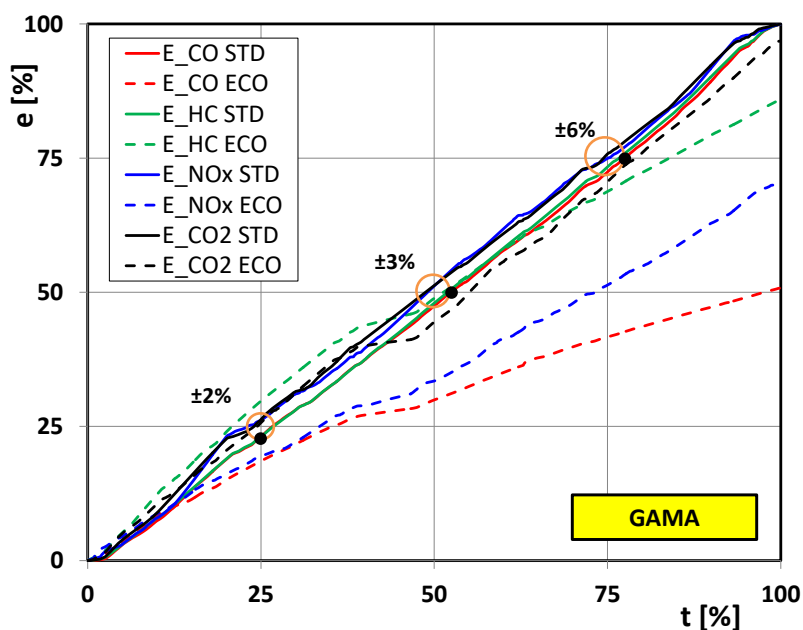


Rys., 8.12. Natężenie emisji spalin oraz skumulowane wartości tej emisji uzyskane w warunkach standardowych oraz ekodrivingu – pojazd szynowy Gama

Natężenie emisji tlenków azotu jest dość zróżnicowane. Występujące różnice powodują, że w efekcie uzyskano ograniczenie emisji NO_x o 30% podczas całego przejazdu. Należy zauważyć proporcjonalność emisji NO_x w obu przejazdach, co wskazuje na skuteczne wykorzystanie ekodrivingu podczas pokonywania tej trasy. Mimo dużych zmian w emisji NO_x nie odnotowano podobnych zmian podczas emisji dwutlenku węgla. W tym przypadku korzyści wynoszą jedynie 4%.

Ocena względnych zmian emisji podczas przejazdu pojazdem Gama wskazuje na bardzo dużą liniowość zmian w odniesieniu do pokonanej trasy (rys. 8.13). Przejazd standardowy cechuje się praktycznie liniowymi przyrostami emisji dla wszystkich analizowanych składników spalin.

Analiza jedynie przejazdów ekodrivingu wskazuje na istnienie innych zależności. Ograniczenie emisji CO po pokonaniu połowy trasy wynosi już prawie 25 punktów procentowych. W końcowym fragmencie trasy osiąga pełne 50% w stosunku do przejazdu standardowego.



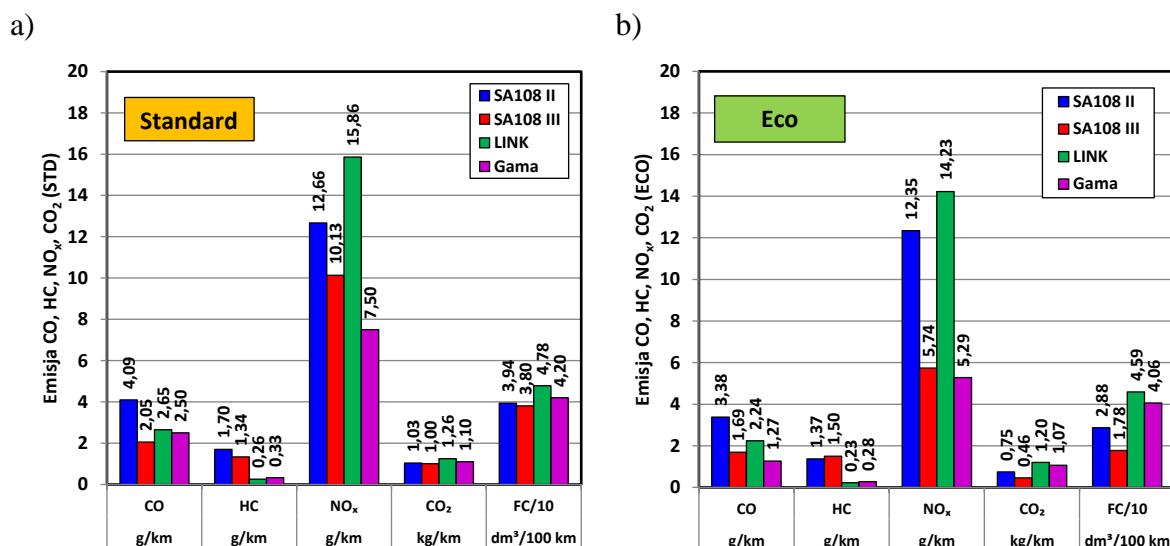
Rys. 8.13. Względna emisja skumulowana odniesiona do względnej drogi w warunkach standardowych przejazdów oraz ekodrivingu – pojazd szynowy Gama

Przedstawione dotychczas analizy dotyczyły oceny bezwzględnych wartości emisji. Dalsza część analiz – przedstawionych w kolejnym podrozdziale – dotyczy emisji drogowej.

8.3. Ocena ekonomicznego trybu jazdy pojazdów szynowych

Analiza emisji drogowej umożliwia porównanie pojazdów szynowych między sobą. Większość badanych pojazdów szynowych spełnia normę emisji Stage II lub Stage III. Oznacza to, że różnice między pojazdami nie powinny być duże. Jednakże badano pojazdy zarówno nowe oraz będące już eksploatowanymi na liniach kolejowych. Tak więc można spodziewać się różnic, tym bardziej, że część pojazdów to układy dwu- a inne – trójczłonowe.

Analiza wyników badań umożliwiła analizę drogową emisji, której wyniki przedstawiono na rys. 8.14. Na uwagę zasługują największe wartości emisji tlenków azotu (praktycznie przekroczone w stosunku do limitów homologacyjnych). Zmiany emisji CO w przejazdach standardowych wynoszą około 100%: dla SA108 II – 4 g/km, a dla SA108 III – 2 g/km. Zmiany emisji HC między analizowanymi pojazdami są jeszcze większe – zarówno dla przejazdów standardowych oraz ekodrivingu. Również zmiany emisji NO_x wynoszą ponad 100% – od poniżej 8 g/km do prawie 16 g/km. Najbardziej wyrównanymi wartościami cechuje się emisja dwutlenku węgla w przejazdach standardowych.

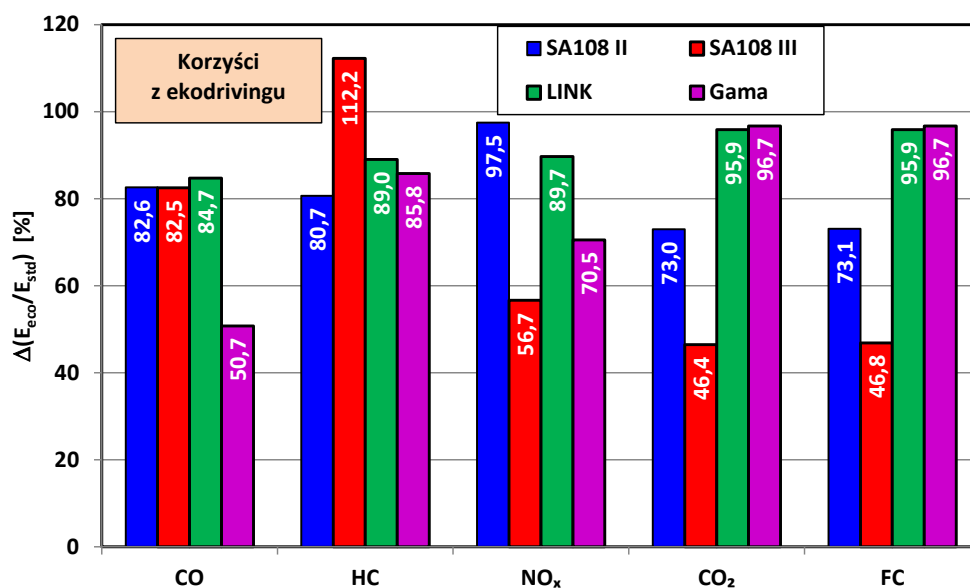


Rys. 8.14. Emisja drogowa składników spalin w różnych warunkach jazdy: a) standardowym, b) ekodrivingu

Korzyści ekologiczne z ekodrivingu przedstawiono na rys. 8.15. Brak jest jednoznacznych tendencji dotyczących zmian emisji. Wynika to częściowo z różnych pojazdów szynowych, a dodatkowo z różnych tras przejazdu. Należy jednak stwierdzić, że ekodriving ogranicza emisję praktycznie wszystkich składników spalin. Zdarzają się wyjątki, jednak ze względu na specyfikę badań nie można było dokonać wielu przejazdów, które pozwoliłyby uzyskać informacje statystyczne. Uzyskane wartości zmian w większości przypadków nie dotyczą dokładności pomiaru, co wskazuje na istnienie typowych zależności.

Zmiany emisji przez poszczególne pojazdy można określić następująco:

- SA108 II – ograniczenie emisji składników spalin w zakresie 20-25% (oprócz NO_x),
- SA108 III – ograniczenie emisji o 20-50% (oprócz węglowodorów),
- LINK – ograniczenie emisji o 10-15% (oprócz CO₂),
- Gama – ograniczenie emisji o 15-50% (oprócz CO₂).



Rys. 8.15. Zmiany emisji składników toksycznych analizowanych pojazdów szynowych dla ekodrivingu względem przejazdu standardowego

Jeżeli przyjmie się jednakowe współczynniki wagowe dla każdego ze związków spalin, to można określić największe korzyści dla poszczególnych pojazdów szynowych. Korzyści ekologiczne dla każdego pojazdu szynowego przedstawiają się następująco:

- SA108 III – średnio 25,5%,
- Gama – średnio 24,1%,
- SA108 II – średnio 16,6%,
- LINK – średnio 10,2%.

Jeżeli przyjmie się powyższe założenia, to możliwe jest wskazanie składnika spalin, który uzyskuje największe ograniczenie przy użyciu ekodrivingu. Uśrednione korzyści ekologiczne dla każdego składnika spalin są następujące:

- CO: 24,9%,
- CO₂: 22,0%,
- NO_x: 21,4%,
- HC: 8,1%.

Z przedstawionych analiz wynika, że ekodriving umożliwia ograniczenie emisji spalin dla wszystkich pojazdów, natomiast ograniczenie zużycia paliwa możliwe jest głównie przez starsze konstrukcje pojazdów wykorzystujące już eksploatowane silniki spalinowe.

9. OCENA KOMFORTU JAZDY MASZYNISTY ORAZ PASAŻERÓW

9.1. Wprowadzenie

Do podstawowych zagadnień związanych z transportem należy komfort jazdy. Może być on zdefiniowany m.in. jako brak odczuwania dyskomfortu [25] lub stan umysłowej i fizycznej satysfakcji związanej z przemieszczaniem. Zależy jest od szeregu czynników, takich jak: drgania, temperatura, hałas oraz oświetlenie itd. [49]. W pojazdach poruszających się po drogach na komfort w dużej mierze wpływa występujące przyspieszenie. Kluczową rolę odgrywa styl jazdy i zachowanie kierującego, niemniej jednak znaczący wpływ mają również aktualnie panujące warunki drogowe. Natężenie ruchu często wymusza nagłe hamowanie lub przyspieszenie, co oddziałuje na pasażerów i ich subiektywne odczucia. Opisany problem w mniejszym stopniu dotyczy pojazdów szynowych, gdyż ze względu na charakter poruszania praktycznie nie występują niedogodności związane z natężeniem ruchu. W tym przypadku ważniejszym parametrem skorelowanym z komfortem są drgania. Wpływają one niekorzystnie na ludzkie odczucia, a także powodują zmiany w układzie nerwowym (zwiększają zmęczenie, pogarszają precyzję) [104].

9.2. Ocena drgań w kabinie maszynisty oraz wagonach pasażerskich

Oceny drgań dokonano zgodnie z metodyką badań przedstawioną w rozdz. 6.3. W tabelicy 9.1 zestawiono największe ważone wartości przyspieszenia drgań a_w (filtry Griffina) dla **kabiny maszynisty** w kierunku poziomym i pionowym (wielkość występująca we wzorze 6.8) dla przejazdów między stacjami Kostrzyn Wlkp.–Konin–Kostrzyn Wlkp. Poniższe wartości a_w nie przekraczają wartości określających granicę uciążliwości drgań dla 8- i 12-godzinnej zmiany roboczej (wartości graniczne zamieszczono w rozdz. 6.3 – tabl. 6.6).

Tablica 9.1. Wartości przyspieszenia a_w [m/s²] w kabinie maszynisty A i B

Kierunek drgań	Kabina A		Kabina B	
	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga
poziomy	0,045	0,038	0,046	0,039
pionowy	0,047	0,045	0,053	0,051

W tabelicy 9.2 zestawiono największe ważone wartości przyspieszenia drgań a_w (filtry Griffina) dla **części pasażerskiej** w kierunku poziomym i pionowym. Uzyskane wartości są znacznie mniejsze od wartości określających granicę uciążliwości według norm [72, 73].

Tablica 9.2. Wartości przyspieszenia a_w [m/s²] w części pasażerskiej

Kierunek drgań	Punkt 2 (za kabiną B członu B)		Punkt 3 (w pobliżu silnika członu B)		Punkt 4 (koniec członu B)	
	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga
poziomy	0,028	0,026	0,027	0,025	0,044	0,042
pionowy	0,046	0,037	0,047	0,049	0,051	0,040
Kierunek drgań	Punkt 5 (w pobliżu środka członu A)		Punkt 6 (w pobliżu silnika członu A)		Punkt 7 (za kabiną A członu A)	
	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga
poziomy	0,031	0,028	0,024	0,022	0,036	0,032
pionowy	0,051	0,039	0,052	0,050	0,042	0,035

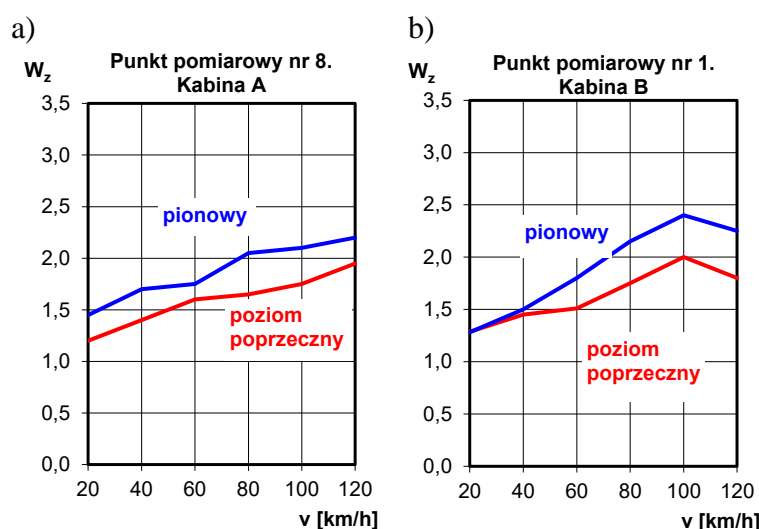
Wyznaczono także wartości wskaźników komfortu jazdy pasażera N_{MV} i N_{VA} (dopuszczalne wartości przedstawiono w metodyce badań – rozdz. 6.3 w tabl. 6.7). Największe wartości wskaźnika komfortu jazdy N badany pojazd osiąga w pomieszczeniach podczas jazd z pręd-

kością $v = 120$ km/h w punktach pomiarowych nr 3 i 4 (człon B) i nr 5 (człon A). Wartość wskaźników zawarta w przedziale $1 \leq N < 2$ oznacza dobry komfort jazdy pasażerów (ocenę komfortu jazdy zamieszczono w metodyce badań – rozdz. 6.3 w tabl. 6.7), a $N_{MV} < 1,5$ bardzo komfortową jazdę (tabl. 9.3).

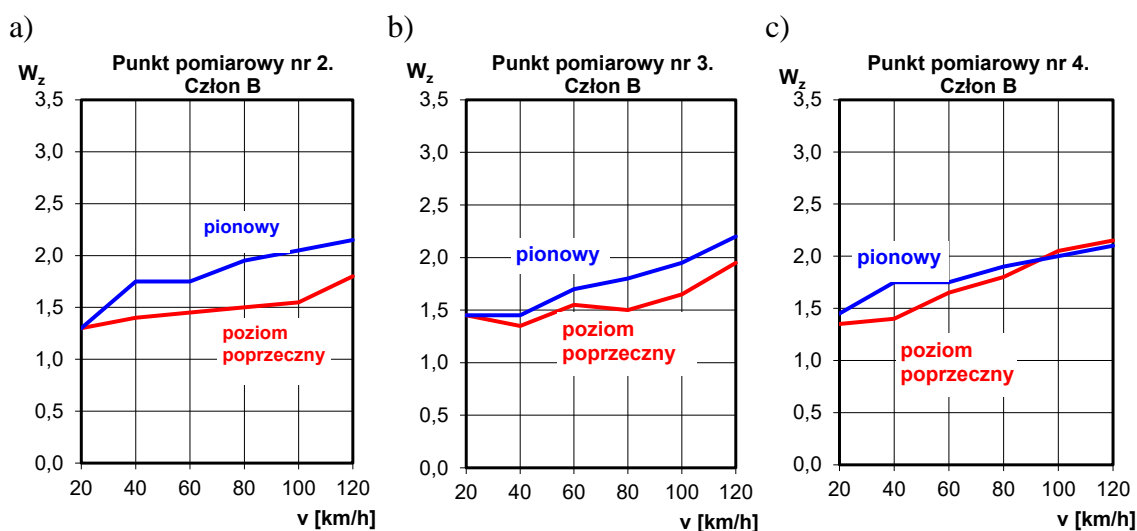
Tablica 9.3. Wartości wskaźników komfortu pasażera N_{MV} i N_{VA}

Wskaźnik	Punkt nr 3	Punkt nr 4	Punkt nr 5
N_{MV}	0,96	0,99	0,91
N_{VA}	1,01	0,89	1,03

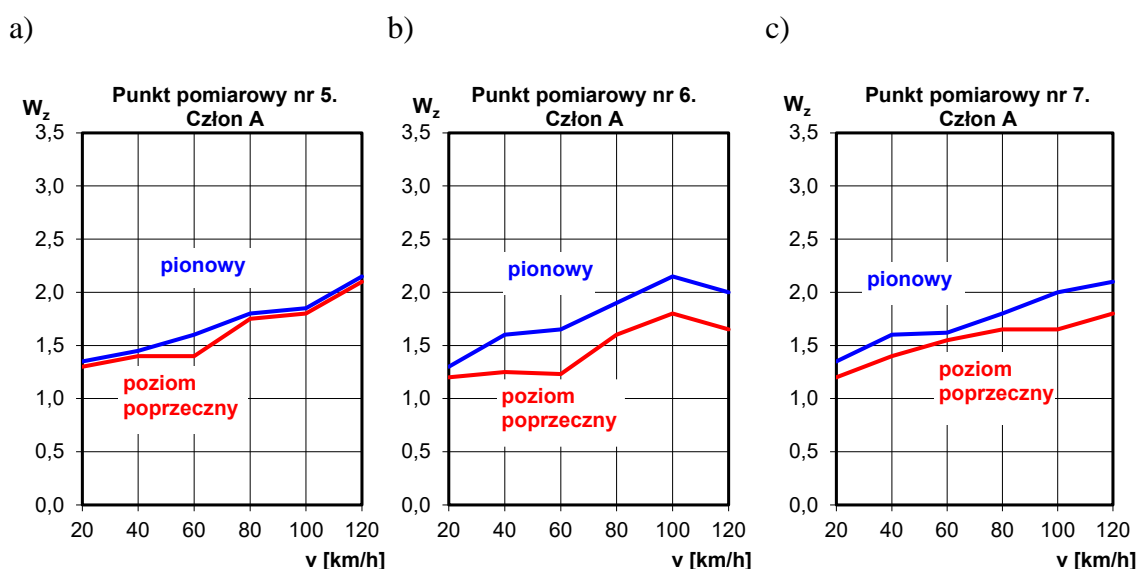
Zarejestrowane przyspieszenia drgań pojazdu A (220M) występujące na podłodze w kabine maszynisty podczas jazd z prędkościami 20–120 km/h poddano dalszej obróbce, w celu wyznaczenia wskaźnika spokojności biegu. Otrzymane wartości wskaźnika W_z zestawiono poglądowo na rys. 9.1–9.7 (metodykę wyznaczania tego wskaźnika zawarto w rozdz. 6.3 – równania (6.9)–(6.11)).



Rys. 9.1. Przebieg wskaźnika spokojności biegu w funkcji prędkości dla spalinyowego zespołu trakcyjnego typu 220M: a) pkt 8, kabina A, b) pkt 1, kabina B



Rys. 9.2. Przebieg wskaźnika spokojności biegu w funkcji prędkości dla spalinyowego zespołu trakcyjnego typu 220M: a) pkt 2, człon B, b) pkt 3, człon B, c) pkt 4, człon B



Rys. 9.3. Przebieg wskaźnika spokojności biegu w funkcji prędkości dla spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M: a) pkt 5, człon A, b) pkt 6, człon A, c) pkt 7, człon A

Uśrednione wartości wskaźnika W_z dotycząjazd po torach z podkładami betonowymi (śrubowe i sprężyste mocowanie szyn) oraz drewnianymi (śrubowe mocowanie szyn). Największa średnia wartość wskaźnika W_z w pomieszczeniach pasażerskich występuje dla drgań w kierunku pionowym podczas jazdy z $v = 120$ km/h i wynosi $W_z = 2,21$ (pkt nr 3 człon B). Natomiast w kabinie maszynisty największa wartość występuje podczas jazdy z $v = 100$ km/h (dla kierunku pionowego) i wynosi $W_z = 2,37$ (kabina w członie B). Wartości te są znacząco mniejsze od kryterium przyjętego za dopuszczalne, tj. $W_z = 3,25$.

Podobne analizy wykonano dla pojazdu 221M (pojazd trójczłonowy). Zarejestrowane wartości przyspieszenia drgań (na fotelu i podłodze) podczas jazd z prędkościami 20–120 km/h oraz na postoju poddano dalszej obróbce stosując program do obliczania wartości RMS przyspieszenia oraz wskaźnika W_z . W tabelicy 9.4 zestawiono największe ważone wartości przyspieszenia drgań a_w (filtry Griffina) w kierunku poziomym i pionowym dla całości jazd po torach między stacjami Poznań–Zbąszynek–Poznań. Poniższe wartości a_w nie przekraczają wartości określających granicę uciążliwości drgań dla 8- i 12-godzinnej zmiany roboczej.

Tabela 9.4. Wartości przyspieszenia a_w [m/s²] w kabinie maszynisty A i B

Kierunek drgań	Kabina A		Kabina B	
	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga
poziomy	0,04	0,04	0,04	0,04
pionowy	0,06	0,06	0,06	0,06

Podobnie jak poprzednio, w tabl. 9.5 zestawiono największe ważone wartości przyspieszenia drgań a_w (filtry Griffina) dla części pasażerskiej w kierunku poziomym i pionowym dla jazd pojazdem 221M. Uzyskane wartości są znacznie mniejsze od wartości określających granicę uciążliwości według norm [84, 85].

Tablica 9.5. Wartości przyspieszenia a_w [m/s²] w części pasażerskiej

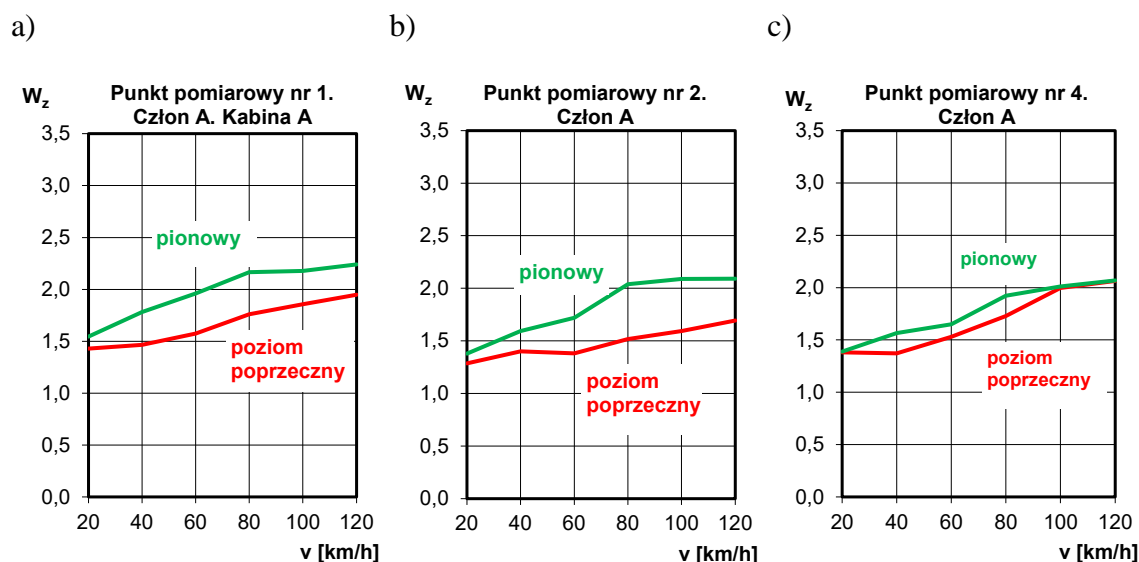
Kierunek drgań	Punkt 2 (człon A)		Punkt 3 (człon A)		Punkt 4 (człon A)	
	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga
poziomy	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
pionowy	0,05	0,04	0,06	0,07	0,05	0,04
Kierunek drgań	Punkt 5 (członu C)		Punkt 6 (członu C)		Punkt 7 (człon B)	
	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga
poziomy	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
pionowy	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
Kierunek drgań	Punkt 8 (człon B)		Punkt 9 (człon B)			
	Fotel	Podłoga	Fotel	Podłoga		
poziomy	0,03	0,03	0,04	0,03		
pionowy	0,05	0,05	0,05	0,04		

Wyznaczono również wartości wskaźników komfortu jazdy pasażera N_{MV} i N_V (tabl. 9.6). Największe wartości wskaźnika komfortu jazdy – N , badany pojazd osiąga w pomieszczeniach podczas jazd z prędkością $v = 120$ km/h.

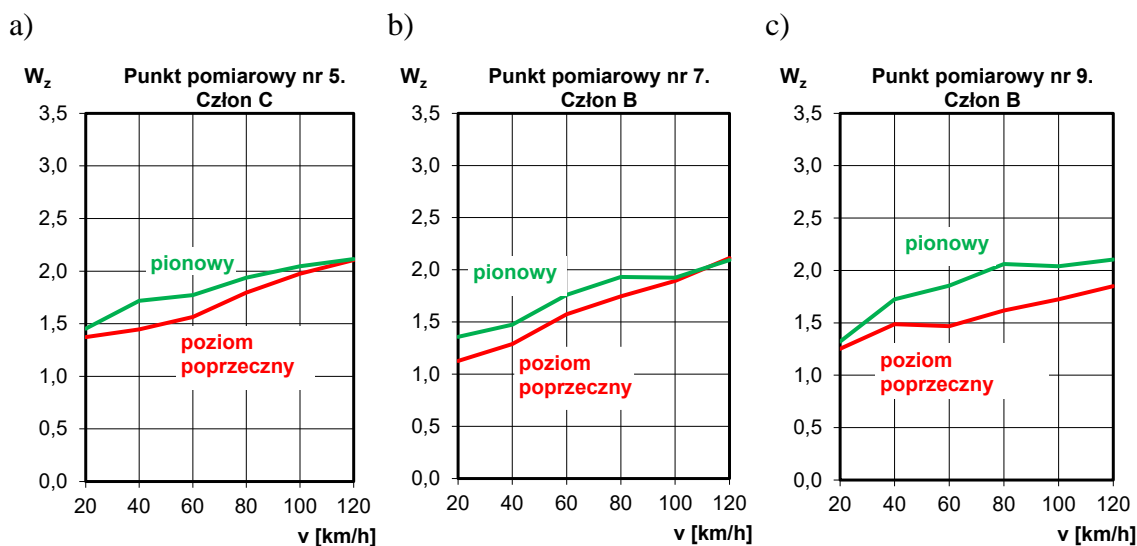
Tablica 9.6. Wartości wskaźników komfortu pasażera N_{MV} i N_{VA}

Wskaźnik	Punkt nr 3	Punkt nr 5	Punkt nr 7
N_{MV}	0,89	0,92	0,92
N_{VA}	0,88	0,85	0,79

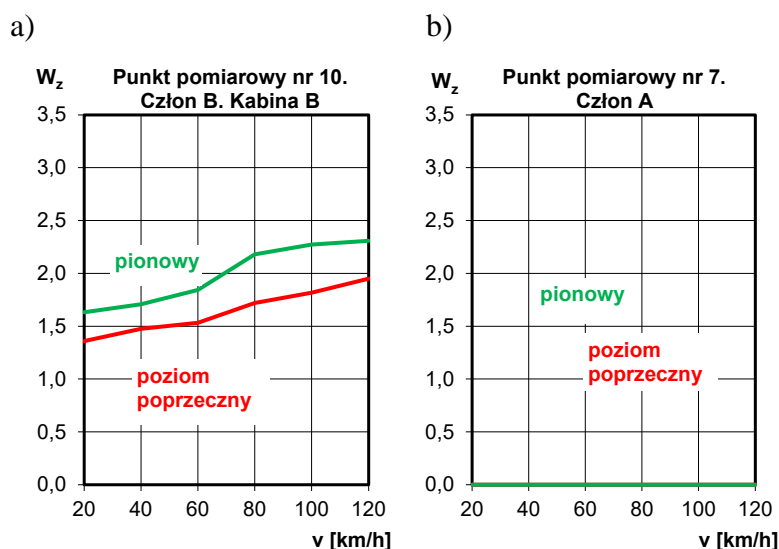
Zarejestrowane przyspieszenia drgań pojazdu B (221M) występujące na podłodze w kabinach maszynisty oraz w poszczególnych członach (w rejonie wózków) podczas jazd z prędkościami 20–120 km/h poddano dalszej obróbce, w celu wyznaczenia wskaźnika spokojności biegu W_z . Otrzymane wartości wskaźnika W_z zestawiono na rys. 9.4–9.6.



Rys. 9.4. Przebieg wskaźnika spokojności biegu w funkcji prędkości dla spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M: a) pkt 1, człon A kabina A, b) pkt 2, człon A, c) pkt 4, człon A



Rys. 9.5. Przebieg wskaźnika spokojności biegu w funkcji prędkości dla spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M: a) pkt 5, człon C, b) pkt 7, człon B, c) pkt 9, człon B



Rys. 9.6. Przebieg wskaźnika spokojności biegu w funkcji prędkości dla spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M: a) pkt 10, człon B, b) pkt 7, człon A

Największe średnie wartości wskaźnika spokojności biegu W_z występują podczas jazdy z prędkością $v = 120$ km/h i wynoszą (w nawiasie podano numer punktu pomiarowego):

– w kabinach maszynisty:

Kierunek drgań	kabina A	kabina B
Poziomy, poprzeczny	1,95 (1)	1,95 (10)
Pionowy	2,24 (1)	2,31 (10)

– w członach pasażerskich:

Kierunek drgań	człon A	człon B	człon C
Poziomy, poprzeczny	2,06 (4)	2,11 (5)	2,11 (7)
Pionowy	2,09 (2)	2,11 (5)	2,10 (9)

Wartości te są znacząco mniejsze od przyjętego kryterium tj. $W_z = 3,25$.

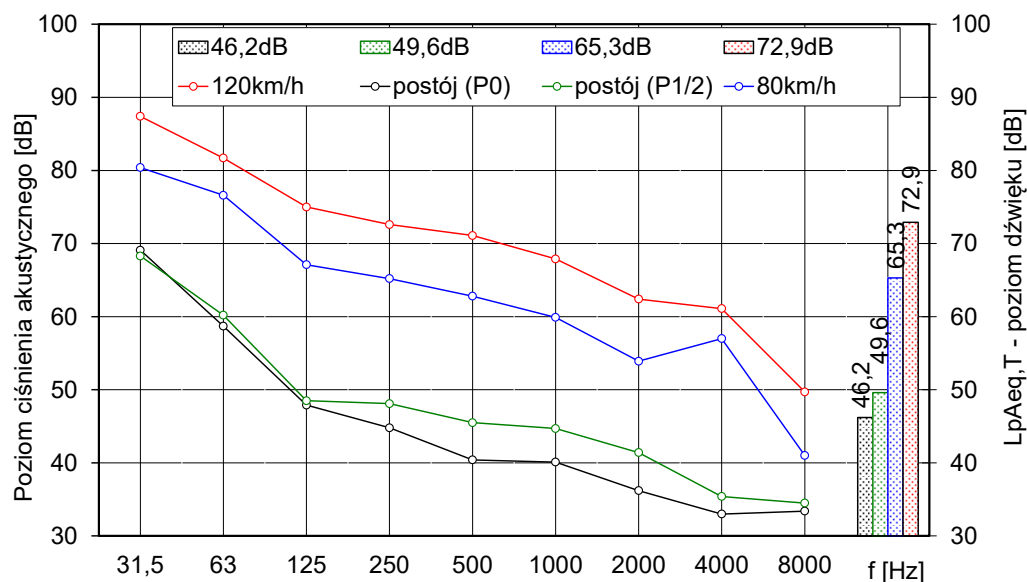
9.3. Ocena akustyczna kabiny maszynisty oraz wagonów pasażerskich

Badania wewnątrz pojazdu na postoju oraz w ruchu wykonano podczasjazd na torach PLK między stacjami Kostrzyn Wlkp.–Konin–Kostrzyn Wlkp. Zakres badań akustycznych był zgodny z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury [14]. Pomiar realizowano w oparciu o Program Prób i Badań [93] i wymagania przedstawione w odpowiednich normach: PN-92/K-11000 [74], PN-86/N-01338 [71], PN-86/N-01321 [70], PN-EN ISO 3381 [79], TSI – Hałas [113] mierząc poziom hałasu w kabinie oraz w części pasażerskiej poszczególnych członów podczas jazdy i na postoju.

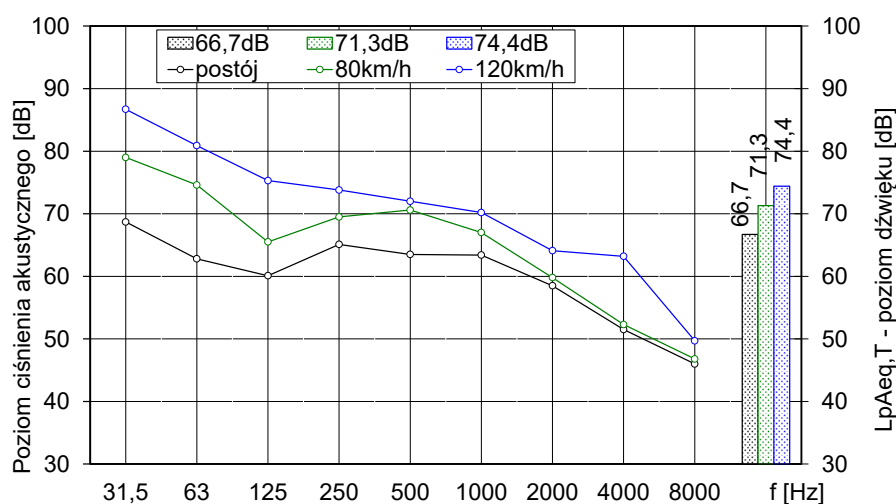
Pomiary **poziomu hałasu słyszalnego** w kabinach maszynisty i w pomieszczeniach pasażerskich wykonano na postoju oraz podczas jazd z prędkością 80 km/h oraz 120 km/h między stacjami Kostrzyn Wlkp.–Konin–Kostrzyn Wlkp. przy drzwiach i oknach zamkniętych. Podczas jazdy z prędkością 80 km/h prędkości obrotowe silników spalinowych wynosiły około 1300 obr/min, a przy prędkości 120 km/h około 1550 obr/min. Badania w kabinie wykonano przy załączonym i wyłączonym nawiewie układu klimatyzacji oraz ogrzewania (układy pracowały oddzielnie). Natomiast w pomieszczeniach pasażerskich pomiary wykonano przy załączonym i wyłączonym nawiewie wentylatora układu klimatyzacji. Pozostałe wymagania przedstawiono w rozdziale dotyczącym metodyki badań – rozdz. 6.

Tor między stacjami Swarzędz i Konin jest zbudowany z szyn S-60 ułożonych na podkładach strunobetonowych (mocowanie szyn sprężyste) oraz na niektórych odcinkach na podkładach drewnianych (mocowanie szyn śrubowe). Natomiast tor między stacjami Konin–Swarzędz położony jest na podkładach strunobetonowych przy sprężystym mocowaniu szyn. Na obwodnicy stacji Września szyny są położone na podkładach drewnianych i mocowane śrubowo. Podsypkę stanowi tłużeń. Dopuszczalna prędkość jazdy wynosi 160 km/h.

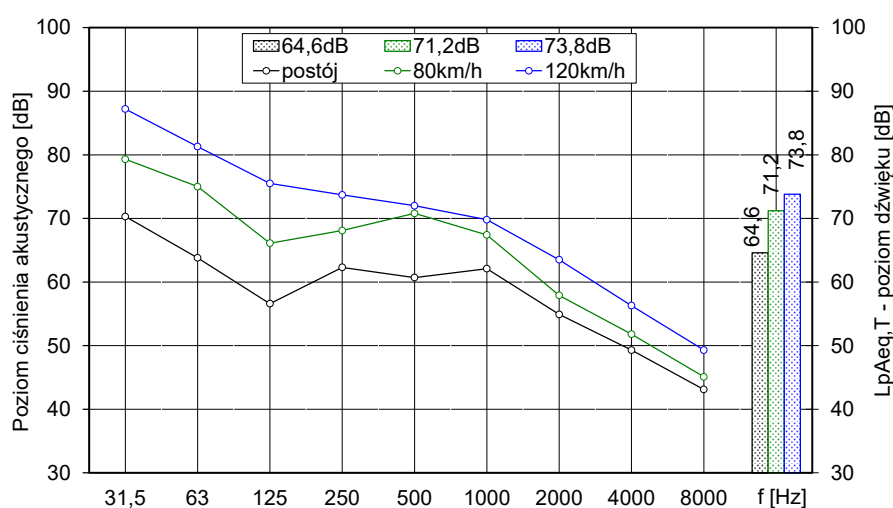
Zmierzono wartości poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych i poziomów dźwięku w kabinach (rys. 9.7–9.9). W oparciu o uzyskane szczegółowe wyniki przytoczono istotne do oceny średnie wartości poziomów dźwięku dla hałasu słyszalnego w kabinach pojazdu (tabl. 9.7).



Rys. 9.7. Hałas słyszalny, przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M (kabina B; w kabinie wyłączony nawiew klimatyzacji (K0) i ogrzewania (O0); w pomieszczeniu pasażerskim załączona lub wyłączona klimatyzacja)



Rys. 9.8. Hałas słyszalny, przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M (kabina B; w kabinie załączony nawiew klimatyzacji (K3); w pomieszczeniu pasażerskim załączona klimatyzacja (P1); przejazd po torze z podkładami drewnianymi)



Rys. 9.9. Hałas słyszalny, przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M (kabina B; w kabinie załączony nawiew ogrzewania (O3); w pomieszczeniu pasażerskim załączona klimatyzacja (P1))

Tablica 9.7. Średnie wartości poziomu dźwięku dla hałasu słyszanego w kabinach pojazdu

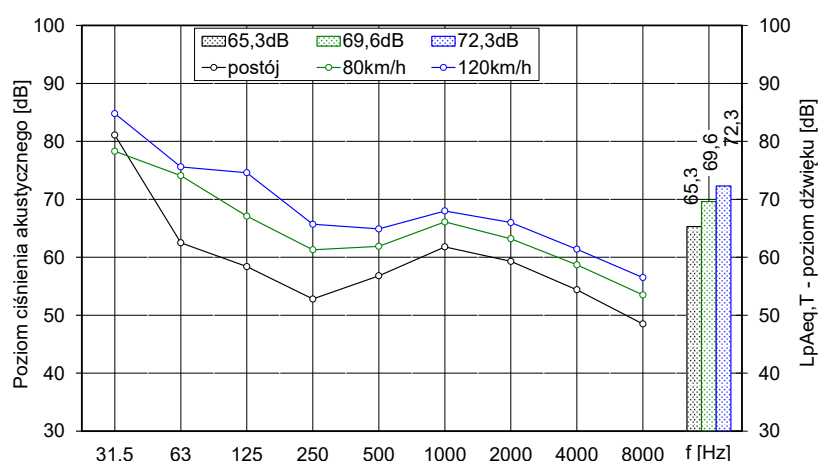
Poziom dźwięku [dB]						
Stan urządzeń	Kabina A			Kabina B		
	0 km/h	80 km/h	120 km/h	0 km/h	80 km/h	120 km/h
P0,K0,O0	47,3	67,1	–	46,2	65,3	72,9
P½,K0,O0	–	–	–	49,3		
P½,K3,O0	67,7	–	–	–	69,0	73,6
P1,K3,O0	–	70,8	75,0	66,7	D 71,3	D 74,4
P½,K0,O3	–	67,6	74,1	–	–	–
P1,K0,O3	64,6		–	64,6	D 71,2	73,8

P0 – wyłączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich
 P½ – włączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich (4 pozycja na wyświetlaczu)
 P1 – włączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich (7 pozycja na wyświetlaczu)
 K0 – wyłączony nawiew klimatyzacji w kabinie (pozycja 0)
 K3 – włączony nawiew klimatyzacji w kabinie (pozycja 3)
 O0 – wyłączony nawiew klimatyzacji w kabinie (pozycja 0)
 O3 – włączony nawiew klimatyzacji w kabinie (pozycja 3)
 D – jazda po torach z podkładami drewnianymi

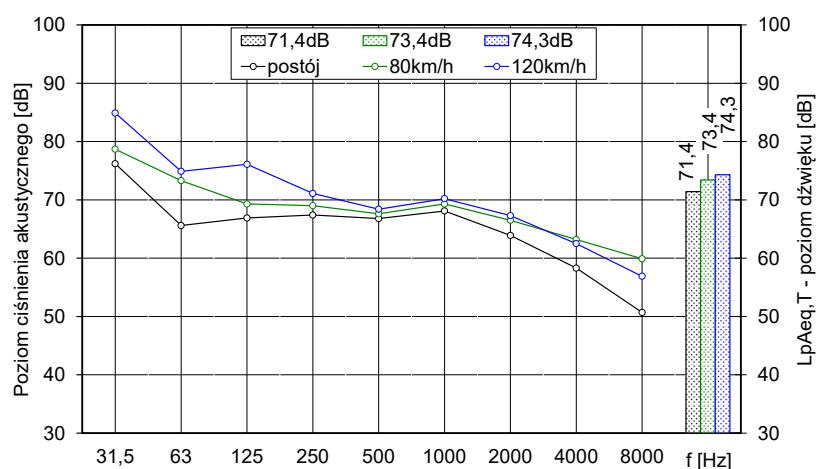
Wartości poziomu dźwięku w kabinach maszynisty spełniają kryterium $L_{pAeq} = 78$ dB zawarte w normie PN-92/K-11000 i w dokumencie TSI – Hałas.

Pomiarowi poddano także poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych dla hałasu infradźwiękowego oraz w pasmach tercjowych dla hałasu ultradźwiękowego w kabinach pojazdu podczas jazdy oraz na postoju. Wartości dopuszczalne ciśnienia akustycznego dla hałasu infradźwiękowego, w pasmach oktaowych 4, 8, 16 Hz nie powinny przekraczać 110 dB, a w paśmie 31,5 Hz ciśnienie nie może być większe niż 105 dB. Średnie wartości poziomów ciśnienia akustycznego w tych pasmach nie przekraczają 98,5 dB (kabina A – załączona klimatyzacja, $v = 120$ km/h) – tym samym spełniają kryterium przytoczone powyżej. Poziomy ciśnienia akustycznego w poszczególnych pasmach tercjowych dla hałasu ultradźwiękowego jest mniejszy od 47,7 dB (kabina A – załączona klimatyzacja, $v = 120$ km/h). Kryterium, które dla hałasu ultradźwiękowego zawarte w normach PN-86/N-01321 wynosi 80 dB dla pasm tercjowych 10, 12,5, 16 kHz oraz 90 dB dla pasma 20 kHz, jest spełnione.

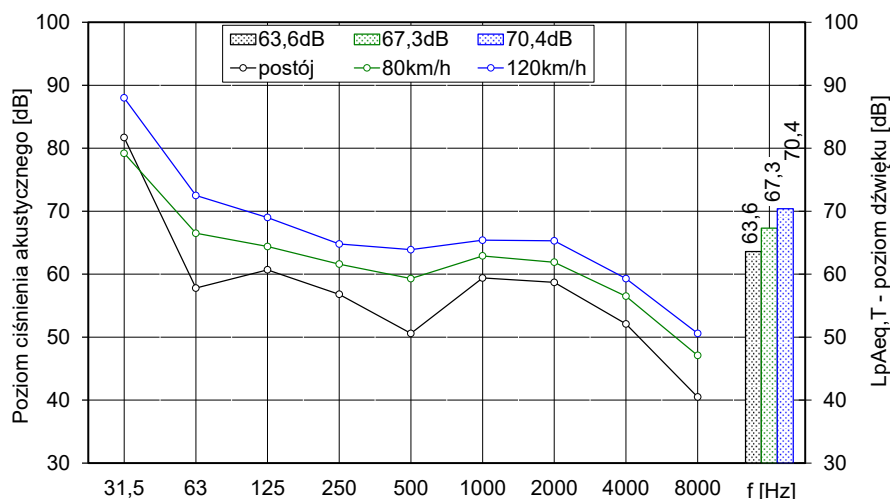
Lokalizację punktów pomiarowych poziomu hałasu w pomieszczeniu pasażerskim przedstawiono w metodyce badań. Zmierzono wartości poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomy dźwięku w pomieszczeniach pasażerskich. Ich przebieg przedstawiono na rys. 9.10–9.13.



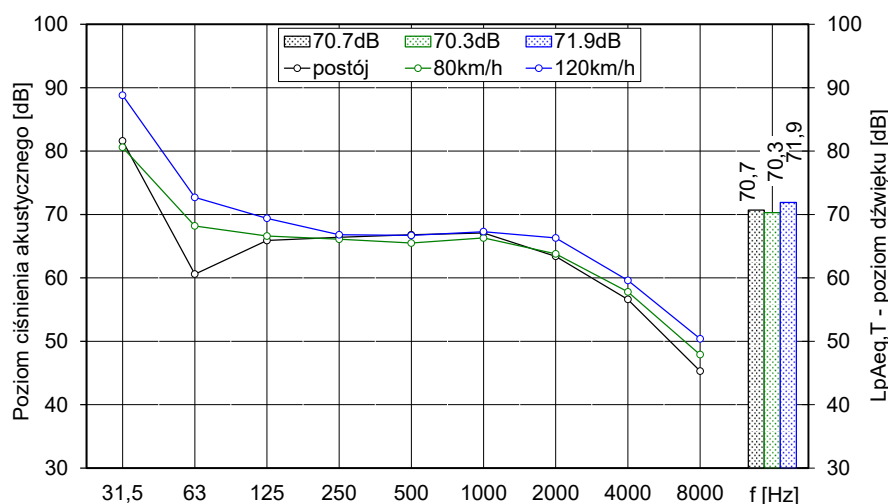
Rys. 9.10. Hałas słyszalny, przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M (punkt pomiarowy 3; człon B; wyłączony nawiew klimatyzacji (P0) w pomieszczeniu pasażerskim oraz nawiew klimatyzacji i ogrzewania w kabinie (K0, O0))



Rys. 9.11. Hałas słyszalny, przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M (punkt pomiarowy 3; człon B; załączony nawiew klimatyzacji (P1 – max) w pomieszczeniu pasażerskim; załączony lub wyłączony nawiew klimatyzacji i ogrzewania w kabinie)



Rys. 9.12. Hałas słyszalny, przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M (punkt pomiarowy 1; człon A; wyłączony nawiew klimatyzacji (PO) w pomieszczeniu pasażerskim oraz nawiew klimatyzacji i ogrzewania w kabinie (K0, O0))



Rys. 9.13. Hałas słyszalny, przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M (punkt pomiarowy 1; człon A; załączony nawiew klimatyzacji (P1 – max) w pomieszczeniu pasażerskim; wyłączony nawiew klimatyzacji i ogrzewania w kabinie (K0, O0))

W tabelicy 9.8 przedstawiono średnie wartości poziomów dźwięku hałasu L_{pAeq} (dB) w poszczególnych punktach pomiarowych wewnątrz pojazdu dla miejsc pasażerskich.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabl. 9.8 stwierdzono, że w pomieszczeniach pasażerskich podczas postoju (przy pracujących silnikach) przekroczenia kryterium poziomu dźwięku 60 dB występują we wszystkich punktach pomiarowych po załączeniu nawiewu klimatyzacji.

Analizując wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach pasażerskich podczas jazdy z prędkościami $v = 80$ i 120 km/h (po torach z podkładami strunobetonowymi) stwierdzono następujące zależności:

- Największe wartości poziomu dźwięku $L_{pAeq,T}$ występują w członie A (pkt 9) i wynoszą 74,7 dB ($v = 80$ km/h) oraz 75,9 dB ($v = 120$ km/h) podczas pomiaru na wysokości 1,6 m oraz w członie A (pkt 10) 75,5 dB ($v = 80$ km/h) i 75 dB ($v = 120$ km/h) podczas pomiaru na wysokości 1,2 m.
- Załączenie klimatyzacji lub ogrzewania w kabinach nie ma istotnego wpływu na wartość poziomu dźwięku w pomieszczeniach pasażerskich członów podczas jazdy.

Tablica 9.8. Średnie wartości poziomów dźwięku hałasu w poszczególnych punktach pomiarowych dla miejsc pasażerskich (pojazd 220M)

Punkt Stan urządzeń		Punkt 2 (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 3 (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 4 (pomiar na wysokości 1,2 m)		
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h
Wył.K,O	P0	59,0	65,0	68,0	65,3	69,6	72,3	64,0	69,6	71,4
Załączone lub wyłą- czone K,O	P½	65,1	68,0	70,0 D 70,1	67,2	69,9	73,6	67,0	71,0	73,5 D 72,8
	P1	69,7	70,5 D 72,0	71,9 D 73,1	71,4	73,4	74,3 D 74,9	71,9	73,2 D 75,1	74,7 D 75,5
Punkt Stan urządzeń		Punkt 5 (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 6 (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 7 (pomiar na wysokości 1,2 m)		
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h
Wył.K,O	P0	61,2	66,7	70,1	53,6	65,1	69,3	55,7	64,6	69,1
Załączone lub wyłą- czone K,O	P½	64,5	68,2	71,1 D 74,4	60,5	67,0	70,3 D 70,5	61,5	66,5 D 68,2	69,9 D 72,2
	P1	71,4	73,8	73,9 D 74,6	69,5	70,5 D 74,0	72,4 D 74,5	68,5	68,8	70,9
Punkt Stan urządzeń		Punkt 8 (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 9 (pomiar na wysokości 1,6 m)			Punkt 10 (pomiar na wysokości 1,2 m)		
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h
Wył. K,O	P0	62,7	67,1	70,0	65,7	70,3	73,0	68,3	71,5	73,9
Załączone lub wyłą- czone K,O	P½	66,2	69,4 D 70,6	71,8 D 72,9	67,3	71,4	74,1 D 76,0	69,4	72,2 D 72,8	74,9 D 75,4
	P1	73,5	71,9	73,2	73,6	74,7	75,9 D 76,3	73,3	73,5	75,0
Punkt Stan urządzeń		Punkt 11 (pomiar na wysokości 1,2 m)			Obliczona wartość średnia dla całego pojazdu					
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h			
Wył. K,O	P0	63,6	67,3	70,4	63,7	68,3	71,1			
Załączone lub wyłą- czone K,O	P½	65,2	68,7	71,5 D 72,9	66,1	69,6	72,4			
	P1	70,7	70,3	71,9	71,7	72,4	73,7			

P – wyłączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich
P½, – włączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich (4 pozycja na wyświetlaczu)
P1 – włączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich (7 pozycja na wyświetlaczu)
K – klimatyzacja w kabinie (nawiew)
O – ogrzewanie w kabinie (nawiew)
D – jazda po torach z podkładami drewnianymi

• W pobliżu drzwi wejściowych oraz silników spalinowych stwierdzono większą wartość poziomu dźwięku, co może wpływać na ogólną wartość poziomu dźwięku w pomieszczeniu pasażerskim. W związku z powyższym należy szczególną uwagę zwrócić na uszczelnienie włączów do silników oraz na prawidłowe (szczelne) zamykanie drzwi przez właściwą regulację funkcji zamykania.

• Jazda po torach z podkładami drewnianymi powoduje wzrost poziomu dźwięku pojazdu.

• Załączenie nawiewu klimatyzacji powoduje średni wzrost poziomu dźwięku o:

	4 pozycja na wyświetlaczu	7 pozycja na wyświetlaczu
na postoju	2,4 dB	8,0 dB
podczas jazdy z v = 80 km/h	1,3 dB	4,1 dB
podczas jazdy z v = 120 km/h	1,3 dB	2,6 dB

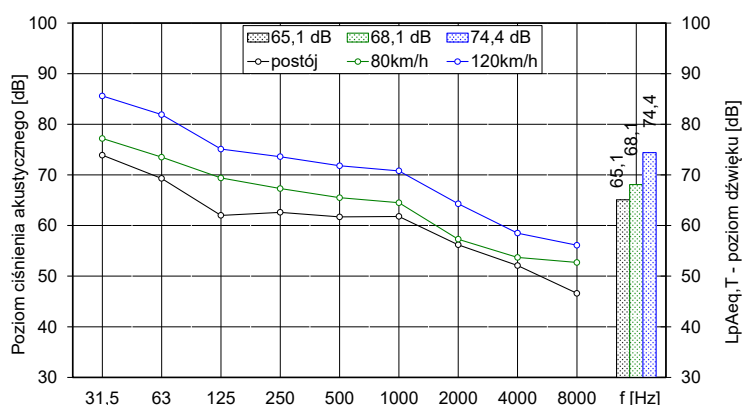
- Wartości średnie poziomu dźwięku $L_{pAeq,T}$ w pomieszczeniach pasażerskich przekraczają kryterium 70 dB zawarte w normie [74] o 2,4 dB dla $v = 80$ km/h oraz o 3,7 dB dla $v = 120$ km/h.

Dodatkowo zmierzono wartości poziomu dźwięku $L_{pAeq,T}$ w kabinie A przy załączonych sygnalizatorach akustycznych (syrenach) podczas postoju pojazdu (silniki spalinowe pracowały z prędkościami obrotowymi biegu jałowego). Wartości $L_{pAeq,T}$ przytoczono poniżej:

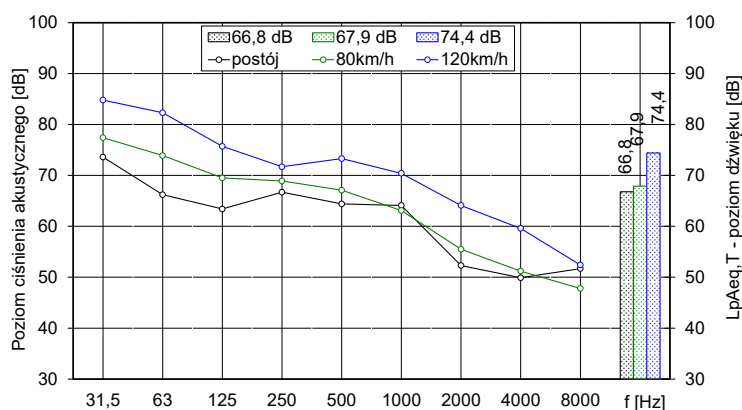
Załączone	Strona lewa głowy maszynisty	Strona prawa głowy maszynisty
Syrena wysokotonowa	98,9 dB	98,3 dB
Silniki spalinowe	98,0 dB	97,5 dB
	śr. 98,2 dB	
Syrena niskotonowa	99,2 dB	99,1 dB
Silniki spalinowe	98,0 dB	97,2 dB
	śr. 98,5 dB	

Zmierzone wartości dźwięku przekraczają kryterium $L_{pAeq,T} = 95$ dB zawarte w dokumencie TSI [113].

Podobne prace wykonano dla pojazdu 221M. Wyniki badań i analiz przedstawiono w takiej samej formie jak dla pojazdu 220M. Zmierzone wartości poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych i poziomów dźwięku w kabinach podczas jazdy z prędkościami 80 i 120 km/h oraz na postoju (rys. 9.14, rys. 9.15). W oparciu o wyniki przytoczono istotne do oceny średnie wartości poziomów dźwięku dla hałasu słyszalnego w kabinach pojazdu (tabl. 9.9).



Rys. 9.14. Przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych oraz poziomy dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M (kabina A; załączona klimatyzacja – pozycja 3 (K3))



Rys. 9.15. Przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M (kabina B; załączone ogrzewanie – pozycja 3 (O3))

Tablica 9.9. Średnie wartości poziomu dźwięku dla hałasu słyszanego w kabinach pojazdu 221M

Poziom dźwięku [dB]						
Stan urządzeń w kabine	Punkt 1, kabina A, człon A			Punkt 10, kabina B, człon B		
	0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h
0	48,3	65,3	73,5	53,1	66,0	73,5
K1	56,9	65,3	73,6	53,6	68,6	74,2
K3	65,1	68,1	74,4	64,1	67,8	73,7
O1	54,0	66,4	–	57,2	–	–
O3	63,2	68,2	73,8	66,8	67,9	74,4

0 – wyłączony nawiew klimatyzacji i ogrzewania w kabine
K1 – włączony nawiew klimatyzacji w kabine (pozycja 1)
K3 – włączony nawiew klimatyzacji w kabine (pozycja 3)
O1 – włączony nawiew ogrzewania
O3 – włączony nawiew ogrzewania

Wartości poziomu dźwięku w kabinach maszynisty spełniają kryterium $L_{pAeq,T} = 78$ dB zawarte w normie PN-K-11000/1992 i w dokumencie TSI.

Przeprowadzono również pomiary poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych dla hałasu infradźwiękowego oraz w pasmach tercjowych dla hałasu ultradźwiękowego w kabinach pojazdu podczas postoju i jazdy. Średnie wartości poziomów ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych (10, 12,5, 16, 20 kHz) dla hałasu ultradźwiękowego są mniejsze od 50,7 dB i zdecydowanie spełniają kryterium zawarte w normie PN-N-01321:1986 wynoszące 80 dB (dla pasm tercjowych 10, 12,5, 16 kHz) i 90 dB (dla pasma 20 kHz). W tablicy 9.10 zestawiono największe średnie wartości poziomów dźwięku hałasu infradźwiękowego $L_{Geq,T}$ oraz największe wartości poziomów ciśnienia akustycznego w tercjach 4, 8, 16, 31,5 Hz.

Wartości dopuszczalne ciśnienia akustycznego hałasu infradźwiękowego w pasmach oktawowych 4, 8, 16 Hz nie powinny przekraczać 110 dB, a w pasmie 31,5–105 dB według normy PN-N-01338:1986. Średnie wartości poziomów ciśnienia akustycznego określone dla badanego pojazdu nie przekraczają 94,1 dB w pasmach oktawowych o częstotliwościach środkowych 4, 8, 16 Hz i 85,9 dB w pasmach oktawowych o częstotliwości środkowej 31,5 Hz. Te wartości spełniają kryteria przytoczone powyżej.

Tablica 9.10. Średnie wartości poziomów dźwięku hałasu infradźwiękowego oraz największe wartości poziomów ciśnienia akustycznego

Poziom dźwięku $L_{Geq,T}$ [dB] i poziom ciśnienia akustycznego w tercjach [dB]						
Wariant nawiewu klimatyzacji i ogrzewania	Kabina A, człon A			Kabina B, człon B		
	Postój	v = 80 km/h	v = 120 km/h	Postój	v = 80 km/h	v = 120 km/h
0	92,7 87,8 (16 Hz)	92,1 88,9 (8 Hz)	97,7 93,3 (4 Hz)	80,6 62,8 (8 Hz)	91,6 88,1 (4 Hz)	96,8 92,9 (4 Hz)
K1	92,0 87,5 (16 Hz)	91,8 89,7 (4 Hz)	97,5 93,5 (4 Hz)	79,4 60,2 (8 Hz)	91,2 89,8 (4 Hz)	99,1 94,1 (4 Hz)
K3	90,4 85,9 (16 Hz)	91,7 89,3 (4 Hz)	97,6 94,0 (4 Hz)	79,6 63,2 (8 Hz)	90,8 88,5 (4 Hz)	98,1 93,4 (4 Hz)
O1	92,3 87,8 (16 Hz)	92,7 89,8 (4 Hz)	–	80,7 76,0 (16 Hz)	–	–
O3	92,0 87,5 (16 Hz)	93,2 90,9 (4 Hz)	96,6 93,1 (4 Hz)	79,6 75,0 (16 Hz)	91,4 89,0 (4 Hz)	97,6 93,0 (4 Hz)

0 – wentylatory nawiewu ogrzewania i klimatyzacji wyłączone;
K1 – nawiew klimatyzacji załączony (pozycja 1);
K3 – nawiew klimatyzacji załączony (pozycja 3);
O1 – nawiew ogrzewania załączony (pozycja 1);
O3 – nawiew ogrzewania załączony (pozycja 3);
87,8 (16 Hz) – poziom ciśnienia akustycznego w terci o częstotliwości środkowej 16 Hz.

Zmierzone wartości ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych dla hałasu infradźwiękowego odniesiono także do kryterium zawartego w normie PN-Z-01338:2010. Wyznaczono w przybliżeniu poziom ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką G w wyniku analizy pasmowej (tercjowej) sygnału i po wprowadzeniu wartości korekcyjnych zawartych w Tabelicy 2 normy PN-ISO 7196:2002. Analizę pasmową sygnałów wykonano w zakresie 0,5–31,5 Hz. Poziom ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych większych od 31,5 Hz nie ma znaczącego wpływu na wyznaczaną wartość $L_{G_{eq,T}}$. Wyznaczony w przybliżeniu poziom $L_{G_{eq,T}}$ dla hałasu infradźwiękowego na postoju oraz podczas jazdy nie przekracza wartości 99,1 dB. Wartość ta spełnia kryterium $L_{G_{eq,8h}} \leq 102$ dB odniesione do 8-godzinnego dnia pracy na stanowisku maszynisty.

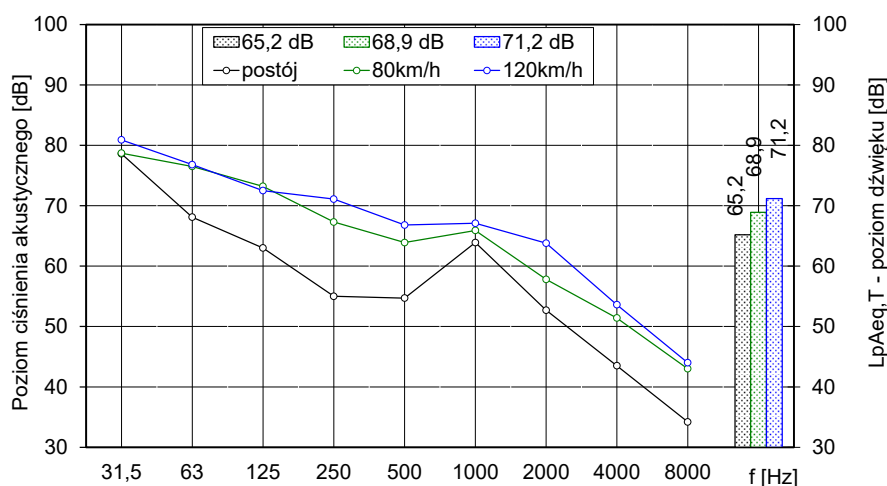
Przy załączonych syrenach podczas postoju pojazdu zmierzono wartości poziomu dźwięku $L_{pAeq,T}$ w kabinie A (kabiny w pojeździe są takie same i dlatego pomiary wykonano dla jednej kabiny). Pomiary wykonano w płaszczyźnie poziomej w odległości 0,25 m od środka głowy maszynisty. Średnia wartość poziomu $L_{pAeq,T}$ przy załączonej syrenie niskotonowej spełnia kryterium 95 dB zawarte w dokumencie TSI.

Dokonano także pomiarów poziomu hałasu w pomieszczeniach pasażerskich (człony A–C). Ich przebiegi przedstawiono na rys. 9.16–9.18.

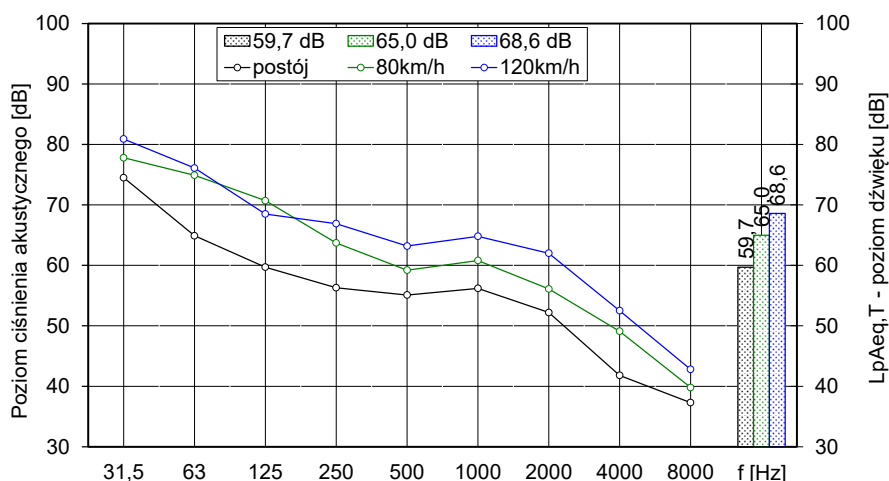
W tabelicy 9.11 przedstawiono średnie wartości poziomów dźwięku hałasu $L_{pAeq,T}$ (dB) w poszczególnych punktach pomiarowych wewnątrz pojazdu dla miejsc pasażerskich.

Analizując otrzymane wartości poziomu dźwięku stwierdzono, że w czasie postoju:

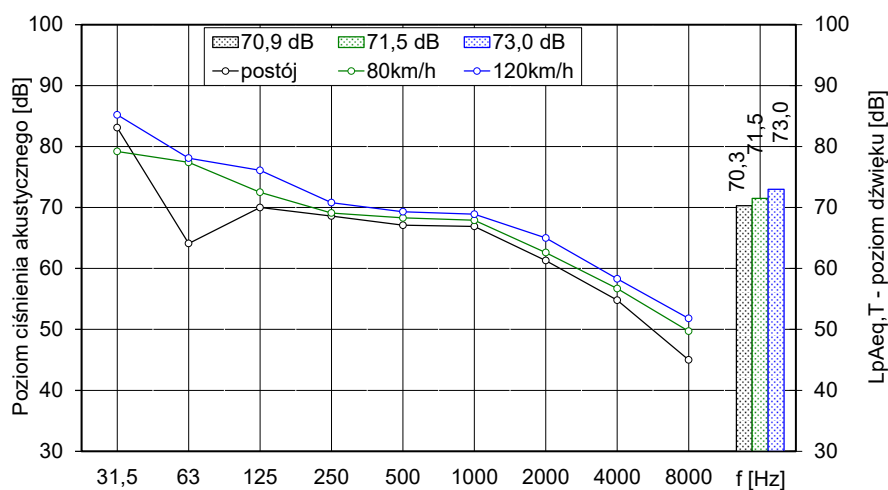
- Wartości poziomu dźwięku $L_{pAeq,T}$ w członie środkowym C na postoju (przy pracujących silnikach spalinowych oraz załączonej klimatyzacji lub ogrzewaniu) nie przekraczają poziomu 60 dB. Wartości te spełniają kryterium 60 dB zawarte w PN-K-11000:1992.
- Na postoju w członach silnikowych (A i B) tylko w pobliżu pracujących silników spalinowych przy wyłączonej klimatyzacji i ogrzewaniu poziom dźwięku przekracza kryterium $L_{pAeq,T} = 60$ dB zawarte w PN-K-11000:1992.
- Podczas postoju przy pracujących silnikach spalinowych i nawiewie klimatyzacji (7 pozycja na wyświetlaczu) występuje największa średnia wartość poziomu dźwięku dla miejsc siedzących. Wartość ta $L_{pAeq,T} = 66,8$ dB przekracza kryterium 60 dB zawarte w PN-K-11000:1992. Zwiększenie prędkości nawiewu klimatyzacji (z pozycji 4 na 7) powoduje wzrost poziomu dźwięku o 3,5 dB.



Rys. 9.16. Przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktafowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spaliniowego zespołu trakcyjnego typu 221 M (punkt pomiarowy 4; człon A; załączone ogrzewanie (Op))



Rys. 9.17. Przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spaliniowego zespołu trakcyjnego typu 221 M (punkt pomiarowy 6; człon C; załączone ogrzewanie (Op))



Rys. 9.18. Przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomu dźwięku wewnątrz spaliniowego zespołu trakcyjnego typu 221 M (punkt pomiarowy 8; człon B; załączona klimatyzacja (K1/1))

Natomiast podczas jazdy:

- W pobliżu drzwi wejściowych w punktach pomiarowych nr 2 i 9 (miejsca stojące) podczas jazd z prędkościami $v = 80$ i 120 km/h, przy załączonym nawiewie klimatyzacji (7 pozycja na wyświetlaczu) średnie wartości poziomu dźwięku wynoszą $L_{pAeq,T} (v = 80 \text{ km/h}) = 73,1$ dB i $L_{pAeq,T} (v = 120 \text{ km/h}) = 75,5$ dB. Wartości te przekraczają kryterium 70 dB zawarte PN-K-11000:1992.

- W członach (A, C, B) na miejscach siedzących podczas jazd z prędkościami $v = 80$ i 120 km/h największe średnie wartości poziomu dźwięku wynoszą $L_{pAeq,T} (v = 80 \text{ km/h}) = 69,0$ dB (załączona klimatyzacja – 7 pozycja) i $L_{pAeq,T} (v = 120 \text{ km/h}) = 70,9$ dB (załączona klimatyzacja – 7 pozycja lub ogrzewanie). Kryterium 70 dB zawarte w PN-K-11000:1992 jest spełnione podczas jazd z prędkością $v = 80$ km/h. Przy prędkości $v = 120$ km/h wynik przekracza kryterium [64].

- Załączenie klimatyzacji lub ogrzewania w kabinie nie ma istotnego wpływu na wartość poziomu dźwięku w pomieszczeniach pasażerskich.

- Wartość średnia poziomu dźwięku dla miejsc siedzących po załączeniu klimatyzacji lub ogrzewania wzrasta niewiele tj. o $\sim 1,3$ dB przy jeździe z prędkościami $v = 80$ i 120 km/h.

Tablica 9.11. Średnie wartości poziomów dźwięku hałasu w poszczególnych punktach pomiarowych dla miejsc pasażerskich

Punkt Stan urządzeń		Punkt 2, człon A (pomiar na wysokości 1,6 m)			Punkt 3, człon A (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 4, człon A (pomiar na wysokości 1,2 m)					
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h			
Wył. K,O	0	–	71,6	72,1	64,3	68,5	70,2	56,9	68,8	69,8			
Załą- czo- ne	K ^{1/2}	–	69,5	72,4	65,3	67,9	70,7	67,4	65,9	70,3			
	K ^{1/1}	–	72,8	75,4	69,6	70,6	71,9	66,0	69,1	70,7			
	O _p	–	70,6	72,9	63,0	69,3	71,2	65,2	68,9	71,2			
Punkt Stan urządzeń		Punkt 5, człon C (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 6, człon C (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 7, człon B (pomiar na wysokości 1,2 m)					
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h			
Wył. K,O	0	48,5	66,6	67,2	50,8	64,9	66,8	58,7	68,4	71,3			
Załą- czo- ne	K ^{1/2}	50,4	63,6	67,8	50,4	63,8	66,4	58,7	67,8	71,3			
	K ^{1/1}	57,4	65,3	67,1	57,1	64,0	67,1	65,6	69,3	72,2			
	O _p	60,0	66,5	68,6	59,7	65,0	68,6	60,2	68,1	72,9			
Punkt Stan urządzeń		Punkt 8, człon B (pomiar na wysokości 1,2 m)			Punkt 9, człon B (pomiar na wysokości 1,6 m)								
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h						
Wył. K,O	0	63,4	67,7	70,6	–	70,8	74,2						
Załą- czo- ne	K ^{1/2}	64,6	68,2	71,0	–	71,2	73,9						
	K ^{1/1}	70,3	71,5	73,0	–	73,4	75,5						
	O _p	63,7	68,2	71,5	–	72,2	74,9						
Wartość Stan urządzeń		Wartość średnia dla pkt 2, 9			Wartość średnia dla pkt 3, 4, 5, 6, 7, 8			Wartość średnia dla całego pojazdu					
		0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h	0	80 km/h	120 km/h			
Wył. K,O	0	–	71,2	73,3	60,2	67,7	69,6	60,2	68,9	70,9			
Załą- czo- ne	K ^{1/2}	–	70,4	73,2	63,3	66,6	69,9	63,3	67,9	71,0			
	K ^{1/1}	–	73,1	75,5	66,8	69,0	70,9	66,8	70,5	72,6			
	O _p	–	71,5	74,0	62,5	67,9	70,9	62,5	69,1	71,9			
<p>0 – wyłączony nawiew klimatyzacji i ogrzewania w pomieszczeniach pasażerskich K^{1/2}, – włączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich (4 pozycja na wyświetlaczu) K¹ – włączony nawiew klimatyzacji w pomieszczeniach pasażerskich (7 pozycja na wyświetlaczu) O_p – włączone ogrzewanie w pomieszczeniach pasażerskich K,O – klimatyzacja, ogrzewanie</p> <p>Wartości wyłączone na końcu tabeli dotyczą obliczonej wartości średniej poziomów dźwięku w pomieszczeniach pasażerskich dla:</p> <ul style="list-style-type: none"> – pkt 2, 9 (miejsca stojące na wysokości 1,6 m), – pkt 3, 4, 5, 6, 7, 8 (miejsca siedzące na wysokości 1,2 m), – wszystkich punktów pomiarowych w pomieszczeniach pasażerskich pojazdu. 													

Przedstawione analizy dotyczące komfortu jazdy oraz poziomów hałasu w badanych pojazdach szynowych wskazują na następujące wnioski:

1. Uzyskane wskaźniki komfortu jazdy maszynistów są w zakresie dopuszczalnych wartości (dla obu pojazdów). Wartości te nawet nie zbliżają się do wartości granicznych.
2. Otrzymane wartości poziomu drgań i ciśnienia akustycznego w przedziałach pasażerskich wskazują na znaczne przekraczanie wartości dopuszczalnych. Oznacza to konieczność wdrażania warunków naprawczych.

10. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA SPALINOWYCH POJAZDÓW TRAKCYJNYCH

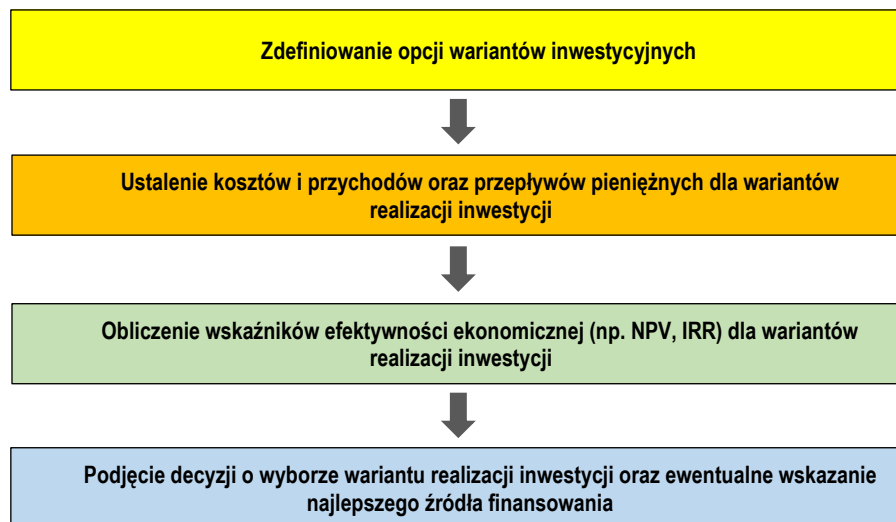
10.1. Zakres ekonomicznej analizy efektywności

Planowanie inwestycji, czyli przedsięwzięcie o kluczowym znaczeniu dla rozwoju firmy jest złożonym procesem decyzyjnym wymagającym sporządzenia wiarygodnej prognozy strumieni przychodów i wydatków spodziewanych z planowanych inwestycji oraz na tej podstawie dokonanie wyboru najlepszego wariantu, spełniającego możliwie najwięcej kryteriów oceny.

Dla wyboru środków transportu kolejowego do kryteriów tych należą przede wszystkim:

- proste i dyskontowe miary opłacalności, czyli analiza rentowności inwestycji,
- wpisanie się w strategię rozwoju przedsiębiorstwa np. związaną z wdrażaniem zrównoważonego transportu i ograniczaniem negatywnego oddziaływania na środowisko,
- spełnienie wymogów co do potencjału przewozowego mierzonego zakładaną pracą eksploatacyjną środków transportu,
- spełnienie dodatkowych wymogów np. co do komfortu podróży dla środków transportu pasażerskiego.

Fazy analizy ekonomicznej inwestycji obejmują kroki przedstawione na rys. 10.1.



Rys. 10.1. Etapy analizy ekonomicznej wariantów inwestycyjnych

Pierwszy krok, tj. zdefiniowanie opcji wariantów inwestycyjnych obejmuje wybór alternatywnych środków transportu gwarantujących realizację zakładanych potrzeb transportowych oraz zdefiniowanie potencjalnych źródeł finansowania inwestycji (np. kredyt bankowy leasing finansowy lub operacyjny, zakup za gotówkę, itp.). W dalszej kolejności należy ustalić przychody i koszty dla poszczególnych wariantów inwestycyjnych. Kalkulację przychodów można pominąć jeżeli każdy z wariantów inwestycji generuje takie same przychody. Analiza kosztów umożliwia obliczenie wskaźników efektywności ekonomicznej dla każdego z wariantów. Wyniki analizy ekonomicznej są często najważniejszym kryterium umożliwiającym podjęcie decyzji o wyborze wariantu inwestycji, którym w analizowanym w rozprawie przypadku jest podjęcie decyzji o realizowaniu przewozów pasażerskich w zależności od wyników analizy porównawczej używanym zespołem trakcyjnym typu SA108 po przeprowadzonej naprawie głównej lub modernizacji albo nowym zespołem trakcyjnym LINK w wersji trójczłonowej.

10.2. Założenia ekonomicznej analizy efektywności

Analizie poddano trzy warianty realizowania potrzeb pasażerskich spalinowymi zespołami trakcyjnymi:

Wariant I – realizacja przewozów 11-letnim spalinowym zespołem trakcyjnym 215M o numerze kolejowym SA108-004 spełniającym wymagania normy Stage II (tabl. 10.1).

Tablica 10.1. Podstawowe parametry techniczne i eksploatacyjne zespołu trakcyjnego typu 215M o numerze kolejowym SA108-004

Silnik	MAN D2866 LUH21
Długość	34,7 m
Masa służbowa	56 ton
Liczba miejsc dla pasażerów	110 +10 uchylnych + 95 stojących
Prędkość maksymalna	100 km/h
Wiek	11 lat
Stan techniczny	Do wykonania naprawa główna P5

Wariant II – realizacja przewozów 11-letnim spalinowym zespołem trakcyjnym typu 215M o numerze kolejowym SA108-008 spełniającym wymagania normy Stage III po przeprowadzonej modernizacji zamiast naprawy głównej P5 (tabl. 10.2).

Tablica 10.2. Podstawowe parametry techniczne i eksploatacyjne zespołu trakcyjnego typu 215M o numerze kolejowym SA108-008

Silnik	MAN D2876 LUE2
Długość	34,7 m
Masa służbowa	56 ton
Liczba miejsc dla pasażerów	110 +10 uchylnych + 95 stojących
Prędkość maksymalna	100 km/h
Wiek	11 lat
Stan techniczny	Do wykonania modernizacja zamiast naprawy głównej P5

Wariant III – realizacja przewozów nowym spalinowym zespołem trakcyjnym typu LINK w wersji trójczłonowej spełniającym wymagania normy Stage III (tabl. 10.3) i sprzedaż używanego spalinowego zespołu trakcyjnego typu SA108 bez przeprowadzenia naprawy głównej lub modernizacji.

Tablica 10.3. Podstawowe parametry techniczne i eksploatacyjne zespołu trakcyjnego typu LINK

Silnik	MTU 6H 1800 R85L
Długość	60 m
Masa służbowa	120 ton
Liczba miejsc dla pasażerów	148 +12 uchylnych + 190 stojących
Prędkość maksymalna	140 km/h
Wiek	0
Stan techniczny	Nowy pojazd

Przyjęto następujące założenia dotyczące eksploatacji analizowanych zespołów trakcyjnych:

- Planowana roczna praca eksploatacyjna dla wszystkich trzech wariantów wynosi maksymalnie 120 tysięcy km rocznie.
- Średni przebieg dobowy wynosi 360 km, przy założeniu, że pojazdy pokonują dziennie 3 kursy tam i z powrotem do miasta docelowego oddalonego o 60 km.

- Przyjęto 15-letni okres amortyzacji nowych zespołów trakcyjnych przy stawce amortyzacji 6,67% rocznie (minimalny okres amortyzacji dla taboru trakcyjnego naziemnego określony przepisami to 14,3 roku przy maksymalnej rocznej stawce amortyzacji 7%).
- Koszt modernizacji podlega amortyzacji na tych samych zasadach co zakup nowego pojazdu.
- Cena zakupu nowego zespołu trakcyjnego typu LINK wynosi 22,6 mln PLN netto.
- Historyczną cenę zakupu zespołu trakcyjnego typu SA108 na podstawie danych ubezpieczenia pojazdów ustalono na poziomie 5,2 mln PLN netto.
- Cenę sprzedaży używanego zespołu trakcyjnego typu SA108, dla którego nie przeprowadzono naprawy głównej typu P5 oszacowano na 300 000 PLN netto.
- Okres analizy ekonomicznej wynosi 16 lat, przy czym dla modernizacji i naprawy głównej zespołu trakcyjnego typu SA108 w pierwszym roku analizy nie są realizowane przewozy, czas wykonania naprawy głównej lub modernizacji wynosi 365 dni.
- Przyjęto, że zespoły trakcyjne typu SA108 w obu wersjach silnika mają taki sam rozkład utrzymania.
- Przeglądy i naprawy zespołu trakcyjnego typu SA108 należy przeprowadzać w terminach i dla przebiegów wskazanych w tabl. 10.4. Koszt przeglądu kontrolnego typu P1 jest nieistotny dla analizy ekonomicznej z uwagi na niski koszt i wliczanie go do kosztów stałych przewoźnika.

Tablica 10.4. Przeglądy i naprawy zespołu trakcyjnego typu SA108

Typ przeglądu/naprawy	Przebieg [km]	Czas eksploatacji [dni lub lata]	Koszt [PLN netto]	Czas obsługi [dni]
Przegląd kontrolny P1	1 500	3 dni	–	0
Przegląd okresowy P2-1	15 000	45 dni	5 000	1
Przegląd okresowy P2-2	60 000	180 dni	30 000	3
Przegląd okresowy P3	300 000	4 lata	220 000	14
Naprawa rewizyjna P4	600 000	8 lat	1 900 000	180
Naprawa główna P5	1 200 000	16 lat	4 400 000	365

Tablica 10.5. Liczba poszczególnych typów przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu SA108 w kolejnych latach eksploatacji

Rok	Przebieg [km]	P2-1	P2-2	P3	P4	P5	Czas obsługi [dni]
1	0	0	0	0	0	1*	365
2	120 000	6	2	0	0	0	12
3	240 000	6	2	0	0	0	12
4	360 000	6	1	1	0	0	23
5	480 000	6	2	0	0	0	12
6	600 000	6	1	0	1**	0	9
7	660 000	3	1	0	0	0	186
8	780 000	6	2	0	0	0	12
9	900 000	6	1	1	0	0	23
10	1 020 000	6	2	0	0	0	12
11	1 140 000	6	2	0	0	0	12
12	1 200 000	3	0	0	0	1	180
13	1 260 000	3	1	0	0	0	186
14	1 380 000	6	2	0	0	0	12
15	1 500 000	6	1	1	0	0	23
16	1 620 000	6	2	0	0	0	12

* W pierwszym roku przeprowadzana jest w zależności od scenariusza naprawa główna P5 lub modernizacja

** Naprawa rewizyjna P4 przeprowadzana jest po 6 roku, czyli w 7 roku analizy

Liczbę przeglądów i napraw zespołów trakcyjnych typu SA108 zgodnie z określonymi poziomami utrzymania podano w tabl. 10.5. Ujęto w niej zestawienie przeglądów i napraw dla nowych pojazdów lub pojazdów używanych po naprawie głównej typu P5.

- Przeglądy i naprawy zespołu trakcyjnego typu LINK należy przeprowadzać w terminach i dla przebiegów wskazanych w tabl. 10.6.
- Z podanych w tabl. 9.5 przeglądów wynika, że przykładowo w pierwszym roku eksploatacji będzie przeprowadzonych 8 przeglądów P1 (po 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 i 11 miesiącu) 3 przeglądy typu P2-1 (po 3, 6 i 9 miesiącu) i jeden typu P2-2 (po 12 miesiącu).
- Liczbę przeglądów i napraw zespołów trakcyjnych typu LINK zgodnie z określonymi poziomami utrzymania podano w tabl. 10.7.

Tablica 10.6. Przeglądy i naprawy zespołu trakcyjnego typu LINK

Typ przeglądu/naprawy	Przebieg [km]	Czas eksploatacji [dni lub lata]	Koszt [PLN netto]	Czas obsługi [dni]
Przeгляд kontrolny P1	10 000	30 dni	3 500	1
Przeгляд okresowy P2-1	40 000	90 dni	32 850	1
Przeгляд okresowy P2-2	160 000	365 dni	82 900	3
Przeгляд okresowy P3-1	300 000	2 lata	320 800	14
Przeгляд okresowy P3-2	600 000	5 lat	502 250	21
Naprawa rewizyjna P4	1200 000	10 lat	3500 000	240
Naprawa główna P5	2400 000	20 lat	8000 000	365

Tablica 10.7. Liczba poszczególnych typów przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu LINK w kolejnych latach eksploatacji

Rok	Przebieg [km]	P1	P2-1	P2-2	P3-1	P3-2	P4	Czas obsługi [dni]
1	120 000	8	3	1	0	0	0	14
2	240 000	8	3	0	1	0	0	25
3	360 000	8	3	1	0	0	0	14
4	480 000	8	3	0	1	0	0	25
5	600 000	8	3	0	0	1	0	32
6	720 000	8	3	1	0	0	0	14
7	840 000	8	3	0	1	0	0	25
8	960 000	8	3	1	0	0	0	14
9	1 080 000	8	3	0	1	0	0	25
10	1 200 000	8	3	0	0	0	1*	11
11	1 241 000	3	1	0	0	0	0	244
12	1 361 000	8	3	1	0	0	0	14
13	1 481 000	8	3	0	1	0	0	25
14	1 601 000	8	3	1	0	0	0	14
15	1 721 000	8	3	0	1	0	0	25
16	1 841 000	8	3	0	0	1	0	32

* Naprawa rewizyjna P4 przeprowadzana jest po 10 roku, czyli w 11 roku analizy

- Dla używanych 11 letnich zespołów trakcyjnych należy przeprowadzić naprawę główną (P5) lub modernizację. W jednym i drugim przypadku następnie przeglądy odbywają się zgodnie z tablicą 10.4 ponownie od pierwszego przeglądu kontrolnego (P1).
- Koszty przeglądów i napraw podano odpowiednio w tabl. 10.4 i 10.6.
- Koszt modernizacji zespołu trakcyjnego typu SA108 zastępującej naprawę główną typu P5 wyniesie 5 800 000 PLN netto.

- Zużycie oleju napędowego dla analizowanych pojazdów szynowych przyjęto zgodnie z wynikami z opracowania [103] i założeniami zgodnymi z wartościami podanymi w tabl. 10.8, a zużycie paliwa – w tabl. 10.9.

Tablica 10.8. Podstawowe założenia przyjęte przy szacowaniu zużycia oleju napędowego [103]

Parametry techniczne i eksploatacyjne	Wartość
Długość trasy kolejowej	100 km
Liczba stacji pośrednich	23
Profil trasy	Nizinny
Moc potrzeb własnych pojazdu	80 kW
Zużycie paliwa przez silniki spalinowe	200 g/kWh
Moc silników pojazdu typu SA108	2 x 257 kW
Moc silników pojazdu typu LINK	2 x 390 kW

Tablica 10.9. Zużycie oleju napędowego dla przejazdów z pasażerami [103]

Typ zespołu trakcyjnego	Szacowana wartość zużycia oleju napędowego
SA108 silnik MAN D2866 LUH21 (Stage II) przejazd z pasażerami siedzącymi (120 osób)	77,2 kg/100 km
SA108 silnik MAN D2866 LUH21 (Stage II) przejazd z pasażerami siedzącymi i stojącymi (215 osób)	81,9 kg/100 km
SA108 silnik MAN D2876 LUE2 (Stage III) przejazd z pasażerami siedzącymi (120 osób)	73,4 kg/100 km
SA108 silnik MAN D2876 LUE2 (Stage III) przejazd z pasażerami siedzącymi i stojącymi (215 osób)	77,8 kg/100 km
LINK silnik MTU 6H 1800 R85L (Stage III) przejazd z pasażerami siedzącymi (160 osób)	132,5 kg/100 km
LINK silnik MTU 6H 1800 R85L (Stage III) przejazd z pasażerami siedzącymi i stojącymi (350 osób)	141,6 kg/100 km

- Koszt paliwa trakcyjnego dla pierwszego roku eksploatacji przyjęto w wysokości 4249,00 PLN/m³ netto, co odpowiada średniej cenie hurtowej oleju napędowego za okres czerwiec 2021–lipiec 2021. Dla kolejnych lat przyjęto wskaźnik indeksacji 3,6% rocznie, co odpowiada średniemu rocznemu wzrostowi hurtowych cen sprzedaży paliw w latach 2016-2021 (5,4%) skorygowanemu o średni roczny wskaźnik inflacji za ten sam okres (1,8%).
- Przyjęty przelicznik masy oleju napędowego 1 dm³ = 0,84 kg.
- W analizie pominięto następujące koszty z uwagi na brak wpływu na wynik analizy porównawczej:
 - o zatrudnienia maszynisty,
 - o dostępu do infrastruktury (peronów, przystanków, terminali pasażerskich),
 - o korzystania z torów postojowych,
 - o dostępu do urządzeń związanych z obsługą pasażerów.
- Przychody oszacowano według cennika Kolei Wielkopolskich obowiązującego w czerwcu 2021 roku. Bilet jednorazowy normalny na trasie o odległości od 54 do 59 km kosztuje 15,60 PLN brutto, co przy 8% stawce VAT (1,16 PLN) daje przychód w wysokości 14,44 PLN netto. Bilet ulgowy dla dzieci i młodzieży z ulgą 49% kosztuje 7,96 PLN brutto, tj. 7,37 PLN netto. Zgodnie z informacjami zawartymi w sprawozdaniach finansowych spółki Koleje Wielkopolskie średni przychód na pasażera uwzględniając różne sprzedawane typy biletów (normalne, ulgowe, jednorazowe i miesięczne na trasach o średniej odległości 50 km wyniósł w 2019 roku 7,76 PLN netto [105]. W szacunkach przychodów przyjęto wartość średniego przychodu z 2019 roku, gdyż w czerwcu 2021 roku obowiązywał ten sam

cennik co 2019 roku, a liczba pasażerów w 2020 roku z powodu ograniczenia działalności przewozowej związanej z pandemią COVID-19 nie może być uznana za referencyjną.

10.3. Analiza porównawcza wyników

10.3.1. Szacowanie wartości kosztów i przychodów

Koszty utrzymania zespołów trakcyjnych

Koszt przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu SA108 po przeprowadzonej modernizacji podano w tabl. 10.10. Koszt modernizacji przeprowadzonej w pierwszym roku analizy rozliczany jest jako koszt amortyzacji przez kolejne 15 lat, stąd nie ujęto go w tablicy.

Tablica 10.10. Koszt przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu SA108 po modernizacji w kolejnych latach eksploatacji

Rok	Przebieg całkowity [km]	P2-1 [PLN]	P2-2 [PLN]	P3 [PLN]	P4 [PLN]	P5 [PLN]	Razem [PLN]
1*	0	0	0	0	0	0	0
2	120 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
3	240 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
4	360 000	30 000	30 000	220 000	0	0	280 000
5	480 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
6	600 000	30 000	30 000	0	0	0	60 000
7	660 000	15 000	30 000	0	1 900 000	0	1 945 000
8	780 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
9	900 000	30 000	30 000	220 000	0	0	280 000
10	1 020 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
11	1 140 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
12	1 200 000	15 000	0	0	0	4 400 000	4 415 000
13	1 260 000	15 000	30 000	0	0	0	45 000
14	1 380 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
15	1 500 000	30 000	30 000	220 000	0	0	280 000
16	1 620 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
Razem							8 025 000
* W pierwszym roku przeprowadzana jest modernizacja pojazdu							

Koszt przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu SA108 dla którego przeprowadzana jest naprawa główna podano w tabl. 10.11. Koszt naprawy głównej przeprowadzonej w pierwszym roku analizy rozliczany jest jako koszt przeglądów i napraw (koszt utrzymania) analogicznie do pozostałych przeglądów i napraw rewizyjnych.

Tablica 10.11. Koszt przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu SA108 włącznie z naprawą główną w kolejnych latach eksploatacji

Rok	Przebieg całkowity [km]	P2-1 [PLN]	P2-2 [PLN]	P3 [PLN]	P4 [PLN]	P5 [PLN]	Razem [PLN]
1	1 200 000	–	–	–	–	4 400 000	4 400 000
2	120 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
3	240 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
4	360 000	30 000	30 000	220 000	0	0	280 000
5	480 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
6	600 000	30 000	30 000	0	0	0	60 000
7	660 000	15 000	30 000	0	1 900 000	0	1 945 000
8	780 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
9	900 000	30 000	30 000	220 000	0	0	280 000
10	1 020 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
11	1 140 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
12	1 200 000	15 000	0	0	0	4 400 000	4 415 000
13	1 260 000	15 000	30 000	0	0	0	45 000
14	1 380 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
15	1 500 000	30 000	30 000	220 000	0	0	280 000
16	1 620 000	30 000	60 000	0	0	0	90 000
Razem							12 425 000

Koszt przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu LINK podano w tabl. 10.12. Z uwagi na przyjęty okres analizy dla tego pojazdu będą przeprowadzone wyłącznie przeglądy i naprawy rewizyjne bez naprawy głównej, która przewidziana jest po osiągnięciu przebiegu 2 400 000 km lub 20 latach eksploatacji.

Tablica 10.12. Koszt przeglądów i napraw zespołu trakcyjnego typu LINK w kolejnych latach eksploatacji

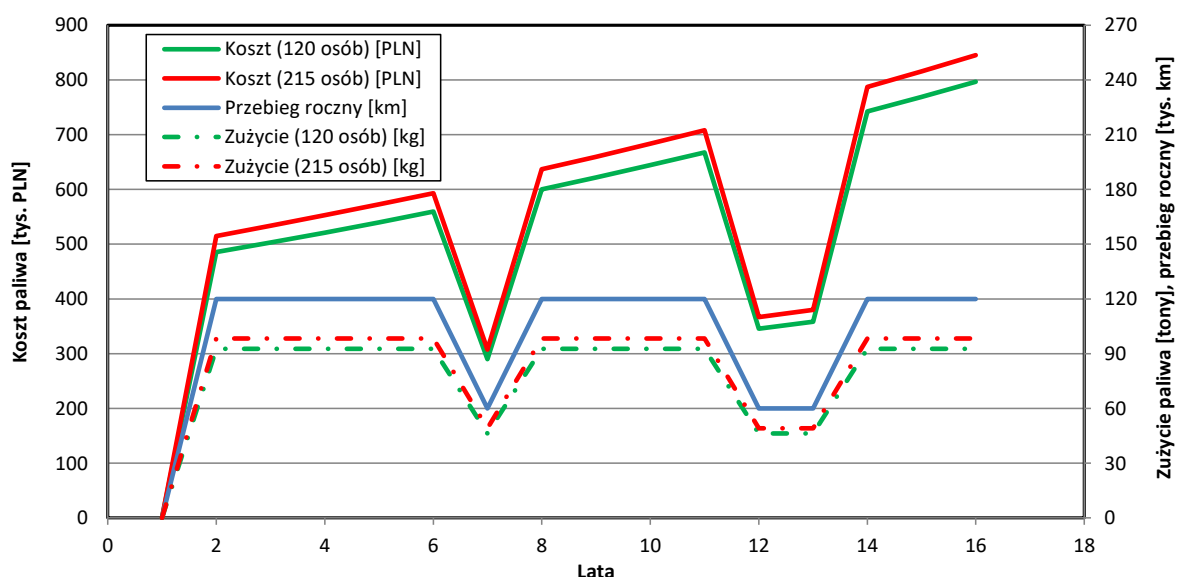
Rok	Przebieg całkowity [km]	P1 [PLN]	P2-1 [PLN]	P2-2 [PLN]	P3-1 [PLN]	P3-2 [PLN]	P4 [PLN]	Razem [PLN]
1	120 000	28 000	98 550	82 900	0	0	0	209 450
2	240 000	28 000	98 550	0	320 800	0	0	447 350
3	360 000	28 000	98 550	82 900	0	0	0	209 450
4	480 000	28 000	98 550	0	320 800	0	0	447 350
5	600 000	28 000	98 550	0	0	502 250	0	628 800
6	720 000	28 000	98 550	82 900	0	0	0	209 450
7	840 000	28 000	98 550	0	320 800	0	0	447 350
8	960 000	28 000	98 550	82 900	0	0	0	209 450
9	1080 000	28 000	98 550	0	320 800	0	0	447 350
10	1200 000	28 000	98 550	0	0	0	0	126 550
11	1241 000	10 500	32 850	0	0	0	3 500 000	3 543 350
12	1361 000	28 000	98 550	82 900	0	0	0	209 450
13	1481 000	28 000	98 550	0	320 800	0	0	447 350
14	1601 000	28 000	98 550	82 900	0	0	0	209 450
15	1721 000	28 000	98 550	0	320 800	0	0	447 350
16	1841 000	28 000	98 550	0	0	502 250	0	628 800
Razem								8 868 300

Koszty zużycia paliwa

Koszt paliwa obliczono na podstawie danych z tabeli 10.9 i przy założeniu kosztów paliwa na poziomie 5,06 PLN netto za 1 kg oleju napędowego dla roku bazowego (pierwszego) i rocznej indeksacji 3,6%. Roczne koszty paliwa dla analizowanych zespołów trakcyjnych i założonych w analizie przebiegach rocznych podano w tablicach 10.13–10.15 oraz odpowiednio na rys. 10.2–10.5.

Tablica 10.13. Koszt zużycia oleju napędowego zespołu trakcyjnego typu SA108 z silnikiem MAN D2866 LUH21 (po naprawie głównej) w kolejnych latach eksploatacji w zależności od liczby przewożonych pasażerów

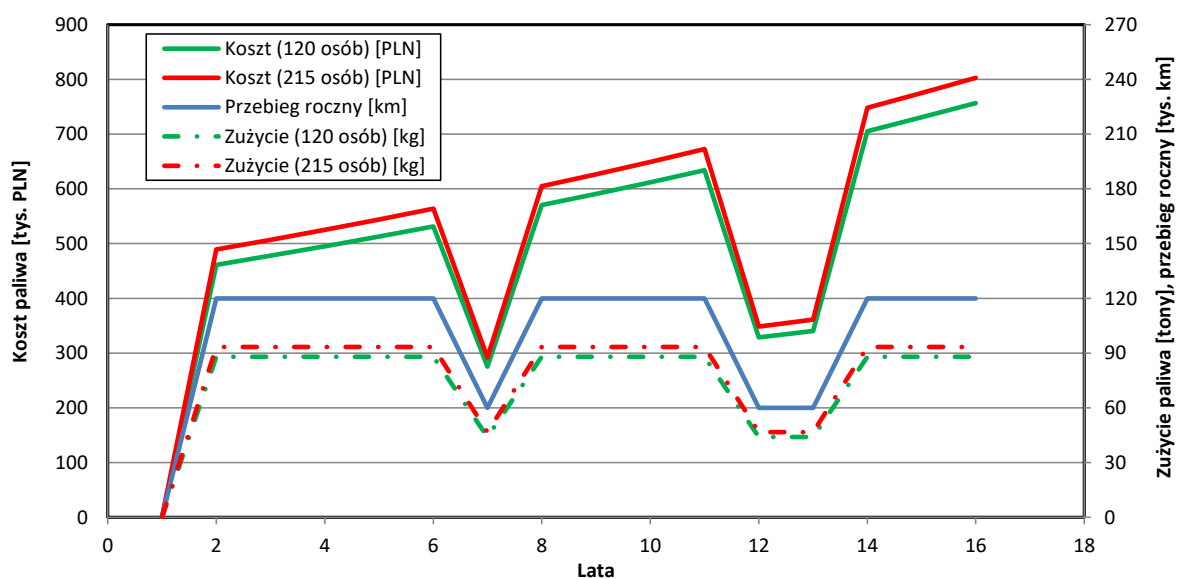
Rok	Przebieg roczny [km]	Zużycie (120 osób) [kg]	Koszt (120 osób) [PLN]	Zużycie (215 osób) [kg]	Koszt (215 osób) [PLN]
1	0	0	0	0	0
2	120 000	92 660	485 576	98 280	515 030
3	120 000	92 660	503 057	98 280	533 571
4	120 000	92 660	521 167	98 280	552 779
5	120 000	92 660	539 929	98 280	572 679
6	120 000	92 660	559 366	98 280	593 296
7	60 000	46 330	289 752	49 140	307 327
8	120 000	92 660	600 366	98 280	636 782
9	120 000	92 660	621 979	98 280	659 706
10	120 000	92 660	644 370	98 280	683 456
11	120 000	92 660	667 567	98 280	708 060
12	60 000	46 330	345 800	49 140	366 775
13	60 000	46 330	358 249	49 140	379 979
14	120 000	92 660	742 291	98 280	787 317
15	120 000	92 660	769 014	98 280	815 660
16	120 000	92 660	796 698	98 280	845 024



Rys. 10.2. Wizualizacja kosztów zużycia oleju napędowego zespołu trakcyjnego typu SA108 z silnikiem MAN D2866 LUH21 (po naprawie głównej) w kolejnych latach eksploatacji w zależności od liczby przewożonych pasażerów

Tablica 10.14. Koszt zużycia oleju napędowego zespołu trakcyjnego typu SA108 z silnikiem MAN D2876 LUE2 (po modernizacji) w kolejnych latach eksploatacji w zależności od liczby przewożonych pasażerów

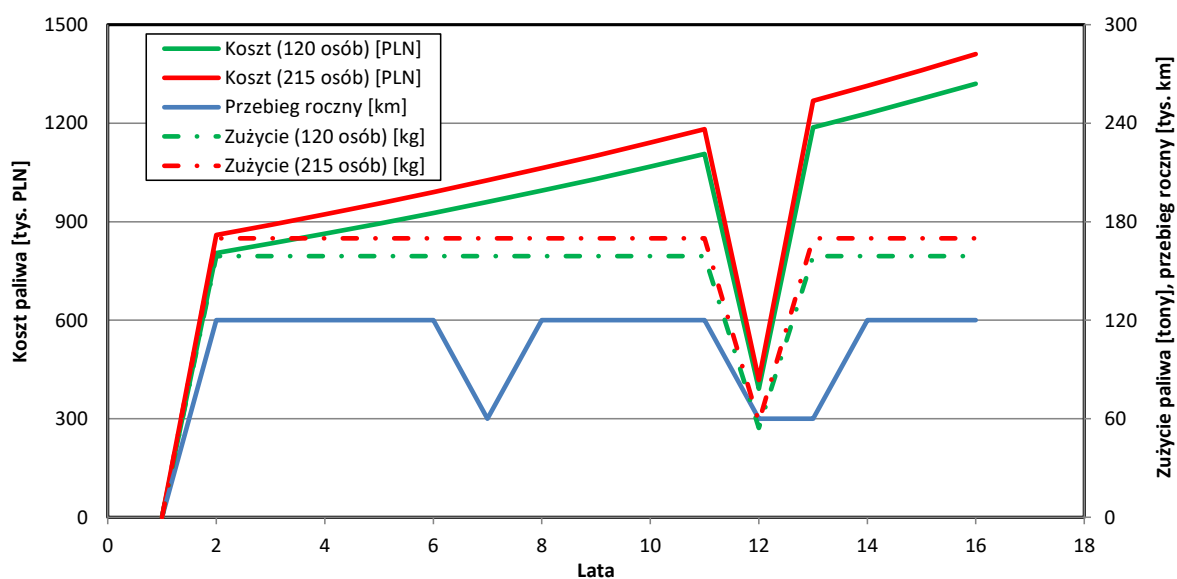
Rok	Przebieg roczny [km]	Zużycie (120 osób) [kg]	Koszt (120 osób) [PLN]	Zużycie (215 osób) [kg]	Koszt (215 osób) [PLN]
1	0	0	0	0	0
2	120 000	88 027	461 297	93 366	489 278
3	120 000	88 027	477 904	93 366	506 892
4	120 000	88 027	495 109	93 366	525 140
5	120 000	88 027	512 932	93 366	544 045
6	120 000	88 027	531 398	93 366	563 631
7	60 000	44 013	275 264	46 683	291 961
8	120 000	88 027	570 347	93 366	604 943
9	120 000	88 027	590 880	93 366	626 721
10	120 000	88 027	612 152	93 366	649 283
11	120 000	88 027	634 189	93 366	672 657
12	60 000	44 013	328 510	46 683	348 436
13	60 000	44 013	340 336	46 683	360 980
14	120 000	88 027	705 177	93 366	747 951
15	120 000	88 027	730 563	93 366	774 877
16	120 000	88 027	756 863	93 366	802 773



Rys. 10.3. Wizualizacja kosztów zużycia oleju napędowego zespołu trakcyjnego typu SA108 z silnikiem MAN D2876 LUE2 (po modernizacji) w kolejnych latach eksploatacji w zależności od liczby przewożonych pasażerów

Tablica 10.15. Koszt zużycia oleju napędowego zespołu trakcyjnego typu LINK z silnikiem MTU 6H 1800 R85L w kolejnych latach eksploatacji w zależności od liczby przewożonych pasażerów

Rok	Przebieg	Zużycie (160 osób) [kg]	Koszt (160 osób) [PLN]	Zużycie (350 osób) [kg]	Koszt (350 osób) [PLN]
1	0	0	0	0	0
2	120 000	159 041	804 483	169 920	859 512
3	120 000	159 041	833 445	169 920	890 454
4	120 000	159 041	863 449	169 920	922 511
5	120 000	159 041	894 533	169 920	955 721
6	120 000	159 041	926 736	169 920	990 127
7	120 000	159 041	960 098	169 920	1 025 772
8	120 000	159 041	994 662	169 920	1 062 700
9	120 000	159 041	1 030 470	169 920	1 100 957
10	120 000	159 041	1 067 567	169 920	1 140 591
11	120 000	159 041	1 105 999	169 920	1 181 652
12	41 000	54 339	391 487	58 056	418 266
13	120 000	159 041	1 187 064	169 920	1 268 263
14	120 000	159 041	1 229 799	169 920	1 313 920
15	120 000	159 041	1 274 071	169 920	1 361 221
16	120 000	159 041	1 319 938	169 920	1 410 225



Rys. 10.4. Wizualizacja kosztów zużycia oleju napędowego zespołu trakcyjnego typu LINK z silnikiem MTU 6H 1800 R85L w kolejnych latach eksploatacji w zależności od liczby przewożonych pasażerów

Koszt amortyzacji

Koszt amortyzacji w wariantcie I, to znaczy dla zespołu trakcyjnego SA108 11-letniego po naprawie głównej odpowiada 5 latom amortyzacji, które zostały do rozliczenia w związku z pierwotnym zakupem pojazdów. W założeniach przyjęto 15-letni okres amortyzacji. Roczny koszt dla pierwszych pięciu lat eksploatacji, przy wartości początkowej 5,2 mln PLN netto wynosi 346 667 PLN netto.

W wariantcie II dla zespołu trakcyjnego SA108 po przeprowadzonej modernizacji zamiast naprawy głównej P5 amortyzacja liczona jest analogicznie do wariantu I, przy czym dodatkowo należy rozliczyć koszt modernizacji – koszt ten potraktowano jako zwiększenie warto-

ści środka trwałego i założono dla niego 15 letni okres amortyzacji, jak dla wartości początkowej środka trwałego. Dla kosztu modernizacji w wysokości 5,8 mln PLN oznacza to roczny koszt amortyzacji w wysokości 386 667 PLN netto. Dodatkowo, jak w wariancie I, należy uwzględnić dla pierwszych pięciu lat eksploatacji koszt amortyzacji pojazdu w wysokości 346 667 PLN netto.

W wariancie III koszt amortyzacji odpowiada amortyzacji wartości początkowej pojazdu typu LINK, co przy stawce amortyzacji 6,67% rocznie i koszcie zakupu 22,6 mln PLN daje roczny koszt 1 506 667 PLN.

Kalkulacja przychodów

W literaturze przedmiotu w analizach ekonomicznych dla uproszczenia przyjmuje się, że przychody ze sprzedaży biletów będą iloczynem średniego przychodu na pasażera i liczby miejsc siedzących [31]. Na potrzeby ekonomicznej analizy rentowności w wariancie podstawowym przyjęto takie same założenia, co oznacza, że dla zespołu trakcyjnego SA108 dla każdej trasy przychody generuje 120 miejsc, a dla zespołu trakcyjnego LINK 160 miejsc siedzących. Dodatkowo wykonano kalkulację dla maksymalnych możliwych przychodów przy założeniu sprzedaży biletów dla maksymalnej dopuszczalnej liczby pasażerów. W tym wariancie przychody generuje sprzedaż 215 biletów dla zespołu trakcyjnego SA108 i 350 biletów dla zespołu trakcyjnego LINK. Jako liczbę dni roboczych w ciągu roku przyjęto 333 dni z uwagi na założony maksymalny przebieg roczny pojazdów. Jeżeli w danym roku przewidziana jest naprawa rewizyjna lub główna, liczba dni, w których możliwe jest generowanie przychodów była odpowiednio skorygowana w zależności od czasu niezbędnego do przeprowadzenia naprawy – wymagany czas trwania poszczególnych napraw rewizyjnych i głównych podano w tabl. 10.13 dla zespołu trakcyjnego SA108 i tabl. 10.15 dla zespołu trakcyjnego typu LINK. Szacunki przychodów netto dla analizowanych pojazdów przedstawiono w tabl. 10.16.

Tablica 10.16. Przychody ze sprzedaży biletów dla obu typów spalinowych zespołów trakcyjnych

Typ zespołu trakcyjnego	Przychody z jednego dnia roboczego [PLN]		Przychody roczne [PLN]	
	Sprzedaż miejsc siedzących	Sprzedaż wszystkich miejsc	Sprzedaż miejsc siedzących	Sprzedaż wszystkich miejsc
SA108	5 587	10 010	1 860 538	3 333 463
LINK	7 450	16 296	2 480 717	5 426 568

Dla realizacji przewozów zespołem trakcyjnym typu LINK należy uwzględnić w przychodach również możliwość sprzedaży używanego pojazdu SA108 bez przeprowadzenia modernizacji i naprawy głównej. Dzięki temu przychody w pierwszym roku analizy zwiększą się o 300 000 PLN.

10.3.2. Analiza rentowności

Realizacja przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po wykonanej naprawie głównej i przy założeniu sprzedaży średnio 120 miejsc na każdym połączeniu jest nieopłacalna dla przewoźnika, w latach w których przeprowadzana jest naprawa główna (1 i 12 rok) oraz naprawa rewizyjna (7 rok). Próg rentowności osiągany jest po pierwszej naprawie głównej w 9 roku (skumulowany wynik staje się dodatni). Następnie w 12 i 13 roku całkowity wynik finansowy jest ponownie ujemny, żeby osiągnąć drugi próg rentowności w 14 roku eksploatacji (tabl. 10.17). Całkowity skumulowany zysk za okres 16 lat wynosi 2 667 391 PLN.

Tablica 10.17. Analiza rentowności dla zespołu trakcyjnego SA108 po naprawie głównej (wariant podstawowy – średnia sprzedaż 120 biletów)

Rok	Koszty utrzymania	Koszty paliwa	Amortyzacja	Przychody	Wynik roczny	Wynik skumulowany
1	4 400 000	0	346 667	0	-4 746 667	-4 746 667
2	90 000	485 576	346 667	1 860 538	938 295	-3 808 372
3	90 000	503 057	346 667	1 860 538	920 814	-2 887 558
4	280 000	521 167	346 667	1 860 538	712 704	-2 174 854
5	90 000	539 929	346 667	1 860 538	883 942	-1 290 912
6	60 000	559 366	0	1 860 538	1 241 171	-49 740
7	1 945 000	289 752	0	933 062	-1 301 689	-1 351 430
8	90 000	600 366	0	1 860 538	1 170 172	-181 258
9	280 000	621 979	0	1 860 538	958 559	777 301
10	90 000	644 370	0	1 860 538	1 126 168	1 903 468
11	90 000	667 567	0	1 860 538	1 102 970	3 006 439
12	4 415 000	345 800	0	1 005 696	-3 755 104	-748 665
13	45 000	358 249	0	1 005 696	602 447	-146 218
14	90 000	742 291	0	1 860 538	1 028 246	882 028
15	280 000	769 014	0	1 860 538	811 524	1 693 552
16	90 000	796 698	0	1 860 538	973 839	2 667 391
Razem	12 425 000	8 445 181	1 733 333	25 270 906	2 667 391	

Realizacja przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po modernizacji i przy założeniu sprzedaży średnio 120 miejsc na każdym połączeniu jest nieopłacalna dla przewoźnika, w latach w których przeprowadzana jest modernizacja (1 rok), naprawa rewizyjna (7 rok) oraz naprawa główna (12 rok). Próg rentowności osiągany jest po raz pierwszy w drugim roku eksploatacji (skumulowany wynik staje się dodatni), a następnie w latach 12–13 całkowity wynik finansowy jest ponownie ujemny, żeby osiągnąć drugi próg rentowności w 14 roku eksploatacji (tabl. 10.18). Całkowity skumulowany zysk za okres 16 lat wynosi 1 689 650 PLN.

Realizacja przewozów zespołem trakcyjnym LINK przy założeniu sprzedaży średnio 160 miejsc na każdym połączeniu jest nieopłacalna dla przewoźnika, tak długo jak rozliczana jest amortyzacja pojazdu (tabl. 10.19). Dopiero w 16 roku eksploatacji po umorzeniu całej wartości początkowej pojazdu, roczny wynik finansowy staje się dodatni. Całkowita skumulowana strata za okres 16 lat wynosi 9 307 401 PLN.

W kolejnym etapie oszacowano maksymalny możliwy do uzyskania wynik finansowy w analizowanym okresie 16 lat przy założeniu sprzedaży wszystkich miejsc (siedzących i stojących).

Realizacja przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po wykonanej naprawie głównej i przy założeniu sprzedaży 215 biletów dla każdego połączenia, pozwala na osiągnięcie progu rentowności w czwartym roku (skumulowany wynik staje się dodatni), chociaż wynik roczny dla pierwszego, siódmego i dwunastego roku jest ujemny. Całkowity skumulowany zysk za okres 16 lat wynosi 22 161 264 PLN (tabl. 10.20).

Tablica 10.18. Analiza rentowności dla zespołu trakcyjnego SA108 po modernizacji (wariant podstawowy – średnia sprzedaż 120 biletów)

Rok	Koszty utrzymania	Koszty paliwa	Amortyzacja	Przychody	Wynik roczny	Wynik skumulowany
1	0	0	346 667	0	-346 667	-346 667
2	90 000	489 278	733 333	1 860 538	575 907	229 240
3	90 000	506 892	733 333	1 860 538	559 300	788 541
4	280 000	525 140	733 333	1 860 538	352 096	1 140 636
5	90 000	544 045	733 333	1 860 538	524 272	1 664 908
6	60 000	563 631	386 667	1 860 538	882 473	2 547 381
7	1 945 000	291 961	386 667	933 062	-1 673 868	873 513
8	90 000	604 943	386 667	1 860 538	813 524	1 687 036
9	280 000	626 721	386 667	1 860 538	602 991	2 290 027
10	90 000	649 283	386 667	1 860 538	771 719	3 061 746
11	90 000	672 657	386 667	1 860 538	749 682	3 811 428
12	4 415 000	348 436	386 667	1 005 696	-4 124 481	-313 052
13	45 000	360 980	386 667	1 005 696	233 693	-79 359
14	90 000	747 951	386 667	1 860 538	678 694	599 335
15	280 000	774 877	386 667	1 860 538	463 308	1 062 643
16	90 000	802 773	386 667	1 860 538	627 008	1 689 650
Razem	8 025 000	8 509 570	7 533 333	25 270 906	1 689 650	

Tablica 10.19. Analiza rentowności dla zespołu trakcyjnego LINK (wariant podstawowy – średnia sprzedaż 160 biletów)

Rok	Koszty utrzymania	Koszty paliwa	Amortyzacja	Przychody	Wynik roczny	Wynik skumulowany
1	209 450	804 483	1 506 667	2 780 717	260 117	260 117
2	447 350	833 445	1 506 667	2 480 717	-306 744	-46 627
3	209 450	863 449	1 506 667	2 480 717	-98 848	-145 476
4	447 350	894 533	1 506 667	2 480 717	-367 833	-513 308
5	628 800	926 736	1 506 667	2 480 717	-581 486	-1 094 794
6	209 450	960 098	1 506 667	2 480 717	-195 498	-1 290 292
7	447 350	994 662	1 506 667	2 480 717	-467 962	-1 758 254
8	209 450	1 030 470	1 506 667	2 480 717	-265 870	-2 024 123
9	447 350	1 067 567	1 506 667	2 480 717	-540 866	-2 564 990
10	126 550	1 105 999	1 506 667	2 480 717	-258 499	-2 823 489
11	3 543 350	391 487	1 506 667	901 402	-4 540 102	-7 363 591
12	209 450	1 187 064	1 506 667	2 480 717	-422 464	-7 786 055
13	447 350	1 229 799	1 506 667	2 480 717	-703 098	-8 489 153
14	209 450	1 274 071	1 506 667	2 480 717	-509 471	-8 998 624
15	447 350	1 319 938	1 506 667	2 480 717	-793 238	-9 791 862
16	628 800	1 367 456	0	2 480 717	484 461	-9 307 401
Razem	8 868 300	16 251 255	22 600 000	38 412 154	-9 307 401	

Przy realizacji przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po modernizacji i przy założeniu sprzedaży 215 biletów, próg rentowności osiągnąć jest w drugim roku eksploatacji (skumulowany wynik staje się dodatni). Podobnie jak dla naprawy głównej wynik roczny dla pierw-

szego, siódmego i dwunastego roku jest ujemny. Całkowity skumulowany zysk za okres 16 lat wynosi 21 209 136 PLN (tabl. 10.21).

Tablica 10.20. Analiza rentowności dla zespołu trakcyjnego SA108 po remoncie głównym (wariant maksymalny – sprzedaż 215 biletów)

Rok	Koszty utrzymania	Koszty paliwa	Amortyzacja	Przychody	Wynik roczny	Wynik skumulowany
1	4 400 000	0	346 667	0	-4 746 667	-4 746 667
2	90 000	515 030	346 667	3 333 463	2 381 767	-2 364 900
3	90 000	533 571	346 667	3 333 463	2 363 226	-1 674
4	280 000	552 779	346 667	3 333 463	2 154 017	2 152 343
5	90 000	572 679	346 667	3 333 463	2 324 117	4 476 460
6	60 000	593 296	0	3 333 463	2 680 167	7 156 627
7	1 945 000	307 327	0	1 671 737	-580 590	6 576 037
8	90 000	636 782	0	3 333 463	2 606 681	9 182 718
9	280 000	659 706	0	3 333 463	2 393 757	11 576 475
10	90 000	683 456	0	3 333 463	2 560 007	14 136 482
11	90 000	708 060	0	3 333 463	2 535 403	16 671 885
12	4 415 000	366 775	0	1 801 872	-2 979 903	13 691 982
13	45 000	379 979	0	1 801 872	1 376 893	15 068 875
14	90 000	787 317	0	3 333 463	2 456 147	17 525 022
15	280 000	815 660	0	3 333 463	2 237 803	19 762 825
16	90 000	845 024	0	3 333 463	2 398 439	22 161 264
Razem	12 425 000	8 957 442	1 733 333	45 277 039	22 161 264	

Tablica 10.21. Analiza rentowności dla zespołu trakcyjnego SA108 po modernizacji (wariant maksymalny – sprzedaż 215 biletów)

Rok	Koszty utrzymania	Koszty paliwa	Amortyzacja	Przychody	Wynik roczny	Wynik skumulowany
1	0	0	346 667	0	-346 667	-346 667
2	90 000	489 278	733 333	3 333 463	2 020 852	1 674 185
3	90 000	506 892	733 333	3 333 463	2 003 238	3 677 422
4	280 000	525 140	733 333	3 333 463	1 794 989	5 472 412
5	90 000	544 045	733 333	3 333 463	1 966 084	7 438 496
6	60 000	563 631	386 667	3 333 463	2 323 165	9 761 662
7	1 945 000	291 961	386 667	1 671 737	-951 891	8 809 771
8	90 000	604 943	386 667	3 333 463	2 251 853	11 061 624
9	280 000	626 721	386 667	3 333 463	2 040 076	13 101 700
10	90 000	649 283	386 667	3 333 463	2 207 514	15 309 213
11	90 000	672 657	386 667	3 333 463	2 184 139	17 493 353
12	4 415 000	348 436	386 667	1 801 872	-3 348 231	14 145 122
13	45 000	360 980	386 667	1 801 872	1 009 225	15 154 347
14	90 000	747 951	386 667	3 333 463	2 108 846	17 263 193
15	280 000	774 877	386 667	3 333 463	1 891 920	19 155 112
16	90 000	802 773	386 667	3 333 463	2 054 024	21 209 136
Razem	8 025 000	8 509 570	7 533 333	45 277 039	21 209 136	

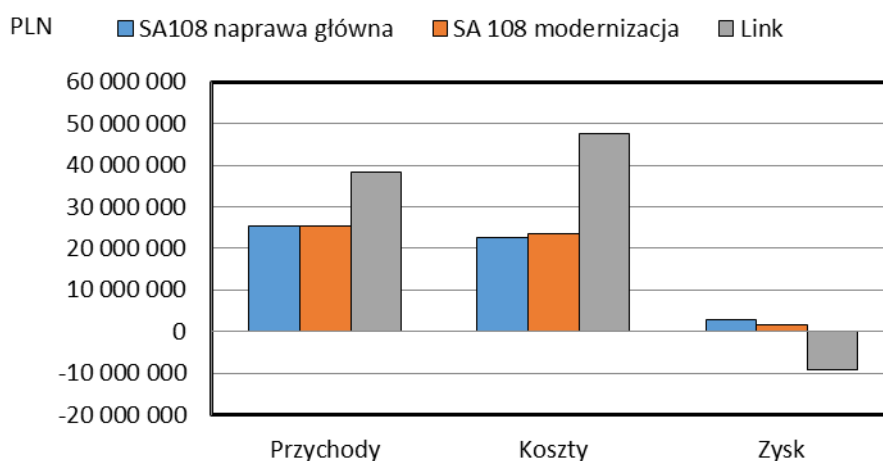
Realizacja przewozów zespołem trakcyjnym LINK przy założeniu sprzedaży wszystkich 350 biletów na każdym połączeniu jest opłacalna dla przewoźnika od pierwszego roku (tabl.

10.22), gdy osiągnięto już próg rentowności. Roczny wynik finansowy jest dodatni w każdym roku z wyjątkiem jedenastego w którym przeprowadzana jest naprawa rewizyjna P4. Całkowity skumulowany zysk za okres 16 lat wynosi 34 839 150 PLN.

Tablica 10.22. Analiza rentowności dla zespołu trakcyjnego LINK (wariant maksymalny – sprzedaż 350 biletów)

Rok	Koszty utrzymania	Koszty paliwa	Amortyzacja	Przychody	Wynik roczny	Wynik skumulowany
1	209 450	859512	1 506 667	5 726 568	3 150 939	3 150 939
2	447 350	890454	1 506 667	5 426 568	2 582 097	5 733 036
3	209 450	922511	1 506 667	5 426 568	2 787 941	8 520 977
4	447 350	955721	1 506 667	5 426 568	2 516 830	11 037 807
5	628 800	990127	1 506 667	5 426 568	2 300 974	13 338 781
6	209 450	1025772	1 506 667	5 426 568	2 684 680	16 023 461
7	447 350	1062700	1 506 667	5 426 568	2 409 852	18 433 313
8	209 450	1100957	1 506 667	5 426 568	2 609 495	21 042 807
9	447 350	1140591	1 506 667	5 426 568	2 331 960	23 374 767
10	126 550	1181652	1 506 667	5 426 568	2 611 699	25 986 466
11	3 543 350	418266	1 506 667	1 971 816	-3 496 466	22 490 000
12	209 450	1268263	1 506 667	5 426 568	2 442 189	24 932 189
13	447 350	1313920	1 506 667	5 426 568	2 158 631	27 090 820
14	209 450	1361221	1 506 667	5 426 568	2 349 230	29 440 050
15	447 350	1410225	1 506 667	5 426 568	2 062 326	31 502 376
16	628 800	1460993	0	5 426 568	3 336 775	34 839 150
Razem	8 868 300	17362886	22 600 000	83 670 336	34 839 150	

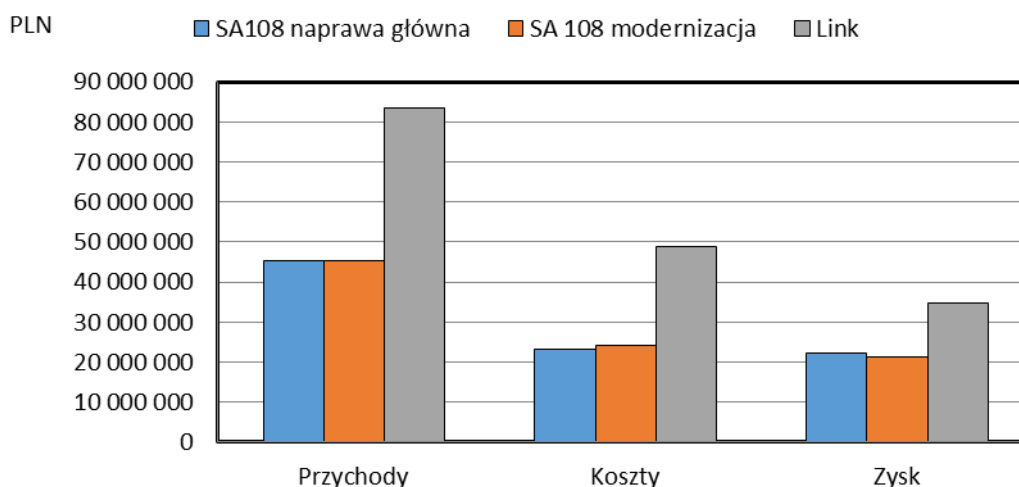
Najwyższe koszty utrzymania generuje eksploatacja trójczłonowego zespołu trakcyjnego LINK. Wykorzystywanie tego pojazdu jest opłacalne pod warunkiem odpowiednio wysokiego popytu ze strony pasażerów. Sprzedaż wyłącznie miejsc siedzących (160 biletów) nie pozwala na osiągnięcie rentowności (rys. 10.5). Przy takim wariantcie sprzedaży najbardziej opłacalne jest wykorzystywanie zespołu trakcyjnego SA108 po przeprowadzonej naprawie głównej.



Rys. 10.5. Porównanie efektywności finansowej realizacji przewozów analizowanymi zespołami trakcyjnymi (wariant sprzedaży biletów na miejsca siedzące)

Przyjmując maksymalne możliwe do uzyskania przychody ze sprzedaży biletów, mamy do czynienia z odwrotną sytuacją, tj. eksploatacja zespołu trakcyjnego LINK generuje najwyższy

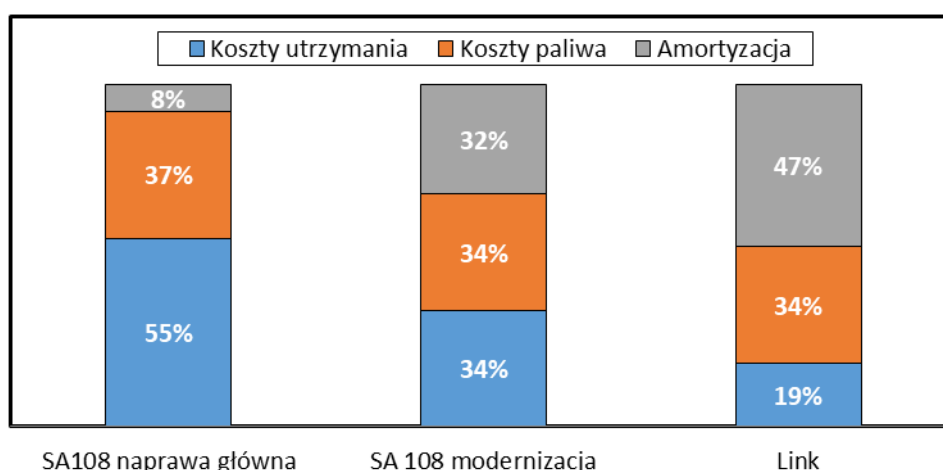
zysk (rys. 10.6). Łączny zysk z eksploatacji obu wersji zespołu trakcyjnego SA108 jest zbliżony, różnica wynosi 952 tysiące złotych na korzyść pojazdu po naprawie głównej.



Rys. 10.6. Porównanie efektywności finansowej realizacji przewozów analizowanymi zespołami trakcyjnymi (wariant sprzedaży biletów na miejsca siedzące i stojące)

Analizując strukturę kosztów dla realizacji przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po naprawie głównej dla podstawowego wariantu przychodów (tylko miejsca siedzące) 55% całości stanowią koszty utrzymania, a koszty amortyzacji stanowią tylko 8% (rys. 10.7). Dla realizacji przewozów pojazdem SA108 po modernizacji udział kosztów utrzymania spada do 34%, a amortyzacji rośnie do 32%. Różnica wynika z tego, że koszt modernizacji rozliczany jest jako amortyzacja, podczas gdy koszt naprawy głównej zaliczany jest do kosztów utrzymania. Zużycie paliwa stanowi dla pierwszego pojazdu 37% całości kosztów, a dla drugiego 34%

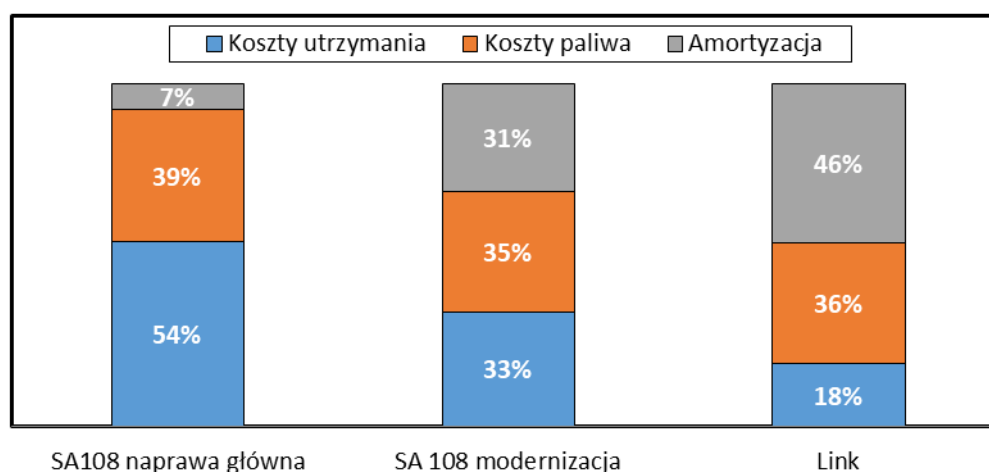
Inaczej kształtuje się struktura kosztów dla zespołu trakcyjnego typu LINK. Jest to nowy pojazd, dla którego cała wartość początkowa rozliczana jest w trakcie założonego okresu analizy. Stąd też, amortyzacja stanowi aż 47% całości kosztów. Koszt paliwa to 34%, a koszt utrzymania 19%.



Rys. 10.7. Struktura kosztów realizacji przewozów analizowanymi zespołami trakcyjnymi (wariant sprzedaży biletów na miejsca siedzące)

Dla wariantu sprzedaży wszystkich dostępnych miejsc w pojazdach, struktura kosztów jest zbliżona do wariantu podstawowego. Różnica polega na większym udziale kosztów paliwa – o 2 punkty procentowe dla pojazdu SA108 po naprawie głównej i pojazdu LINK oraz o 1,5

punktu procentowego dla pojazdu SA108 po modernizacji (rys. 10.8). Koszty utrzymania i amortyzacji są niższe o 1 punkt procentowy dla wszystkich typów analizowanych pojazdów, tj. SA108 po naprawie głównej modernizacji oraz LINK.



Rys. 10.8. Struktura kosztów realizacji przewozów analizowanymi zespołami trakcyjnymi (wariant sprzedaży biletów na miejsca siedzące i stojące)

10.3.3. Wewnętrzna stopa zwrotu

Wskaźnik wewnętrznej stopy zwrotu (IRR – *Internal Return Rate*) pokazuje efektywność wykorzystania zaangażowanych środków, czyli ich wpływ na zysk. Pokazuje zatem istotną z punktu widzenia inwestora (w tym przypadku przewoźnika) zależność – produktywność wykorzystywanego majątku.

Stopa zwrotu z inwestycji, określana jest przez stosunek zysku do nakładów i wyrażana w procentach. Im wyższy wskaźnik tym lepiej.

Jako nakłady przyjęto następujące wartości:

- koszty przeglądów i napraw,
- koszt modernizacji,
- koszty paliwa,
- koszt zakupu zespołu trakcyjnego typu LINK,
- koszt amortyzacji za 5 lat dla zespołu trakcyjnego typu SA108.

Zarówno w wariantcie przychodów podstawowym, jak i maksymalnym najwyższą stopę zwrotu gwarantuje eksploatacja zespołu trakcyjnego SA108 po naprawie głównej, a najniższą eksploatacja zespołu trakcyjnego LINK (tabl. 10.23). Dla maksymalnych możliwych do uzyskania przychodów, IRR dla pojazdu SA108 po naprawie głównej wynosi blisko 96%. Jednak bliższy realiom rynkowym jest wariant podstawowy przychodów dla którego IRR dla tego samego pojazdu wyniesie niespełna 12%.

Tablica 10.23. Wewnętrzna stopa zwrotu IRR dla eksploatacji zespołów trakcyjnych SA108 po naprawie głównej i modernizacji oraz LINK w zależności od wartości przychodów

	Wariant podstawowy (przychody za miejsca siedzące)	Wariant maksymalny (przychody za miejsca siedzące i stojące)
SA108 naprawa główna	11,8%	95,9%
SA108 modernizacja	7,2%	88,1%
LINK	-19,5%	71,3%

10.3.4. Analiza wrażliwości

Decydujący wpływ na wyniki finansowe mają przychody z realizacji usług przewozowych. W poprzedniej części założono, że ceny biletów są niezmiennie, tzn. mogą się zmieniać, ale wyłącznie o wskaźnik inflacji podobnie, jak i koszty (z wyjątkiem kosztów paliwa, dla których założono wyższy wzrost niż inflacja).

Jeżeli przyjmujemy, że ceny biletów wzrosną o 10% po 5 latach i o kolejne 10% po 10 latach (wzrost cen powyżej wskaźnika inflacji), rentowność eksploatacji zespołów trakcyjnych wzrośnie, jednak nie wpłynie to na decyzje inwestycyjne, gdyż nadal pojazd typu LINK będzie nierentowny dla podstawowego wariantu sprzedaży, a najbardziej opłacalne będzie realizowanie przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po przeprowadzonej naprawie głównej (tabl. 10.24). Zysk możliwy do osiągnięcia dla tego wariantu wyniesie 5 268 903 PLN.

Tablica 10.24. Analiza rentowności dla zespołów trakcyjnych SA108 i LINK dla wzrostu cen o 10% po 5 latach i po 10 latach (wariant podstawowy – sprzedaż biletów na miejsca siedzące)

	Przychody	Koszty	Wynik finansowy
SA108 naprawa główna	27 872 418	22 603 514	5 268 903
SA108 modernizacja	27 872 418	23 581 255	4 291 162
LINK	42 446 559	47 719 555	-5 272 996

Analogicznie jak dla pierwotnych założeń analizy ekonomicznej, dla wariantu maksymalnych przychodów, najbardziej opłacalne będzie realizowanie przejazdów trójczłonowym zespołem trakcyjnym typu LINK. Zysk możliwy do osiągnięcia wyniesie 43 664 412 PLN (tabl. 10.25).

Tablica 10.25. Analiza rentowności dla zespołów trakcyjnych SA108 i LINK dla wzrostu cen o 10% po 5 latach i po 10 latach (wariant maksymalny – sprzedaż biletów na miejsca siedzące i stojące)

	Przychody	Koszty	Zysk
SA108 naprawa główna	52 651 521	23 115 775	29 535 746
SA108 modernizacja	52 651 421	24 067 903	28 583 618
LINK	92 495 598	48 831 186	43 664 412

Spośród kosztów istotny wpływ na wynik finansowy mają koszty amortyzacji i utrzymania. Koszty amortyzacji są stałe, gdyż wynikają z pierwotnej ceny nabycia pojazdu, która jest znana. Koszty utrzymania też są znane chociaż ich wartość w kolejnych latach analizy może zwiększyć się o wskaźnik inflacji. Największa niepewność związana jest z kosztami paliwa.

Zużycie oleju napędowego zależy głównie od masy pojazdu i charakterystyki silnika, ale istotny wpływ ma również styl jazdy maszynisty. Różnica pomiędzy forsownym a oszczędnym stylem jazdy może wynieść nawet 23%. Zakładając mniejsze o 10% zużycie oleju napędowego, koszty i wynik finansowy dla wariantu podstawowego sprzedaży kształtują się tak jak przedstawiono w tabl. 10.26.

Tablica 10.26. Analiza rentowności dla zespołów trakcyjnych SA108 i LINK dla oszczędnego stylu jazdy (wariant podstawowy – sprzedaż biletów na miejsca siedzące)

	Przychody	Koszty	Wynik finansowy
SA108 naprawa główna	25 270 906	21 758 996	3 511 909
SA108 modernizacja	25 270 906	22 778 963	2 491 943
LINK	38 412 154	46 094 429	-7 682 276

Podobnie jak dla wzrostu cen, rentowność eksploatacji zespołów trakcyjnych wzrośnie, jednak nie wpłynie to na decyzje inwestycyjne, gdyż nadal pojazd typu LINK będzie nierent-

towny dla podstawowego wariantu sprzedaży, a najbardziej opłacalne będzie realizowanie przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po przeprowadzonej naprawie głównej.

Dla maksymalnego wariantu sprzedaży, zmniejszenie kosztów zużycia paliwa o 10% nie wpływa na ranking wyboru pojazdów według rentowności przewozów. Najbardziej opłacalne jest wykorzystywanie pojazdu typu LINK, a najmniej pojazdu SA108 po modernizacji (tabl. 10.27).

Tablica 10.27. Analiza rentowności dla zespołów trakcyjnych SA108 i LINK dla oszczędnego stylu jazdy (wariant maksymalny – sprzedaż biletów na miejsca siedzące i stojące)

	Przychody	Koszty	Wynik finansowy
SA108 naprawa główna	45 277 039	22 220 031	23 057 008
SA108 modernizacja	45 277 039	23 216 946	22 060 093
LINK	83 670 336	47 094 897	36 575 439

Zmianę kolejności wyboru pojazdów pod względem rentowności spowoduje zwiększenie liczby przewożonych pasażerów zmodernizowanym zespołem trakcyjnym SA108. Jeżeli modernizacja i wyższy komfort przewozów spowodują większe zainteresowanie przewozami, to przy wzroście liczby pasażerów przynajmniej o 5 na każdej trasie, większe zyski przyniesie eksploatacja SA108 po modernizacji (tabl. 10.28).

Tablica 10.28. Analiza rentowności dla zespołów trakcyjnych SA108 po naprawie głównej (przewóz 120 pasażerów) i SA108 po modernizacji (przewóz 125 pasażerów)

	Przychody	Koszty	Wynik finansowy
SA108 naprawa główna	25 270 906	22 603 514	2 667 391
SA108 modernizacja	26 323 860	23 606 868	2 716 992

10.3.5. Wnioski z analizy ekonomicznej

Z punktu widzenia rentowności ekonomicznej przewozów, przy założeniu średniej sprzedaży biletów odpowiadającej liczbie miejsc siedzących, najlepszym rozwiązaniem jest realizacja przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po przeprowadzonej naprawie głównej. Mniej zasadnym ekonomicznie rozwiązaniem jest przeprowadzenie modernizacji zespołu trakcyjnego SA108. Należy jednak wziąć pod uwagę, że przewoźnicy decydują się na modernizację taboru nie tylko ze względów ekonomicznych, ale również z uwagi na inne czynniki takie jak komfort pasażerów i zwiększenie atrakcyjności oferty przewozowej. Zysk jaki można osiągnąć realizując przewozy zespołem trakcyjnym SA108 po naprawie głównej jest wyższy o blisko 978 tysięcy PLN niż zysk z przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po modernizacji. Najwyższą wartość zysku jaką przewoźnik może osiągnąć dla przychodów w wariantcie podstawowym wynosi 2 667 391 PLN, ale zgodnie z przyjętymi założeniami nie brano pod uwagę kosztów pracy, dostępu do infrastruktury kolejowej liniowej i punktowej oraz dostępu do urządzeń związanych z obsługą pasażerów, gdyż koszty te nie różnicowały przyjętych wariantów, mają jednak znaczenie dla rentowności działalności przewoźnika.

Biorąc pod uwagę maksymalne wykorzystanie potencjału przewozowego zespołów trakcyjnych, najlepszym rozwiązaniem byłaby realizacja przewozów trójczłonowym zespołem trakcyjnym typu LINK. Zysk w wariantcie sprzedaży wszystkich biletów może osiągnąć skumulowaną wartość 34 839 150 PLN, co jest lepszym wynikiem o 57% od realizacji przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po naprawie głównej i o 64% od realizacji przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po modernizacji. Różnica w zysku między eksploatacją zespołu trakcyjnego SA108 po naprawie głównej i po modernizacji wynosi ponad 952 tysiące PLN na korzyść pierwszej opcji.

Przeprowadzona analiza wrażliwości wykazała, że zmniejszenie kosztów paliwa o 10% nie wpływa na kolejność zespołów trakcyjnych pod względem rentowności przewozów. Podobnie nie wpłynęło na nią podniesienie cen za usługi przewozowe o 10% po piątym i po dziesiątym roku analizy.

Niezależnie od analizowanych parametrów przewozów wpływających na koszty i przychody dla podstawowego wariantu sprzedaży, najbardziej uzasadnione ekonomicznie, jeżeli jako kryterium przyjmujemy zysk, jest wykorzystywanie zespołu trakcyjnego SA108 po naprawie głównej. Jeżeli jednak założymy możliwość sprzedaży 350 biletów na każdej trasie, zdecydowanie najbardziej opłacalnym wariantem jest realizacja przewozów trójczłonowym zespołem trakcyjnym typu LINK. W obu wariantach najmniej uzasadnione ekonomicznie jest wykorzystywanie zespołu trakcyjnego SA108 po modernizacji.

Z kolei, jeżeli jako główne kryterium oceny opłacalności przyjmujemy wewnętrzną stopę zwrotu z inwestycji, to dla obu wariantów przychodów najlepszym rozwiązaniem jest eksploatacja zespołu trakcyjnego SA108 po naprawie głównej, w dalszej kolejności zespołu trakcyjnego SA108 po modernizacji, a najniższą stopą IRR charakteryzuje się eksploatacja zespołu trakcyjnego LINK.

Korzyścią, która ma znaczenie dla przewoźnika, dla realizacji przewozów zespołem trakcyjnym LINK jest możliwość pozyskania dofinansowania unijnego na zakup nowego taboru. Jednak bezwzględnym warunkiem dla rentownej eksploatacji tego pojazdu jest odpowiednio wysoki popyt. Popyt ten można również zwiększyć przez wykorzystanie bardziej komfortowych dla pasażerów i nowocześniejszych trójczłonowych zespołów trakcyjnych LINK.

Z kolei porównując eksploatację dwoma typami pojazdów SA108 po modernizacji i po naprawie głównej, ten pierwszy może przynieść korzyści związane z większym zainteresowaniem potencjalnych pasażerów w stosunku do eksploatacji pojazdów niezmodernizowanych. Wystarczy, że modernizacja pojazdu przyciągnie o 5 pasażerów więcej na każdej trasie i wynik finansowy dla SA108 po modernizacji będzie nieznacznie wyższy niż dla pojazdu po naprawie głównej.

Zmodernizowany pojazd zużywa też mniej oleju napędowego (o 5%), co może mieć znaczenie przy rosnących cenach paliw oraz emituje mniej związków szkodliwych, co może mieć znaczenie dla wizerunku przewoźnika.

11. WNIOSKI

11.1. Wnioski ogólne

Użytkowanie krajowych pojazdów kolejowych powinno odbywać się w odniesieniu do aspektów środowiskowych oraz ekonomicznych. Aspekty środowiskowe dotyczą przede wszystkim wpływu pojazdów szynowych na środowisko naturalne człowieka (emisja spalin) z jednoczesnym uwzględnieniem zagadnień drgań i hałasu, a także komfortu jazdy. Aspekty ekonomiczne dotyczą kosztów i przychodów z użytkowania pojazdów szynowych, a także ich rentowności. Wszystkie te aspekty zawarto w rozprawie doktorskiej. Dzięki takiemu podejściu dokonano kompleksowej oceny współcześnie użytkowanych pojazdów szynowych na typowych liniach pasażerskich.

Na podstawie prowadzonych prac badawczych oraz analizy wyników sformułowano następujące wnioski ogólne:

1. Dokonano oceny bieżącej uciążliwości środowiskowej pojazdów szynowych; odnotowuje się duże wartości emisji drogowej tlenków azotu w badanej populacji pojazdów szynowych.
2. Zastosowanie techniki ekodrivingu w typowych pojazdach szynowych (szynobusach) przynosi wymierne korzyści ekologiczne w postaci ograniczenia gazowych składników toksycznych spalin oraz częściowe ograniczenie zużycia paliwa.
3. Ocena drgań w kabinie maszynisty oraz części pasażerskiej, a także komfortu pasażera wskazują na wartości poniżej wymagań granicznych określonych w odpowiednich normach w odniesieniu do pojazdu dwuczłonowego oraz trójczłonowego.
4. Ocena poziomu dźwięku w kabinach maszynisty wskazuje na spełnianie kryteriów badawczych, jednak ocena poziomu dźwięku w pomieszczeniach pasażerskich nie jest jednoznaczna.
5. Analiza ekonomiczna wybranych pojazdów szynowych stanowi narzędzie umożliwiające ocenę zarówno kosztów i przychodów z eksploatacji pojazdów, a także symulację rentowności takiego pojazdu.

Powyższe wnioski ogólne poparte wnioskami szczegółowymi umożliwiają stwierdzenie rozwiązania głównego problemu badawczego jakim było

wykazanie korzyści środowiskowych (w postaci ograniczenia emisji spalin i komfortu jazdy) oraz ekonomicznych, na typowych krajowych liniach kolejowych przez zastosowanie określonych warunków eksploatacji pojazdów szynowych (ekodrivingu)

Należy zaznaczyć, że maksymalizacja korzyści ze zmiany stylu jazdy wymaga wykorzystania wspomaganie komputerowego w formie symulacji i organizacji pracy pojazdów [42]. Uzyskane wyniki wskazują na duży potencjał ekologiczny testowanego rozwiązania w aspekcie redukcji emisji związków toksycznych z pojazdów szynowych (zwłaszcza emisji tlenków azotu, które są głównym problemem emisji dla silników o zapłonie samoczynnym). Takie rozwiązanie może mieć duży wpływ przy zastosowaniu pojazdów pasażerskich w obszarach gęsto zaludnionych i aglomeracjach miejskich. Wyniki uzyskane z powyższych badań uzasadniają konieczność prowadzenia dalszych prac w tej tematyce, ponieważ tak znacząca redukcja emisji NO_x może mieć wyraźny pozytywny wpływ na zdrowie populacji ludzkiej oraz stan środowiska naturalnego.

Główną zaletą badanego rozwiązania jest możliwa powszechność jego zastosowania dla nowego oraz starszego taboru kolejowego bez problemów związanych z niezgodnością technologiczną oraz bez konieczności przeróbek technicznych pojazdów lub ich silników. Zmianę stylu jazdy maszynistów można zastosować również podczas eksploatacji starszych pojazdów (nie posiadających systemów kontroli silnika ograniczających emisyjność danego pojazdu), unikając tym samym kosztownych modyfikacji.

11.2. Wnioski metodyczne

Przedstawiona rozprawa obejmuje swoim zakresem prace badawcze oraz analityczne. Z tego powodu celowe jest wskazanie dokonań w zakresie metodycznym:

1. Opracowanie metodyki pomiarów emisji z pojazdów szynowych w warunkach eksploatacyjnych na typowych liniach kolejowych.
2. Opracowanie metodyki pomiarów drgań, przez wybór punktów pomiarowych w pojazdach dwu- i trójczłonowych.
3. Wykorzystanie metodyki oceny komfortu pasażerów zawartych w normach branżowych i dostosowanie ich do badań pojazdów dwu- i trójczłonowych.
4. Propozycja oceny ekonomicznej eksploatacji pojazdów szynowych wraz z ich rentownością.

11.3. Wnioski szczegółowe

Badania środowiskowe pojazdów szynowych zawierały analizy ekologiczne, drganiowe i oceny hałasu. W wyniku tych badań i analiz stwierdzono, że:

1. Przejazdy typu ekodriving skutkowały następującymi zmianami emisji spalin:
 - Pojazdu SA108 II:
 - i. CO: ograniczeniem o 17%,
 - ii. HC: ograniczeniem o 19%**
 - iii. NO_x: ograniczeniem o 3%,
 - iv. CO₂: ograniczeniem o 27%.
 - Pojazdu SA108 III:
 - i. CO: ograniczeniem o 17%,
 - ii. HC: zwiększeniem o 13%
 - iii. NO_x: ograniczeniem o 43%,**
 - iv. CO₂: ograniczeniem o 53%.**
 - Pojazdu LINK:
 - i. CO: ograniczeniem o 15%,**
 - ii. HC: ograniczeniem o 11%
 - iii. NO_x: ograniczeniem o 10%,
 - iv. CO₂: ograniczeniem o 4%.
 - Pojazdu Gama:
 - i. CO: ograniczeniem o 49%,**
 - ii. HC: ograniczeniem o 14%
 - iii. NO_x: ograniczeniem o 29%,**
 - iv. CO₂: ograniczeniem o 3%.

Z przedstawionych analiz wynika, że ekodriving umożliwia ograniczenie emisji spalin dla wszystkich pojazdów, natomiast ograniczenie zużycia paliwa możliwe jest głównie przez starsze konstrukcje pojazdów wykorzystujące już eksploatowane silniki spalinowe.

2. Ocena drgań pojazdu 220M (dwuczłonowy):
 - nie przekroczono wartości granicznych drgań w kabinach maszynisty ($a_w = 0,053 < 0,33$),
 - nie przekroczono wartości granicznych drgań w części pasażerskiej pojazdu ($a_w = 0,052 < 0,33$),
 - nie przekroczono wskaźników komfortu jazdy pasażera ($N = 1,03 < 3,5$ (4)),
 - nie przekroczono wskaźnika spokojności biegu ($W_z = 2,37 < 3,25$).
3. Ocena drgań pojazdu 221M (trójczłonowy):
 - nie przekroczono wartości granicznych drgań w kabinach maszynisty ($a_w = 0,06 < 0,33$),

- nie przekroczone wartości granicznych drgań w części pasażerskiej pojazdu ($a_w = 0,07 < 0,33$),
 - nie przekroczone wskaźników komfortu jazdy pasażera ($N = 0,92 < 3,5$ (4)),
 - nie przekroczone wskaźnika spokojności biegu ($W_z = 2,31 < 3,25$).
4. Ocena akustyczna kabiny maszynisty oraz wagonów pasażerskich (pojazd 220M – dwuczłonowy):
- spełnienie kryterium poziomu dźwięku w kabinach maszynisty ($L_{pAeq} = 75 \text{ dB} < 78 \text{ dB}$),
 - nie spełnienie kryterium w pomieszczeniach pasażerskich podczas postoju (pracujący silnik) ($L_{pAeq} = 73,5 \text{ dB} > 60 \text{ dB}$),
 - nie spełnienie kryterium w pomieszczeniach pasażerskich podczas jazdy ($L_{pAeq} = 76,3 > 70 \text{ dB}$),
5. Ocena akustyczna kabiny maszynisty oraz wagonów pasażerskich (pojazd 221M – trójczłonowy):
- spełnienie kryterium poziomu dźwięku w kabinach maszynisty ($L_{pAeq} = 74,4 \text{ dB} < 78 \text{ dB}$),
 - spełnienie kryterium w pomieszczeniach pasażerskich w członie C podczas postoju (pracujący silnik) ($L_{pAeq} = 60 \text{ dB} \leq 60 \text{ dB}$),
 - nie spełnienie kryterium w pomieszczeniach pasażerskich w członie A i B podczas postoju (pracujący silnik) ($L_{pAeq} = 67,4/63,7 \text{ dB} > 60 \text{ dB}$),
 - spełnienie kryterium w pomieszczeniach pasażerskich podczas jazdy z prędkością $v = 80 \text{ km/h}$, nie spełnienie przy $v = 120 \text{ km/h}$.
- W związku z powyższym należy szczególną uwagę zwrócić na uszczelnienie włazów do silników oraz na prawidłowe (szczelne) zamykanie drzwi przez właściwą regulację funkcji zamykania.
6. Analiza ekonomiczna wskazuje na:
- Z punktu widzenia rentowności ekonomicznej przewozów, przy założeniu średniej sprzedaży biletów odpowiadającej liczbie miejsc siedzących, najlepszym rozwiązaniem jest realizacja przewozów zespołem trakcyjnym SA108 po przeprowadzonej naprawie głównej.
 - Biorąc pod uwagę maksymalne wykorzystanie potencjału przewozowego zespołów trakcyjnych, najlepszym rozwiązaniem byłaby realizacja przewozów trójczłonowym zespołem trakcyjnym typu LINK.
 - Jeżeli jako główne kryterium oceny opłacalności przyjmiemy wewnętrzną stopę zwrotu z inwestycji, to dla obu wariantów przychodów najlepszym rozwiązaniem jest eksploatacja zespołu trakcyjnego SA108 po naprawie głównej, w dalszej kolejności zespołu trakcyjnego SA108 po modernizacji, a najniższą stopą IRR charakteryzuje się eksploatacja zespołu trakcyjnego LINK.

11.4. Wnioski prognostyczne

Prowadzone prace badawcze oraz analityczne nie wyczerpują całości zagadnienia jakim jest kompleksowa analiza ekologiczna i ekonomiczna krajowego taboru kolejowego. Dalsze prace związane z tym zagadnieniem mogą być ukierunkowane na następujące aspekty działań:

1. Ocena wykorzystania ekodrivingu w gamie lokomotyw spalinowych o zróżnicowanych mocach silników spalinowych oraz różnych zastosowaniach (liniowych lub towarowych).
2. Ocena ogólnie pojętego komfortu jazdy maszynistów szerokiego spektrum taboru spalinowego w celu określenia uciążliwości środowiskowej lokomotyw spalinowych.
3. Opracowanie uniwersalnej metodyki oceny ekonomicznej pojazdów szynowych w aspekcie modernizacji, naprawy i zakupu nowych pojazdów szynowych.

LITERATURA

- [1] Barkenbus J.N. *Eco-driving: an overlooked climate change initiative*. Energy Policy. 2021, 38(2), 762-769.
- [2] Cichy R., Wojciechowska E. *Rozwój nowoczesnych pojazdów szynowych i ich podzespołów* (rozdz. 8). Instytut Pojazdów Szynowych TABOR, Poznań 2021.
- [3] Coiret A.L., Vandanjon P.-O., Deljanin E. i in. *Management of road speed sectioning to lower vehicle energy consumption*. Transportation Research Procedia. 2020, 45, 724-731. DOI:10.1016/j.trpro.2020.02.105
- [4] Croy I., Smith M.G., Waye K.P. *Effects of train noise and vibration on human heart rate during sleep: an experimental study*. BMJ Open 2013. 3:e002655. DOI:10.1136/bmjopen-2013-002655
- [5] Cucala A.P., Fernández A., Sicre C. i in. *Fuzzy optimal schedule of high speed train operation to minimize energy consumption with uncertain delays and driver's behavioral response*. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2012, 25(8), 1548-1557. DOI:10.1016/j.engappai.2012.02.006
- [6] Daszkiewicz P., Andrzejewski M. *Preliminary analyzes in terms of the possibility of reducing energy consumption by the SM42 locomotive used in track works*. MATEC Web of Conferences. 2017, 118, 00014.
- [7] Davis L., Bentley M., Gryazev D. *Impact of the Stage V off-road emissions standard on agricultural engine lubricants*. Lube Magazine Online. Marzec 2020. <http://www.lube-media.com/wp-content/uploads/FINAL-Lubrizol-Lube-WEB-ONLY-Article-Mar20-Stage-Vd.pdf>
- [8] Diesel Engine Technology. *John Deere*. <https://www.deere.com.au/en/campaigns/engines-and-drivetrain/diesel-engine-technology>
- [9] DieselNet. *Emission Standards*. <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>
- [10] Durzyński Z. *Diagnozowanie i prognozowanie stanu technicznego podstawowych podzespołów napędu trakcyjnego*. XI International Conference Modern Electric Traction. Warszawa–Ossa 2013.
- [11] Durzyński Z. *Podstawy metody wyznaczania parametrów energooszczędnej jazdy pojazdów trakcyjnych na obszarach aglomeracyjnych*. X Międzynarodowa Konferencja Modern Electric Traction. 2011.
- [12] Durzyński Z., Orczyk M. *Tram-train elementem proekologicznego systemu transportu zbiorowego w aglomeracji poznańskiej*. Pojazdy Szynowe. 2019, 4.
- [13] Durzyński Z., Pacholek M., Cichy R. *Conditions for using of trams on railway tracks sections in agglomeration communication in Poland*. XIII International Conference Modern Electric Traction, 2017.
- [14] Dz.U. Nr 212 poz.1772. z 12.10.2005. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie zakresu badań koniecznych do uzyskania świadectw dopuszczenia do eksploatacji typów budowli i urządzeń przeznaczonych do prowadzenia ruchu kolejowego oraz typów pojazdów kolejowych.
- [15] EN 13129-2. *Kolejnictwo – Klimatyzacja pojazdów linii głównych*. Część 2: Typy badań. Lipiec 2004.
- [16] EN 14813-1:2006+A1. *Kolejnictwo – Klimatyzacja kabin maszynisty*. Część 1: Parametry komfortu. Listopad 2010.
- [17] EN12299. *Kolejnictwo. Komfort dla pasażerów*. Pomiar i ocena.
- [18] Environmental Protection Agency. (2004). *Final regulatory analysis: Control of emissions from nonroad diesel engines*. <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-control-emissions-air-pollution-nonroad-diesel>

- [19] Environmental Protection Agency. (2011). Final rulemaking to establish greenhouse gas emissions standards and fuel efficiency standards for medium- and heavy-duty engines and vehicles: Regulatory impact assessment. 2011.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100EG9C.PDF?Dockey=P100EG9C.PDF>
- [20] ERRI B153 Rp23. *Zastosowanie normy ISO 2631 w pojazdach kolejowych*. Sprawozdanie – synteza. Utrecht, 12.1993.
- [21] ERRI B153 Rp8. *Użycie normy ISO 2631 do pojazdów kolejowych*. Utrecht 04.1989.
- [22] Farooqi H., Incremona G.P., Colaneri P. *Railway collaborative ecodriving via dissension based switching nonlinear model predictive control*. European Journal of Control. 2019, 50, 153-160. DOI:10.1016/j.ejcon.2019.04.005
- [23] FEV. *Light-duty vehicle technology cost analysis: European vehicle market*. 2012.
<http://www.theicct.org/publications/light-duty-vehicle-technology-cost-analysis-europeanvehicle-market>
- [24] Fijałek M.H. *Geneza i charakterystyka techniczna Toru Doświadczalnego w Żmigrodzie*. Prace Instytutu Kolejnictwa. 2016, 150.
- [25] Floyd W.F., Roberts D.F. *Anatomical and physiological principles in chair and table design*. Ergonomics 1958, 2, 1-16.
- [26] GlobalMRV – AxionR/S+ brochure.
- [27] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.
http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current/station_details/chart/400
- [28] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.
http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/annual_assessment_air_acceptable_level
- [29] Graff M. *Nowe elektryczne zespoły trakcyjne w obsłudze ruchu regionalnego i dalekobieżnego w Polsce w 2015 r.* Technika Transportu Szynowego, 2016, 1-2, 22-33.
- [30] Grupa PKP. Raport roczny 2019.
- [31] Grupański M. *Analiza porównawcza elektrycznych zespołów trakcyjnych w ruchu dalekobieżnym*. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Transport Kolejowy 2019 Przeszłość – Terazniejszość – Przyszłość, Urząd Transportu Kolejowego, 2019, 235-240.
- [32] Güterwagen-Drehgestelle. *Gummifeder – LEILA*.
www.drehgestelle.de/6/gummi_leila.html
- [33] Informacja o Departamencie Strategii Transportu (w Min. Infrastruktury).
- [34] Ingham M., Warden R. *Cost-effectiveness of diesel fuel modifications for particulate control*. SAE Technical Paper 870556, 1987, DOI:10.4271/870556
- [35] Inspekcja Ochrony Środowiska.
http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current/station_details/chart/943
- [36] Instytut Kolejnictwa. *Badania na Torze Doświadczalnym*.
<http://www.ikolej.pl/en/units/test-track-centre-near-zmigrod/> (dostęp z dnia 10.06.2020)
- [37] International Council on Clean Transportation. *Costs of emission reduction technologies for diesel engines used in non-road vehicles and equipment*. 2018.
https://theicct.org/sites/default/files/publications/Non_Road_Emission_Control_20180711.pdf
- [38] International Council on Clean Transportation. *European Stage V Non-Road Emission Standards*. https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf
- [39] International Energy Agency. *Energy Technology Perspectives, 2020*. Luty 2021.
https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf
- [40] ISO 2631. *Drgania mechaniczne i wstrząsy oddziaływujące na człowieka*.

- [41] Izydorek A. *Województwa starają się o ogromne dofinansowania na zakup taboru*. <https://www.nakolei.pl/wojewodztwa-staraja-sie-o-dofinansowanie-zakupow-taborowych-w-ramach-kpo-lista/>
- [42] Jacyna M., Lewczuk K., Szczepański E. i in. *Effectiveness of national transport system according to costs of emission of pollutants*. Safety and Reliability: Methodology and Applications. 2014, 595-604.
- [43] Jamson S.L., Hibberd D.L., Jamson A.H. *Drivers' ability to learn eco-driving skills; effects on fuel efficient and safe driving behaviour*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2015, 58, D, 657-668. DOI:10.1016/j.trc.2015.02.004
- [44] Jensen S. *Engine Optimization for Stage V*. <https://www.oemoffhighway.com/engines/article/21023578/engine-optimization-for-stage-v> (dostęp z dnia 28.08.2021).
- [45] Johansson H., Gustafsson P., Henke M. i in. *Impact of ecodriving on emissions*. Transport and Air Pollution. Proceedings from the 12th Symposium, Avignon 16-18 June 2003.
- [46] John Deere Introduces PowerTech PwL 4.5L Tier 4 Final Engine at bauma. <https://www.oemoffhighway.com/engines/press-release/10924967/john-deere-introduces-powertech-pwl-45l-tier-4-final-engine-at-bauma>
- [47] Juda-Rezler K., Toczko B. (red) *Pyły drobne w atmosferze*. https://www.gios.gov.pl/images/aktualnosci/Pyly_drobne_w_atmosferze.Kompedium_wiedzy.pdf
- [48] Kaneko N., Ando H., Ogawa H. i in. *Expansion of the operating range with in-cylinder water injection in a premixed charge compression ignition engine*. SAE Transactions. 2002, 111, 2309-2315.
- [49] Kardas-Cinal E. *Metody oceny komfortu wibracyjnego w środkach transportu*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport. Warszawa 2016.
- [50] Kościelny T. *Czechy: Pierwszy Pendolino po liftingu*. Rynek Kolejowy. <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/czechy-pierwszy-pendolino-po-liftingu-83833.html>
- [51] Kosieradzki W., Pawlus T., Zajęcki E. i in. *Badania w zakresie mechaniki pojazdów szynowych*. Problemy Kolejnictwa. 1974, 60.
- [52] Krajowa Platforma Raportująca. *Priorytet dla Polski – Rozwój infrastruktury transportowej*. https://sdg.gov.pl/statistics_nat/9-5-a/
- [53] Krajowy Program Kolejowy do 2023 (wydanie 23.11.2016 r. + 4 aktualizacje).
- [54] Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei. Załącznik TM-2.
- [55] M16 CKRK RWPG. *Badania dynamicznych ruchowych własności taboru kolejowego*. 1978.
- [56] Makowska M. *Źródła i skutki zanieczyszczeń powietrza*. 2016. <http://ooidkz.wckp.lodz.pl/sites/default/files/%C5%B9%C3%B3d%C5%82a%20i%20skutki%20zanieczyszcze%C5%84%20powietrza.pdf>
- [57] Marciniak Z., Pielecha I. *Wymagania w zakresie ograniczenia emisji toksycznych składników spalin przez spalinowe pojazdy trakcyjne*. Technika Transportu Szynowego. 2006, 11-12.
- [58] Martin E.W., Chan N.D., Shaheen S.A. *How public education on ecodriving can reduce both fuel use and greenhouse gas emissions*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2012, 2287(1), 163-173.

- [59] Merkisz J., Lijewski P., Fuc P. i in. *Development of the methodology of exhaust emissions measurement under RDE (Real Driving Emissions) conditions for non-road mobile machinery (NRMM) vehicles*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016, 148.
- [60] Ministerstwo Rozwoju. *Plan na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju*. Warszawa 2016.
- [61] Money.pl. *PKP przystąpiły do klastra 'Luxtorpeda 2.0'*. 21.01.2021.
<https://www.money.pl/gielda/pkp-przystapily-do-klastra-luxtorpeda-2-0-6599563362866817a.html>
- [62] OB-452. *Program Prób i Badań dwuczłonowego spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M*. IPS „TABOR”. Poznań, 07.2010.
- [63] OB-458. *Program prób eksploatacyjnych trójczłonowego spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M*. IPS „TABOR”. Poznań, listopad 2010.
- [64] OB-459 Metodyka. *Badania właściwości akustycznych pojazdów szynowych*. IPS „TABOR”. Poznań, październik 2010.
- [65] Opis przedmiotu zamówienia w postępowaniu nr 44/17/PI: *Opracowanie i dostawa typoszeregu innowacyjnych pojazdów bezemisyjnego transportu publicznego*. Załącznik nr 1. NCBiR 2018.
- [66] Orczyk M., Gis W., Tomaszewski F. *Circumstances of railway transport hydrogenization in Poland*. SAE Technical Paper 2020-01-2131, 2020. DOI:10.4271/2020-01-2131
- [67] Parlament Europejski. *Polityka w dziedzinie środowiska: ogólne zasady i podstawowe ramy*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pl/sheet/71/polityka-w-dziedzinie-srodowiska-ogolne-zasady-i-podstawowe-ramy>
- [68] Pielecha I., Borowski P., Czajka J. i in. *Combustion process shaping by use of different strategies of multiple fuel injection in a CI model engine*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2015, 119, 695-703.
- [69] Pielecha I., Pielecha J. *Tendencje w przepisach dotyczących emisji związków toksycznych przez silniki spalinowe pojazdów szynowych*. Pojazdy Szynowe. 2005, 1, 52-59.
- [70] PN-86/N-01321. *Hałas ultradźwiękowy*. Dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące pomiarów.
- [71] PN-86/N-01338. *Hałas infradźwiękowy*. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące pomiarów.
- [72] PN-90/K-11001. *Ochrona pracy*. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa pracy i ergonomii.
- [73] PN-91/N-01354. *Drgania*. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.
- [74] PN-92/K-11000 *Tabor kolejowy*. Hałas. Ogólne wymagania i badania.
- [75] PN-EN 12299. *Kolejnictwo*. Komfort jazdy pasażerów. Pomiary i ocena.
- [76] PN-EN 14253+A1. *Drgania mechaniczne*. Pomiar i obliczanie zawodowej ekspozycji na drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka dla potrzeb ochrony zdrowia. Wytyczne praktyczne.
- [77] PN-EN 15892. *Kolejnictwo*. Emisja hałasu. Pomiar hałasu wewnątrz kabiny maszynisty.
- [78] PN-EN ISO 3095. *Kolejnictwo*. Akustyka. Pomiary hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe.
- [79] PN-EN ISO 3381. *Kolejnictwo*. Akustyka. Pomiary hałasu wewnątrz pojazdów szynowych.
- [80] PN-K-02503:1992. *Wagony towarowe*. Badania spokojności biegu.
- [81] PN-K-11000:1992. *Tabor kolejowy*. Hałas. Ogólne wymagania i badania.

- [82] PN-K-11001:1990. *Ochrona pracy*. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa pracy i ergonomii.
- [83] PN-K-11003:1990. *Ochrona pracy*. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Metodyka badań drgań.
- [84] PN-N-01321:1986. *Hałas ultradźwiękowy*. Dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące pomiarów.
- [85] PN-N-01338:1986. *Hałas infradźwiękowy*. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące pomiarów.
- [86] PN-N-01352:1991. *Drgania*. Zasady wykonywania pomiarów na stanowiskach pracy.
- [87] PN-N-01354:1991. *Drgania*. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.
- [88] PN-Z-01338:2010. *Akustyka*. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy.
- [89] Portal NaKolei.pl. *Będzie więcej pieniędzy w KPO na zakup taboru i rozwój infrastruktury kolejowej*. <https://www.nakolei.pl/bedzie-wiecej-pieniedzy-w-kpo-na-zakup-taboru-i-rozwoj-infrastruktury-kolejowej/>
- [90] Portal NaKolei.pl. *POLREGIO stara się o dofinansowanie na zakup 180 EZT oraz 40 hybryd*. <https://www.nakolei.pl/polregio-stara-sie-o-dofinansowanie-na-zakup-180-ezt-oraz-40-hybryd-ministerstwo-uwzglednilo-srodki-na-rozwoj-kolei-regionalnej/>
- [91] Portal NaKolei.pl. *Województwa starają się o ogromne dofinansowania na zakup taboru*. <https://www.nakolei.pl/wojewodztwa-staraja-sie-o-dofinansowanie-zakupow-taborowych-w-ramach-kpo-lista/>
- [92] Program prób eksploatacyjnych trójczłonowego spalinowego zespołu trakcyjnego typu 221M. IPS „TABOR”. Poznań, listopad 2010.
- [93] Program prób i badań dwuczłonowego spalinowego zespołu trakcyjnego typu 220M. IPS „TABOR”, Poznań, 07.2010.
- [94] Puls Biznesu. *PKP Intercity wreszcie zacznie wykorzystywać środki z kredytu EBI*. <https://www.pb.pl/pkp-intercity-wreszcie-zacznie-wykorzystywac-srodki-z-kredytu-ebi-1114059>
- [95] Raport Roczny Grupy PKP za 2018. Warszawa 1.09.2019.
- [96] Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2020.
- [97] Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [98] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1304/2014 z dnia 26 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Tabor kolejowy – hałas”.
- [99] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 321/2013 z dnia 13 marca 2013 r. dotyczące technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – wagony towarowe” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [100] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/774 z dnia 16 maja 2019 r.
- [101] Rynek kolejowy. *Spalinowe lokomotywy u przewoźników pasażerskich są bardzo stare*. <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/spalinowe-lokomotywy-u-przewoźnikow-pasazerskich-sa-bardzo-stare-93119.html>
- [102] Sanecki H., Cichocki Z., Walczak S. i in. *Rozwój metod badawczych własności mechanicznych taboru w sześćdziesięcioletniej historii Instytutu Kolejnictwa*. Problemy Kolejnictwa. 2011, 153, 91-116.
- [103] Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”, Laboratorium Badań Symulacyjnych. *Oszacowanie zużycia paliwa dla szynobusów LINK i SA108*. Poznań, czerwiec 2021.

- [104] Sipić P. *Komfort jazdy w pasażerskim transporcie szynowym*. Technika Transportu Szynowego, 2007, 7-8.
- [105] Sprawozdanie finansowe Koleje Wielkopolskie Sp. z o.o. za 2019 rok.
- [106] Strategia na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). Warszawa 2017.
- [107] Strategia Odpowiedzialnego Rozwoju 2020-30.
- [108] Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku. Projekt z 19.06.2019.
- [109] Tarkowski S., Rybicka I. *Metody oceny poziomu komfortu dynamicznego w transporcie pasażerskim*. Autobusy, 2016, 12, 1385.
- [110] The IEA-UIC Railway handbook on energy consumption & CO2 emissions 2017 Edition. https://uic.org/IMG/pdf/handbook_iea-uic_2017_web3.pdf
- [111] TransInfo. www.inforail.pl (dostęp z dnia: 26.03.2020).
- [112] TSI – Hałas. *Decyzja 2011/229/UE*. Decyzja komisji z dnia 4 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor kolejowy – hałas” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych. Notyfikacja jako Dokument nr C (2011)658. Obowiązuje od 13 kwietnia 2011 r. Dz.U.UE nr L99.
- [113] TSI – Hałas. *Dokument nr C 2005,5666*. Obowiązuje od 23.12.2005r. Dz.U.UE nr L37 z 8.02 2006.
- [114] UIC 513. *Wytyczne oceny komfortu pasażera w pojazdach kolejowych pod względem oddziaływania drgań*. Utrecht. 07.1994.
- [115] UIC. *Railway Noise in Europe*. State of the Art. March 2016. https://uic.org/IMG/pdf/railway_noise_in_europe_2016_final.pdf
- [116] Urząd Transportu Kolejowego. *Koleje pasażerskie w województwach – dynamika zmian w latach 2010-2020*. <https://utk.gov.pl/pl/dokumenty-i-formularze/opracowania-urzedu-tran/17440,Koleje-pasazerskie-w-wojewodztwach.html> (dostęp z dnia 20.08.2021).
- [117] Urząd Transportu Kolejowego. *Tabor kolejowy 2019*. <https://utk.gov.pl/pl/dokumenty-i-formularze/opracowania-urzedu-tran/16553,Tabor-kolejowy-2019.html>
- [118] Urząd Transportu Kolejowego. *Tabor kolejowy przewoźników pasażerskich*. <https://dane.utk.gov.pl/sts/przewozy-pasazerskie/tabor-pasazerski/16737,Tabor-kolejowy-przewoznikow-pasazerskich.html>
- [119] Urząd Transportu Kolejowego. *Tabor kolejowy przewoźników towarowych*. <https://dane.utk.gov.pl/sts/przewozy-towarowe/tabor-towarowy/16738,Tabor-kolejowy-przewoznikow-towarowych.html>
- [120] Urząd Transportu Kolejowego. *Tabor kolejowy przewoźników towarowych – stan obecny i plany do 2023 r.* <https://www.utk.gov.pl/pl/dokumenty-i-formularze/opracowania-urzedu-tran/14279,Tabor-kolejowy-przewoznikow-towarowych-stan-obecny-i-plany-do-2023-r.html?search=305946611>
- [121] Wickman D.D., Senecal P.K., Reitz R.D. *Diesel engine combustion chamber geometry optimization using genetic algorithms and multi-dimensional spray and combustion modeling*. SAE Journal of Engines, 2001, 110(3), 487-507.
- [122] Wikimedia. *Lista lokomotyw spalinowych eksploatowanych w Polsce*. https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_lokomotyw_spalinowych_eksploatowanych_w_Polsce

- [123] Wikimedia. *Lista spalinowych zespołów trakcyjnych i wagonów eksploatowanych w Polsce*.
https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_spalinowych_zespo%C5%82%C3%B3w_trakcyjnych_i_wagon%C3%B3w_eksploatowanych_w_Polsce
- [124] Wikimedia. *PKP Cargo*. https://pl.wikipedia.org/wiki/PKP_Cargo#Tabor
- [125] Wikimedia. *PKP Intercity*. https://pl.wikipedia.org/wiki/PKP_Intercity#Tabor
- [126] Wikimedia. *Polregio*. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Polregio#Tabor>
- [127] Worldwide Emissions Standards. *Heavy-Duty and Off-Highway Vehicles*. Delphi Innovation for the Real World 2012/2013.
- [128] Zbiec A., Wysocki G. *Badania dynamiczne taboru kolejowego*. Przegląd Komunikacyjny. 2017, 9, 2-6, www.mostwiedzy.pl (dostęp z dnia 20.08.2021).

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF DOMESTIC RAILWAY VEHICLES APPLICATIONS

Abstract

The doctoral dissertation concerns the issues relating to diesel passenger rail vehicles operated on domestic railway lines. The issues discussed in the dissertation focus on the environmental and economic aspects. Contemporary restrictions due to environmental protection require the monitoring of the environmental damage that such vehicle drives create (including taking into account environmental protection, driving comfort and noise emissions), and at the same time should take into account the economic profitability of investments in the rail transport sector. The national operating conditions of rail vehicles force research to be carried out in the field of exhaust emissions into the atmosphere, while taking into account other environmental aspects. The paper presents research analyzes concerning exhaust emissions evaluation from currently operated rail vehicles that meet the Stage II and Stage III emission norms. These are vehicles operated on typical domestic railway lines. The tests were carried out on regular railway routes and (due to the limited research possibilities) on a measuring test track. The analysis of exhaust emissions was carried out in relation to the changing driving styles of the driver. The evaluation of variable driving styles indicates (standard or eco-driving mode) that driving the same route using a different style contributes to a significant change in the emission of toxic exhaust components, while also marking a possibility of reducing fuel consumption. It was indicated that the extent of exhaust emissions reduction depends on the exhaust emission norm limit met by a given design of an internal combustion engine of a rail vehicle.

Driving comfort was tested for the driver's cab as well as for the passengers. For this purpose, indicators such as acceleration, passenger comfort and the vehicle suspension shock absorption were used. It was found that the analyzed indicators did not exceed the permissible values in driving conditions in the range of 20–120 km/h and when parked. The maximum values of motion stability were recorded in the vehicle cabins, but they were lower by more than 30% than the permissible minimum values.

Noise level tests (infrasound and ultrasonic) were carried out both in the driver's cabins as well as in the passenger cars. Measurements were performed at various driving speeds and at a standstill. Acoustic pressure levels in octave bands and sound levels in the indicated rooms were measured. It was found that the noise level was not exceeded in the driver's cabins in both tested vehicles. Such positive results were not obtained for the passenger compartments, however. The average values of exceedances increase with the increase of the driving speed of the rail vehicles. A three-unit vehicle, when parked, meets the standardized requirements in several ways. While driving, the three-unit vehicle meets the noise requirements in passenger compartments only for a set of selected criteria.

Economic analyzes of the tested rail vehicles applications indicate – in relation to the SA108 vehicle – that general repair of the main drive unit is more important than the modernization of the multiple unit itself. Taking into account the maximum use of the transport potential of multiple units, the best solution would be to carry out the transport with a three-unit LINK type diesel multiple unit.

The work ends with conclusions regarding the performed research work. The analyzes presented in the paper made it possible to confirm the posed thesis that the use of low-emission rail vehicles meeting (at least) Stage III emission norms would bring environmental benefits in the form of reduced exhaust emissions when using eco-driving, and at the same time increase the travel comfort (three-unit vehicles). In addition, it was found that the use of modern rail vehicles (purchased with the help of EU funding) is the most economically justified solution, while ensuring a sufficiently high demand.