

Magdalena Ożóg

# Wymagania w zakresie ograniczenia emisji spalin przez tabor kolejowy i konsekwencje dla przedsiębiorstw kolejowych

*Korzyści środowiskowe uzyskiwane przez kolej w stosunku do innych gałęzi transportu są istotnym warunkiem do wsparcia społecznego i politycznego dla tej gałęzi transportu. Koleje wykazały, że wielkości zużycia oraz emisji CO<sub>2</sub> są niższe od tych uzyskiwanych przez głównych konkurentów transportu drogowego. Pomimo, że transport drogowy jest głównym zanieczyszczającym, coraz większa uwaga społeczeństwa i władz – na poziomie lokalnym, jak również europejskim – skupia się też na emisji spalin produkowanych przez lokomotywy i zespoły trakcyjne wyposażone w silniki spalinowe.*

Po kilku latach konsultacji i analiz Parlament Europejski i Rada przyjęły w 2004 r. dyrektywę 2004/26/EC zmieniającą dyrektywę 97/68/EC NRMM (*Non-Road-Mobile-Machinery* – maszyny samojezdne nie poruszające się po drogach).

Nowelizacja dyrektywy obejmuje dwa kolejne etapy zmniejszenia dopuszczalnych poziomów emisji (III i IV). Zakres dyrektywy został rozszerzony tak, aby dotyczył on wszelkich nowych silników spalinowych dla pojazdów kolejowych. Etapy I i II nie obejmowały bowiem swoim zakresem silników kolejowych. Także etap IV po 2015 r. nie będzie też wprowadzał nowych wymagań dla tych silników. A więc całość nowych wymagań dla silników kolejowych przewidziana jest do wdrożenia w ramach etapu III, który ze względów technicznych i ekonomicznych został podzielony na dwa podetapy A i B.

Wielkości graniczne normy IIIA dla tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) i stężenia pyłu zawieszonego (PM<sub>10</sub>) dla zespołów trakcyjnych zaczęły obowiązywać na początku 2006 r., natomiast w 2009 r. będą się również odnosiły do wszystkich rodzajów pojazdów trakcyjnych.

Wielkości graniczne normy IIIB dla zespołów trakcyjnych i lokomotyw zaczną obowiązywać w 2012 r. Ograniczą one szczególnie wielkości PM<sub>10</sub> o około 90% w stosunku do normy IIIA. Przegląd techniczny normy IIIB miał zostać przeprowadzony w 2007 r. i miał on za zadanie zbadać postęp w opracowaniu niezawodnej technologii spełniającej wymagania normy IIIB w stosowaniu NRMM oraz – jeśli będzie to niezbędne – zaproponować ewentualne wyjątki lub ustępstwa.

Ponadto poza nowymi limitami, wprowadzonymi przez dyrektywę 2004/26, Komisja Europejska w bezpośrednim kontakcie z CER oraz innymi organizacjami, wzywa do podejmowania przez sektor kolejowy inicjatyw w obszarze emisji spalin przez silniki spalinowe, ze szczególnym naciskiem na obecnie utrzymywany

park pojazdów kolejowych. Jedną z tych inicjatyw była decyzja UIC z października 2003 r. dotycząca opracowania planu popierającego proaktywne działania w celu redukcji emisji spalin produkowanych przez silniki spalinowe.

Kontynuując analizy wykonane przez UIC, które dotyczyły aspektów eksploatacyjnych i technicznych, zdecydowano o kontynuacji prac nad analizą rozwoju kolejowych silników spalinowych. Opracowanie to w szczególności ma służyć do oceny działań technicznych i operacyjnych oraz oceny strategii, które mogą być wykorzystane przy redukcji emisji NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub> wydzielanych przez spalinowe pojazdy trakcyjne w Europie [1, 2, 3, 4]. Do projektu zostali dołączeni tacy partnerzy, jak: UNIFE, CER, Euromot i AEA. Współpraca z nimi była bardzo istotnym czynnikiem, wpływającym na sukces i autorytet takiego opracowania.

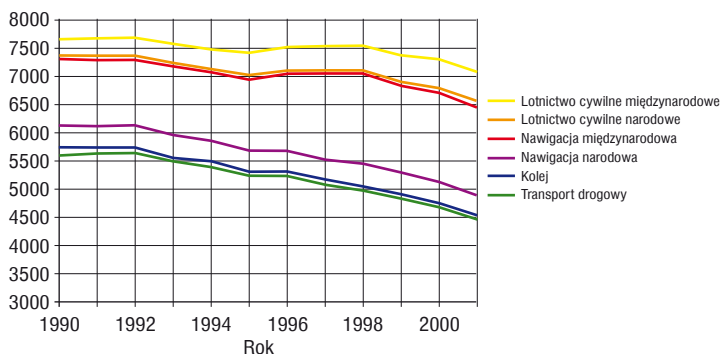
Zaproponowanych zostało wiele scenariuszy strategii, które mogą przyczynić się do redukcji emisji spalin przez obecnie utrzymywany park pojazdów kolejowych. Analiza ekonomiczna kosztów–korzyści (CBA – *Cost-Benefit Analysis*) została wykonana w celu opracowania wstępnych szacunków kosztów wdrożenia i korzyści wynikających z ograniczenia emisji dla każdej z tych strategii. Identyfikacja tych zagadnień może prowadzić do określenia wszelkich korzyści redukcji emisji spalin, jakie można uzyskać po ich wprowadzeniu. CBA została również wykorzystana do oszacowania wstępnych kosztów i korzyści uzyskanych dzięki spełnianiu wymogów norm IIIA i IIIB.

## Udział kolei w emisji zanieczyszczeń

Spośród wszystkich gałęzi transportu, transport drogowy oraz żegluga śródlądowa mają najwyższe współczynniki emisji NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub>. Poziom produkcji spalin przez żeglugę śródlądową w latach 1990–2001 zwiększył się, natomiast dla transportu drogowego się zmniejszył.

Udział kolei w emisji zanieczyszczeń jest porównywalnie bardzo niewielki (1–3%), natomiast emisja generowana lokalnie przez pojazdy wyposażone w silniki spalinowe może być odczuwalna dla pobliskich mieszkańców. Zainteresowanie ochroną środowiska nieustannie rośnie, co skutkuje ustalaniem norm emisji oraz nakładaniem sankcji za ich nieprzeżeganie.

Obecnie stan prawny w zakresie dopuszczalnych poziomów emisji zanieczyszczeń przez kolejowe silniki spalinowe jest regulowany dyrektywą 2004/26, w której wyszczególnione zostały terminy (najpóźniej do 2012 r.) wprowadzania w kolejnych etapach coraz wyższych wymagań w zakresie emisji zanieczyszczeń dla poszczególnych kategorii mocy silników.



Rys. 1. Emisja NO<sub>x</sub> sektora transportowego w latach 1991–2001

Źródło: Europejska Agencja Środowiskowa

Dyrektywa została zaimplementowana do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z 19 sierpnia 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki. Wymagania dotyczą silników wprowadzanych do eksploatacji po datach podanych w tabeli 1.

Dotychczas dla silników pojazdów kolejowych stosowane były wymagania zawarte w kartach UIC 623 i UIC 624. Przyjęte były one przez członków UIC i powszechnie przez przemysł. Zasięg tych wymagań wykracza także poza Unię Europejską, gdyż UIC skupia także członków z całego świata. Do uzyskania zgodności pomiędzy wymaganiami UIC a dyrektywą 2004/26, normy dla planowanego wcześniej standardu UIC III ustanowiono takie same jak dla etapu IIIa (UIC 624 aneks A). Etap IIIb będzie odpowiednikiem także planowanego standardu UIC IV, ale do czasu rozstrzygnięcia skutków i problemów związanych z wymaganiami dla etapu IIIb odpowiadającego mu standardu UIC jeszcze nie zdefiniowano. Ponieważ dotychczasowe wymagania i procedury badań silników opracowane w kartach UIC uzyskały powszechną aproba-

tę sektora kolejowego, ze strony UIC wyszedł wniosek, aby w państwach Unii stosować karty UIC jako dobrowolne i jako dodatkowe wymagania. Obejmują one szerszy zakres badań niż legislacja unijna, a procedury w nich stosowane wszechstronnie oceniają silniki do specyfikacji do zastosowań kolejowych. Ewolucję wymagań UIC w zakresie emisji zanieczyszczeń przez silniki spalinowe przedstawia tabela 2 i rysunek 2.

Analizowane są także, w ramach programu zainicjowanego przez Komisję Europejską mającego na celu ograniczenie emisji zanieczyszczeń, środki i standardy także dla pojazdów obecnie eksploatowanych. Do chwili obecnej nie ma jednak w tym zakresie żadnych wiążących ustaleń.

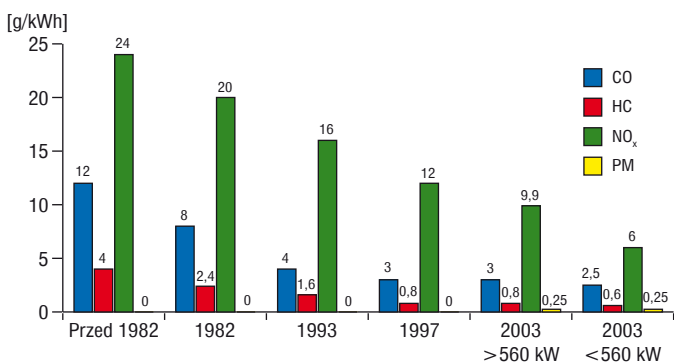
Obecnie toczy się dyskusja nad możliwością sprostania wysokim wymaganiom dla etapu IIIb oraz nad zasadnością tych wymagań. Przygotowane analizy będą podstawą do przeglądu wymagań Dyrektywy 2004/26 przez Komisję Europejską pod względem zasadności wymagań dla IIIb. Wprowadzenie wymagań dla etapu IIIb spowoduje bowiem wzrost kosztu silnika spalinowego wg szacunków od 8 do 20%, kosztów utrzymania lokomotywy od 10 do 15%, zużycia paliwa do 5%. Szacuje się też nastąpi zwiększenie masy lokomotywy nawet o 4 t. Sektor kolejowy, reprezentowany przez CER (wspomagany przez UIC i przemysł zrzeszony w ramach UNIFE), przygotował wniosek do Komisji o przesunięcie terminu wejścia w życie etapu IIIb poza 2015 r. z przyczyn technicznych i ekonomicznych.

Dla obecnie eksploatowanych lokomotyw te wymagania nie obowiązują aż do momentu, gdy zajdzie potrzeba odnowienia lub modernizacji lokomotywy. Nie obowiązują też aż do momentu wymiany silnika na nowy. Można tylko wymieniać np. uszkodzony silnik na silnik tego samego typu (jeżeli oczywiście jest jeszcze produkowany). Nowy silnik musi spełniać opisane wymagania.

Tabela 1

## Etapy wdrożeń wymagań w zakresie ograniczania emisji zanieczyszczeń dla lokomotyw

Etap	Kategoria mocy (P)	Data wejścia w życie limitów		CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]	Cykl testowy wg ISO 8178-4
		procedury dopuszczenia	eksploatacja					
IIIA	RC A P > 130 kW (zespoły)	01.07.2005	01.01.2006	3,5	4,0 (HC + NO <sub>x</sub> )	0,2		C1
	RL A 130 kW < P < 560 kW (lokomotywy)	01.01.2006	01.01.2007	3,5	4,0 (HC + NO <sub>x</sub> )	0,2		F
	RH A P > 560 kW (lokomotywy)	01.01.2008	01.01.2009	3,5	0,5	6,0	0,2	F
	RH A P > 2000 kW i SW > 5 l/cyl. (lokomotywy)	01.01.2008	01.01.2009	3,5	0,4	7,4	0,2	F
IIIB	RC B P > 130 kW	01.01.2011	01.01.2012	3,5	0,19	2,0	0,025	C1
	R B P > 130 kW	01.01.2011	01.01.2012	3,5	4,0 (HC + NO <sub>x</sub> )	0,025		F



Rys. 2. Rozwój wymagań UIC dla silników spalinowych trakcyjnych w latach 1982–2003

## Normy emisji zanieczyszczeń według UIC

Zanieczyszczenia	Dopuszczalny poziom		
	UIC I (do 31.12.2002 r.)		UIC II (od 31.12.2002 r.)
	[g/kWh]		
Zakres mocy	do 560 kW	powyżej 560 kW	
CO	3	2,5	3
NO <sub>x</sub>	12	6	9,5 (n > 100 obr./min) 9,9 (n = 100 obr./min)
HC	0,8	0,6	0,8
Indeks Bosch	1,6 (2,5)	–	–
Cząstki stałe (PM)	–	0,25	0,25*

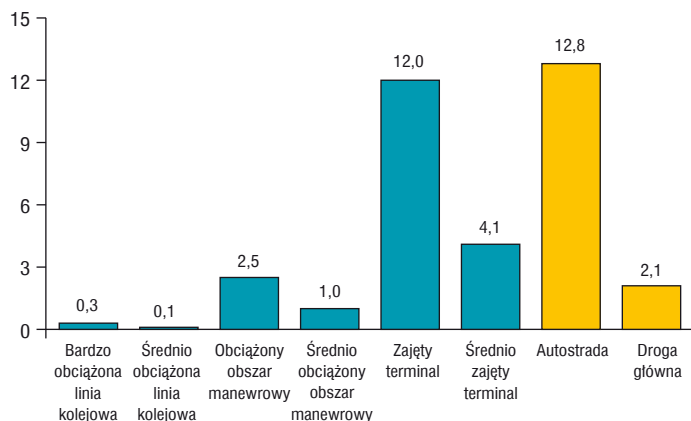
\* Dla silników o mocy ponad 2200 kW do 31.12.2004 r. emisja cząstek stałych do 0,50 jest dopuszczalna, aczkolwiek rekomendowana jest wielkość do 0,25.

Tabela 2

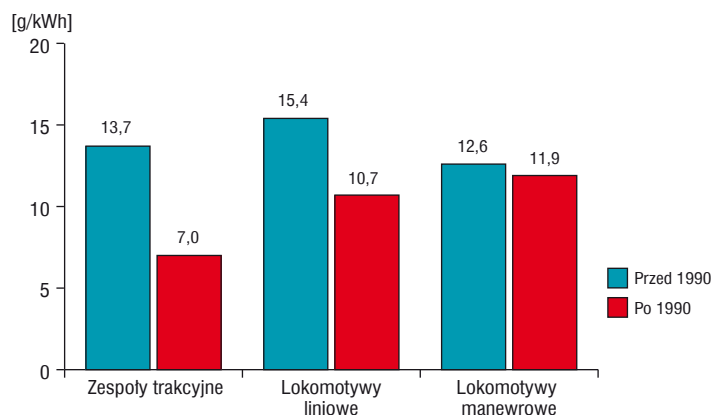
Unijne prawo zabrania bowiem wprowadzania do obrotu handlowego na obszarze Unii silników nie spełniających wymienionych wymagań.

## Lokalne zanieczyszczenie powietrza przez kolejowe silniki spalinowe

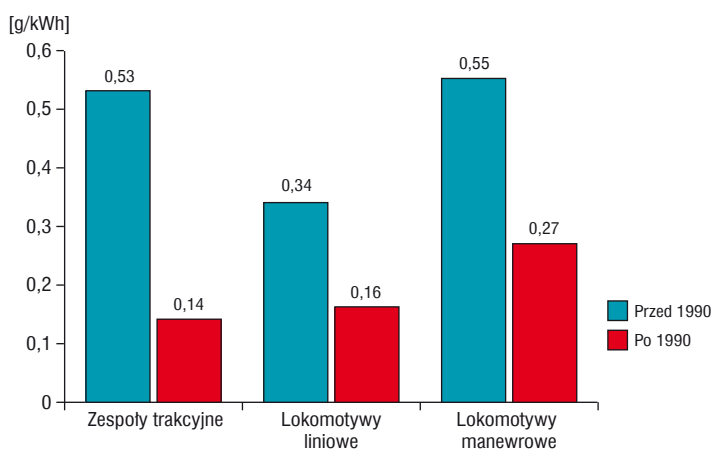
Pomimo bardzo niewielkiego udziału sektora kolejowego w całkowitym zanieczyszczeniu powietrza, przypadki lokalnych emisji spalin produkowanych przez kolejowe silniki spalinowe powinny być bardzo dokładnie badane. Analizy wykazały nieznaczny udział



Rys. 3. Szacunkowy udział różnych typów kolei i lokalizacji drogowych w emisji  $NO_x$ .  
Źródło: Studium silników spalinowych; UIC [1, 2].



Rys. 4. Średni poziom emisji  $NO_x$  dla wybranych pojazdów sprzed i po 1990 r.  
Źródło: Kwestionariusz UIC [1, 2].



Rys. 5. Średni poziom emisji  $PM_{10}$  dla wybranych pojazdów sprzed i po 1990 r.  
Źródło: Kwestionariusz UIC [1, 2].

emisji spalin nawet na bardzo ruchliwych odcinkach linii, jak również w rejonach stacji rozrządowych. Bardziej istotny udział emisji spalin (nadal niższy od wielkości granicznych) wykazano w centrach logistycznych, gdzie wiele silników spalinowych pracuje na biegu jałowym w tym samym czasie.

Zaobserwowano, że udział emisji  $NO_2$  jest bardziej znaczący niż udział emisji cząstek stałych.

Warto zauważyć, że przemysł kolejowy osiągnął już pewien postęp w obniżaniu poziomu emisji spalin. Różnice między silnikami produkowanymi przed i po 1990 r. są przedstawione na rysunkach 4 i 5. Ponad 25% kolei europejskich korzysta z beziarkowego oleju napędowego. Jednakże wielkości graniczne wskazane w dyrektywie NRMM są bardziej restrykcyjne, co stwarza konieczność ciągłych ulepszeń.

## Rozwój parku spalinowych pojazdów kolejowych w Europie

Obecnie trakcja spalinowa w Europie odgrywa małą rolę. Wynika to z postępów elektryfikacji linii kolejowych oraz ze zmniejszenia znaczenia lokalnych nieelektryfikowanych linii w przewozach towarowych na korzyść transportu drogowego. Udział trakcji spalinowej w państwach Unii wynosi średnio 20%, przy udziale linii zelektryfikowanych na poziomie 50% w skali całej sieci.

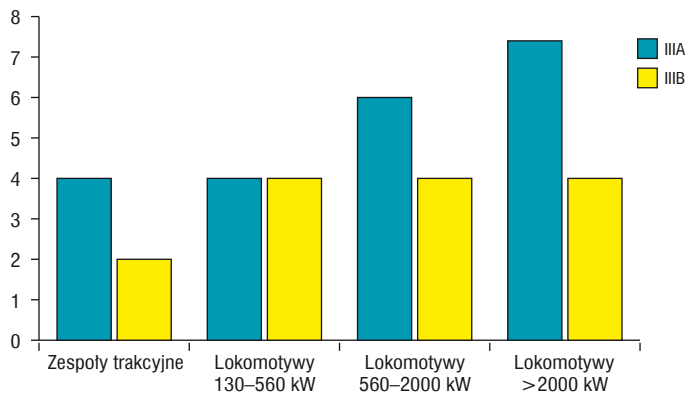
W 2006 r. eksploatowanych było w Europie około 19 700 lokomotyw spalinowych. Z opisanych powodów, brak inwestycji w trakcję spalinową spowodował brak inwestycji w nowe lokomotywy. Z tego powodu wiek 1/3 lokomotyw spalinowych wynosi obecnie ponad 35 lat, a średnia wieku całego parku lokomotyw – 27 lat. Dopiero w ostatnich latach zostały podjęte przez największe przedsiębiorstwa kolejowe decyzje o restrukturyzacji spalinowego parku taborowego. Zakup 400 lokomotyw (z opcją zakupu dalszych 100) przez koleje SNCF jest największą inwestycją w trakcję spalinową od ponad 40 lat w Europie. Średnia wieku lokomotyw spalinowych we Francji już sięgnęła 35 lat.

W obecnym parku taborowym w Europie dominują lokomotywy o mocach od 561 do 2000 kW (63%). Lokomotywy o mocy ponad 2000 kW stanowią tylko 9% taboru. Lokomotywy o małej mocy, zasadniczo do pracy manewrowej, to około 28% taboru.

Liczba lokomotyw zmodernizowanych wraz z wymianą silnika spalinowego jest obecnie w Europie niewielka. Lokomotywy po takiej modernizacji stanowią około 5% liczby lokomotyw liniowych i 7% lokomotyw manewrowych. Znacznie popularniejszą jest ta forma modernizacji w lekkich pasażerskich pojazdach szynowych (w Polsce określanymi popularnie jako autobusy szynowe) – około 10% całości taboru.

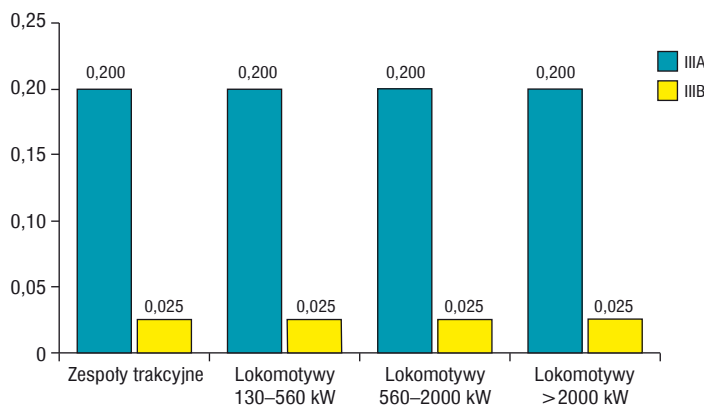
Proporcje te jednak są zróżnicowane dla poszczególnych kolei. I tak na Węgrzech wymiany silnika przeprowadzono w 10% lokomotyw liniowych i w 50% lokomotyw manewrowych. Najwyższe procentowe udziały wymian silników spalinowych osiągnięto w Austrii – 38% i w Wielkiej Brytanii dla lokomotyw pasażerskich – 37%. W grupie lokomotyw manewrowych najwyższe wskaźniki osiągnięto w Niemczech (DB) – 36%, we Włoszech (FS) – 29% i w Szwajcarii (SBB) 22%.

Jak można zauważyć, modernizacja z wymianą silnika jest bardziej popularna w lokomotywach manewrowych. Wynika to z faktu mniej odpowiedzialnej pracy lokomotyw manewrowych i zapewne z lepszej efektywności takiej modernizacji niż dla lokomotyw pociągowych.



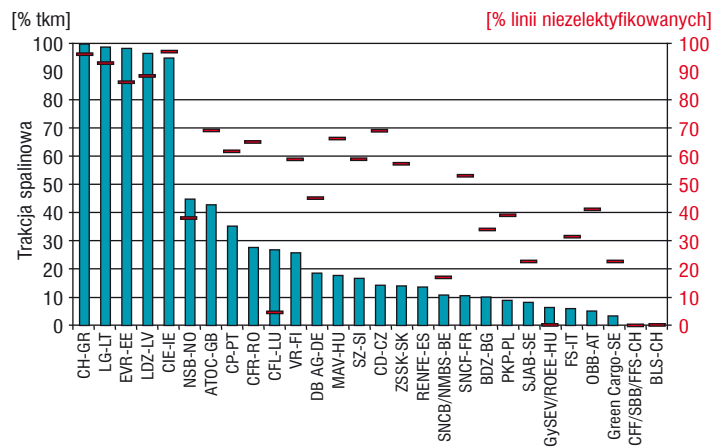
Rys. 6. Wielkości graniczne emisji NO<sub>x</sub> dla norm IIIA i IIIB

Źródło: dyrektywa 2004/26.



Rys. 7. Wielkości graniczne emisji PM<sub>10</sub> dla norm IIIA i IIIB

Źródło: dyrektywa 2004/26.

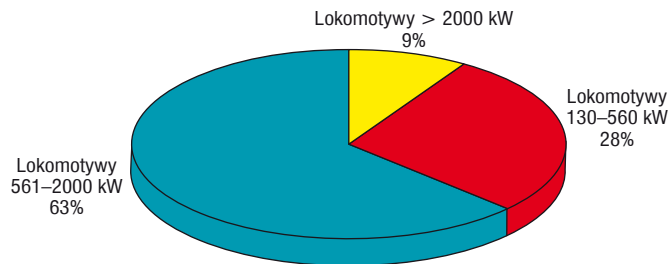


Rys. 8. Udział trakcji spalinowej w pracy przewozowej w tkm (lewa oś) i linii zelektryfikowanych (prawa oś) w państwach Unii [1]

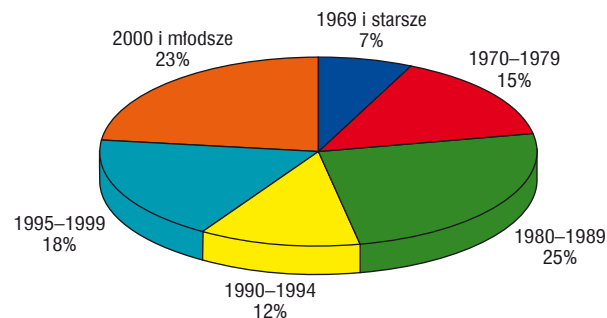
W badaniach prowadzonych przez UIC stwierdzono zależność, że park lokomotyw nowych i zmodernizowanych z wymianą silnika ma około 10% mniejsze zużycie jednostkowe paliwa. Jest to wielkość średnia w oparciu o grupę pojazdów z silnikami po 1990 r. Dla lokomotyw nowej generacji szacuje się zmniejszenie zużycia paliwa o około 20%

## Zamierzenia przedsiębiorstw kolejowych

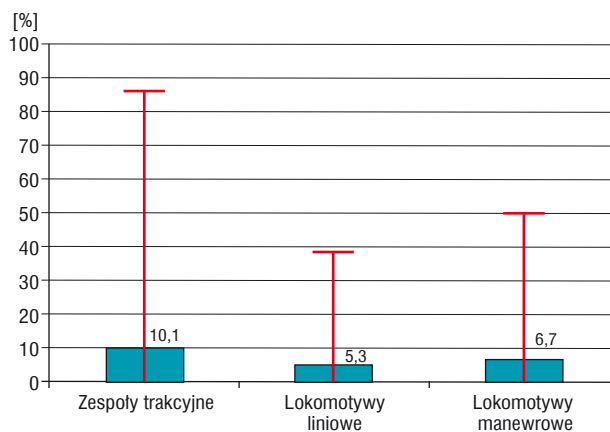
Badania UIC wykazały, że tylko niewielki procent przedsiębiorstw kolejowych ma zamiar zwiększać swój park lokomotyw spalinowych. Takie decyzje wynikają z następujących przestank:



Rys. 9. Udział lokomotyw spalinowych w poszczególnych zakresach mocy silnika spalinowego [1]



Rys. 10. Udział lokomotyw spalinowych w zależności od ich wieku [2]



Rys. 11. Udziały procentowe lokomotyw po wymianie silnika spalinowego (od lewej pojazdy pasażerskie, lokomotywy liniowe, lokomotywy manewrowe; kreski wskazują najwyższe wskaźniki, jakie osiągnięto indywidualnie w poszczególnych państwach [1])

- postępująca elektryfikacja europejskiej sieci kolejowej,
- zakup nowego taboru o wyższych parametrach eksploatacyjnych i osiągnięciach trakcyjnych eliminujących część dotychczas eksploatowanych lokomotyw.

Do 2020 r. liczba lokomotyw spalinowych w Europie zmniejszy się, ale liczba spalinowych zespołów trakcyjnych do obsługi lokalnych połączeń pasażerskich się zwiększy. Analizy UIC wskazują, że do 2020 r. przedsiębiorstwa planują zakup około 9000 nowych lokomotyw i 8500 spalinowych zespołów trakcyjnych.

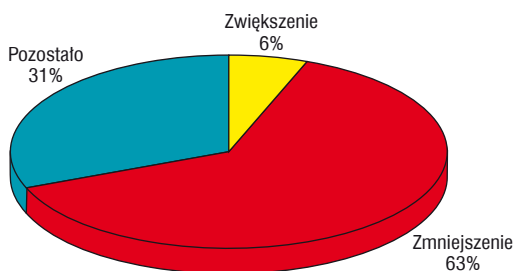
Przy wymianie lub modernizacji taboru przedsiębiorstwa kolejowe zasadniczo nie przewidują zwiększenia mocy pojazdów. Wynika to często z braku takich możliwości technicznych lub też braku takich potrzeb. Należy jednak zaznaczyć, że moce lokomotyw w krajach zachodnich są wyższe niż w Polsce. Analizy te potwierdzają fakt dominacji zakupów lokomotyw o mocach silnika

spalinowego około 2000 kW (4-osiowe), z niewielką liczbą lokomotyw 6-osiowych o mocy około 3000 kW.

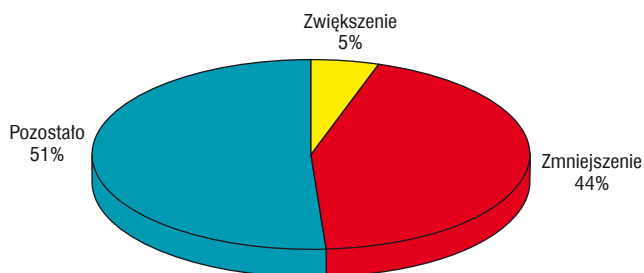
Jeżeli rozpatrywać decyzje, co do modernizacji parku lokomotyw, zdania przedsiębiorstw kolejowych są podzielone niemalże na dwie równe części – około połowa przedsiębiorstw kolejowych nie planuje takich modernizacji.

## Działania techniczne i operacyjne prowadzące do redukcji poziomu emisji spalin Technologia redukcji

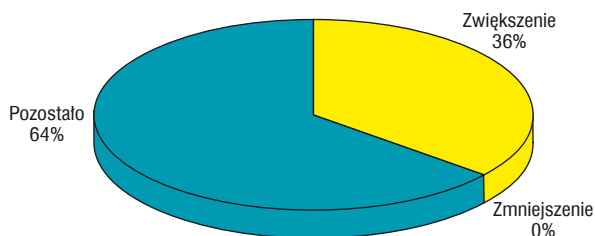
W raportach UIC [2] wykazano, że korzystanie z technologii SCR (odazotowanie oparte na moczniku) prowadzi do większych redukcji emisji spalin przez obecny i przyszły park pojazdów kolejowych oraz że użycie filtrów cząstek stałych (DPF) w silnikach spalinowych będzie najprawdopodobniej bardzo potrzebne w ce-



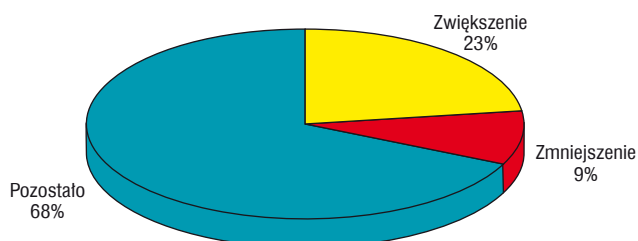
Rys. 12. Decyzje przedsiębiorstw kolejowych dotyczące przyszłej liczby spalinowych lokomotyw liniowych [1]



Rys. 13. Decyzje przedsiębiorstw kolejowych dotyczące przyszłej liczby spalinowych lokomotyw manewrowych [1]



Rys. 14. Decyzje przedsiębiorstw kolejowych dotyczące zmiany mocy lokomotyw liniowych przy zakupie i modernizacji [1]

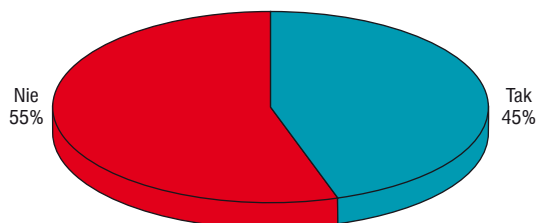


Rys. 15. Decyzje przedsiębiorstw kolejowych dotyczące zmiany mocy lokomotyw manewrowych przy zakupie i modernizacji [1]

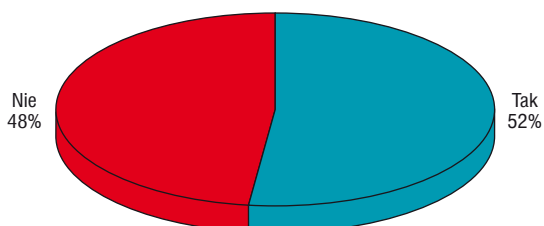
lu spełnienia wymagań norm IIIB. Obecnie nie ma zbyt dużego doświadczenia w oczyszczaniu spalin produkowanych przez pojazdy kolejowe, stąd nie jest jeszcze pewne czy wyposażenie silników w takie filtry będzie miało słuszne zastosowanie w pojazdach trakcyjnych. Niektóre z potencjalnych ograniczeń uwzględniają brak dostępności przestrzeni w obecnie eksploatowanych pojazdach kolejowych do zamontowania sprzętu redukującego emisję, co równocześnie może prowadzić do przekroczenia dopuszczalnego maksymalnego nacisku na oś. Ponadto niektóre urządzenia DPF zamontowane w pojazdach trakcyjnych mogą prowadzić do powstania ciśnienia wstecznego spalin oraz nie są one kompatybilne ze wszystkimi starszymi pojazdami kolejowymi wyposażonymi w nowe silniki (*proces re-engine* – remotoryzacji). Wszelkie potencjalne utrudnienia muszą być rozpatrywane w szerszym zakresie, a szczegółowa ocena musi być przeprowadzona dla każdego indywidualnego typu pojazdu trakcyjnego w celu identyfikacji czy montaż filtrów lub nowego silnika jest możliwe w każdym pojeździe. Inną, istotną kwestią jest fakt, że zastosowanie technologii SCR i DPF wymaga użycia beziarkowego oleju napędowego.

## Proces remotoryzacji w starszych pojazdach trakcyjnych

Dyrektywa 2004/26 wymaga, aby silniki, w które ma być wyposażony pojazd trakcyjny (w procesie remotoryzacji), spełniały wymagania norm IIIA lub IIIB. Od stycznia 2006 r. operatorzy kolejowi mają obowiązek instalacji takich silników, spełniających wymogi IIIA – niestety obecnie jest niewiele modeli silników dostępnych na rynku spełniających te wymagania, a te, które spełniają nie mogą być wmontowane do wszystkich typów pojazdów trakcyjnych. Jednakże są silniki, które pomimo, że nie spełniają w pełni wymagań dyrektywy 2004/26, znacząco wpływają na obniżenie poziomu emisji zanieczyszczeń, ale niestety obecnie operatorzy mają zakaz montowania takich silników w swoich pojazdach. Jest to bardzo istotny przypadek, w którym dyrektywa 2004/26 może w praktyce hamować proces obniżania emisji spalin przez istniejący park pojazdów. Jest to bardzo istotny argument dotyczący dopuszczenia większej elastyczności w zakresie typów silników, które mogą być montowane w pojazdach kolejowych.



Rys. 16. Decyzje przedsiębiorstw kolejowych dotyczące modernizacji lokomotyw liniowych [1]



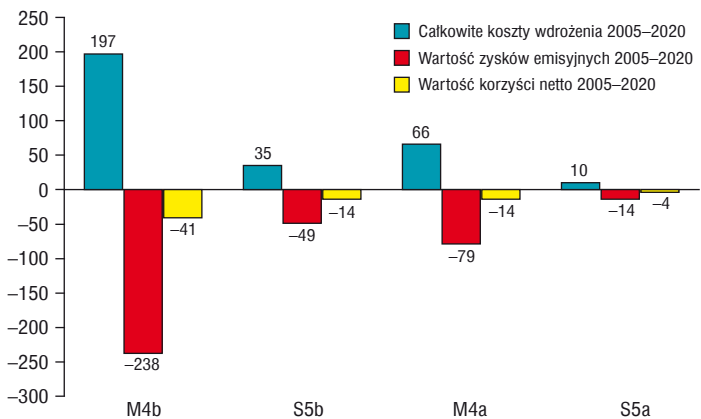
Rys. 17. Decyzje przedsiębiorstw kolejowych dotyczące modernizacji lokomotyw manewrowych [1]



wych. Zaleca się, aby ten temat był rozważony ze szczególną uwagą i w szerszym zakresie aspektów.

## Koszty nowych limitów emisji

Ceny nowych lokomotyw i spalinowych zespołów trakcyjnych oraz koszty modernizacji obecnego taboru, jakie będą kształtować w przyszłości, będą wykazywały tendencje wzrostowe w wyniku wprowadzenia nowych, ostrzejszych norm emisji zanieczyszczeń przez silniki spalinowe. Koszty te mogą zwiększać się w różnym stopniu w zależności od mocy silnika. O ile wprowadzenie norm IIIA spowoduje zwiększenie kosztów średnio o kilka procent, to dla normy IIIB zwiększenia te mogą być znacznie większe. Nie jest jednak jeszcze przesądzone, że norma ta wejdzie w obecnej postaci w 2012 r. Szacunki te mogą nie uwzględniać potencjalnej stabilizacji cen w wyniku rosnących zamówień i konkurencji między producentami. Dodatkowo szacuje się nieznaczny wzrost zużycia paliwa i kosztów utrzymania lokomotywy wraz z wprowadzeniem norm IIIA i IIIB. Szacunki te podano w tabelach 3 i 4.



Rys. 18. Możliwości strategii zmierzające do zysków netto [4]

M4 - ulepszona technologia SCR + DPF lokomotywy liniowych sprzed 1990 r.; M4a - 10% parku pojazdów; M4b - 30% parku pojazdów; S5 - ulepszona technologia SCR dla lokomotyw manewrowych po 1990 r.; S5a - 10% parku pojazdów; S5b - 35% parku pojazdów; wielkości ujemne obrazują korzyści, dodatnie – dodatkowe koszty

## Szacowany procent zmian kosztów cyklu życia w celu spełnienia normy IIIA [4]

Tabela 3

Typ pojazdu	Zmiana kosztów inwestycyjnych na lokomotywę/ zespół trakcyjny	Zmiana zużycia paliwa	Dodatkowe zużycie paliwa	Zmiana kosztów utrzymania silnika
Zespoły trakcyjne	+3% ÷ +7%	>0%	0%	0% ÷ 5%
Lokomotywy	+3% ÷ +15%	+4% ÷ +6%	0%	+5% ÷ +10%

## Szacowany procent zmian kosztów cyklu życia w celu spełnienia normy IIIB [4]

Tabela 4

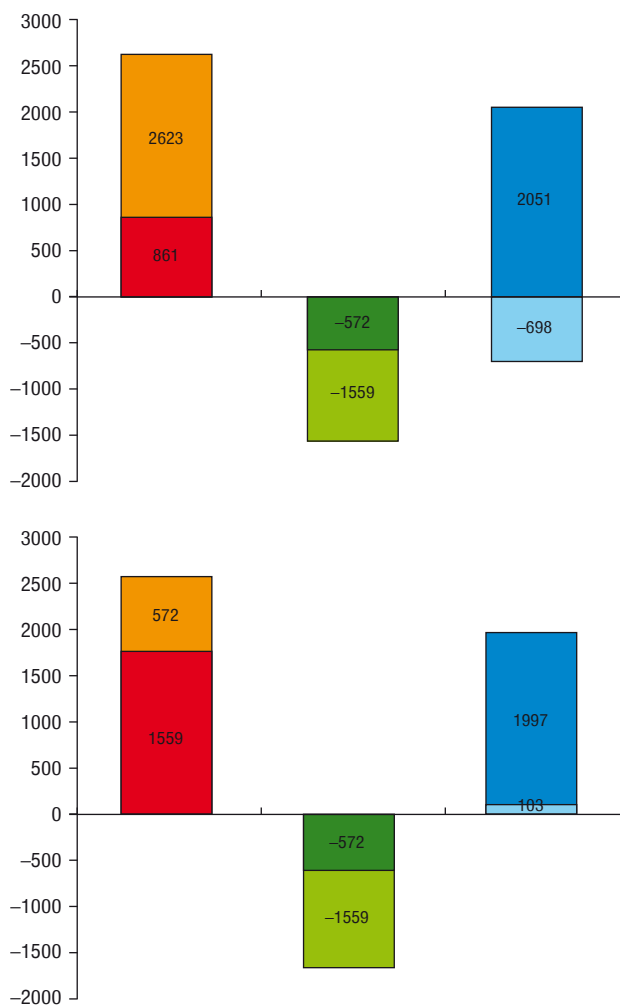
Typ pojazdu	Zmiana kosztów inwestycyjnych na lokomotywę/ zespół trakcyjny	Zmiana zużycia paliwa	Dodatkowe zużycie paliwa	Zmiana kosztów utrzymania
Zespoły trakcyjne	+8% ÷ +9%	0% ÷ +5%	0% ÷ +3%	+5% ÷ +15%
Lokomotywy	+8% ÷ +20%	-5% ÷ +9%	0% ÷ +4%	+10% ÷ +15%

## Analiza ekonomiczno kosztów i korzyści (CBA) dla obecnie eksploatowanej pojazdów

Rezultaty uzyskane z analiz CBA dla istniejącego parku pojazdów kolejowych wskazują na fakt, że bardzo niewiele strategii będzie prowadzić do czystych korzyści. Jedyne opcje, które mogą doprowadzić do uzyskania pełnych korzyści, będą wymagać poniesienia wysokich kosztów wdrożenia oraz określenia, czy możliwy jest montaż urządzeń SCR w pojazdach trakcyjnych zgodnie z nałożonymi restrykcjami dotyczącymi powierzchni i dopuszczalnej masy.

W analizie UIC dokonany został szacunek kosztów i korzyści związanych ze spełnianiem dyrektywy 2004/26 norm IIIA i IIIB przez przyszły park pojazdów. Korzyści oraz koszty wdrożenia zostały oszacowane dla wszystkich nowych typów pojazdów przewidywanych do eksploatacji w latach 2006–2020. Rezultaty analiz CBA dostarczają wstępnych danych, ale nadal nie jest wiadome, jakie technologie będą w przyszłości stosowane. Dotyczy to szczególnie normy IIIB, gdzie technologie, które będą wtedy używane, są nadal w fazie opracowania, a ponadto norma ta będzie ponownie poddana przeglądowi technicznemu.

Wykazano, że koszty netto bardziej niż zyski netto są związane z zapewnieniem, że nowe jednostki trakcyjne spełniają warunki norm IIIA i IIIB. Koszty netto związane ze spełnianiem normy IIIA mogą wynosić



Rys. 19. Koszty i zyski związane ze spełnianiem norm IIIA i IIIB [4]

■ Całkowite koszty wdrażania 2005–2020 – niski szacunek  
 ■ Całkowite koszty wdrażania 2005–2020 – wysoki szacunek  
 ■ Wielkość zysków emisji (2005–2020) (LOW CAFE COST VALUE)  
 ■ Wielkość zysków emisji (2005–2020) (HIGH CAFE COST VALUE)  
 ■ Koszty lub korzyści netto (2005–2020) – najgorsza sytuacja: Low CAFE + wysoki szacunek  
 ■ Koszty lub korzyści netto (2005–2020) – najlepsza sytuacja: High CAFE + niski szacunek

nawet 2045 mln euro (pomimo, że analizy wskazały, że zyski netto będą wynosić do 428 mln euro). Dla normy IIIB, koszty netto mogą osiągnąć pułap 379 ÷ 2036 mln euro

## Wnioski

Trakcja spalinowa w przyszłości będzie nadal spełniała bardzo ważną rolę w przewozach kolejowych w Europie, aczkolwiek jej znaczenie jest bardzo różne w poszczególnych krajach.

Dla pojazdów kolejowych sprzed 1990 r. może być stosowana ograniczona liczba rozwiązań technicznych prowadzących do redukcji emisji zanieczyszczeń. Rozwiązania takie jak DPF czy proces remotoryzacji (przy założeniu, że odpowiednie silniki będą dostępne) mogą być najlepszym wyjściem z tej sytuacji.

Większy zakres technicznych możliwości, takich jak np. SCR czy DPF, jest dostępny dla pojazdów kolejowych wyprodukowanych po 1990 r. Jednakże istotne ograniczenia (powierzchnia, masa) ograniczają zakres ich stosowania, co powinno prowadzić do przeprowadzania oceny wykonalności każdego specyficznego typu pojazdów trakcyjnych.

Odcinki linii kolejowych nawet przy dużym obciążeniu mają niewielki wpływ na jakość powietrza, natomiast emisja spalin, zwłaszcza  $\text{NO}_x$  i  $\text{PM}_{10}$ , w obszarach stacji rozrządowych oraz centrach logistycznych jest jednak bardzo istotna.

Jeśli pojazdy kolejowe obecnie eksploatowane zostaną w przyszłości poddane procesowi remotoryzacji, należy pamiętać, aby nowe silniki spełniały wymogi norm IIIA i IIIB (w zależności od tego, która norma będzie obowiązywać w trakcie przeprowadzania procesu).

Silniki, które spełniają nałożone wymagania są w praktyce niedostępne, a inne dostępne silniki, które znacząco wpływają na redukcję zanieczyszczeń, lecz nie spełniają w pełni wymagań nie mogą być montowane w pojazdach trakcyjnych. Jest to ważny argument do zwrócenia się w kierunku większej elastyczności w stosunku do typów silników montowanych w procesie remotoryzacji.

Uzyskanie istotnych korzyści środowiskowych przez sektor kolejowy łączy się z ponoszeniem wysokich kosztów wdrażania rozwiązań umożliwiających redukcję emitowanych zanieczyszczeń. Jedną z możliwości częściowego pokrycia poniesionych wydatków jest kompensacja kosztów związanych z działalnością kolei poprzez zwiększanie cen biletów dla pasażerów lub przewozów towarowych, co będzie prowadzić do częściowego rozłożenia kosztów na społeczeństwo. Jednakże sytuacja taka, pomimo re-

dukcji zanieczyszczeń, może prowadzić do niechcianych konsekwencji, łącznie ze zmianą gałęzi transportu na inną, co może prowadzić do wzrostu całkowitej emisji spalin, co jest sprzeczne z europejską polityką transportową. Należy więc wziąć ten aspekt pod uwagę przy realizacji każdego przedsięwzięcia.

Przyszłe działania kolei będą skupiały się na problemie lokalnej emisji zanieczyszczeń, jak np. użycie biodiesla, lokomotywy hybrydowe, które mogą dać dobre rezultaty ekonomiczno-kosztowe.

W warunkach polskich biorąc pod uwagę, że eksploatowane silniki reprezentują niższy poziom techniczny w porównaniu z silnikami stosowanymi przez koleje Europy Zachodniej, przejawiający się między innymi wyższymi poziomami emisji oraz większym jednostkowym zużyciem paliwa, efekty ekonomiczne remotoryzacji bądź wymiany lokomotyw na nowe mogą być większe niż w analizach dla średnich warunków europejskich. □

## Literatura

- [1] *Rail Diesel Study. WP1 Final Report. Status and future development of the diesel fleet.* By Markus Halder, Andreas Löchter. DB AG. 21.07.2005.
- [2] *Rail Diesel Study. Work Package 2. Final Report. Technical and operational measures to improve the emissions performance of diesel rail.* December 2005.
- [3] *Rail Diesel Study. Work Package 3. The contribution of rail diesel exhaust emissions to local air quality.* By Melanie Hobson, Anne Wagner and Paul Cumine (AEA Technology). October 2005.
- [4] *Rail Diesel Study. Work Package 4. Draft Final Report. Possible emission reduction strategies that could be applied to diesel traction units across the "EU Railway 27".* By S Kollamthodi and Tom Hazeldine. March 2006.
- [5] *Rail Diesel emissions – facts and challenges.* CER, UIC 2007.

## Autorka

mgr inż. Magdalena Ożóg, st. specjalista  
PKP CARGO  
Zespół ds. Interoperacyjności