

Jan Gronowicz

# Kierunki zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska przez lokomotywy spalinowe

**Wśród wielu rodzajów działalności człowieka, przyczyniających się w dużym stopniu do degradacji człowieka, jedno z czołowych miejsc zajmuje transport lądowy. O szkodliwym wpływie transportu lądowego na środowisko może świadczyć fakt, że większość zagrożeń wynika z działalności transportu lub działalności z nią związanej.**

Przez transport lądowy rozumie się transport:

- drogowy,
- szynowy,
- rurociągowy,
- energii elektrycznej.

Ujemny wpływ na środowisko transportu rurociągowego i energii elektrycznej (energetyczne sieci przesyłowe) jest relatywnie mały, dlatego w zasadzie pomija się w tym aspekcie transport rurociągowy i energii elektrycznej.

Stopień zanieczyszczenia środowiska przez techniczne środki transportu lądowego napędzane silnikiem spalinowym uzależniony jest od [1]:

- właściwości fizykochemicznych stosowanych paliw, olejów smarowych, płynów chłodzących i innych;
- struktury i liczności środków transportu w poszczególnych kategoriach, określonych ze względu na pojemność skokową silnika, przeznaczenie pojazdu, datę produkcji i stan techniczny;
- charakterystyki udziału pojazdów w poszczególnych rodzajach ruchu;
- infrastruktury dróg, organizacji ruchu i szeregu innych czynników.

Na czele zagrożeń globalnych pojawił się efekt cieplarniany, sprawca zmian i anomalii klimatycznych. Efekt cieplarniany powoduje, że coraz bogatsza w CO<sub>2</sub> gazowa powłoka Ziemi pełni rolę filtru jednokierunkowego i przepuszcza część widzialną widma na Ziemię, a zatrzymuje promieniowanie podczerwone wypromieniowane przez powierzchnię Ziemi. Absorbowane są bowiem długie fale promieniowania ciepłego, w wyniku tego wzrasta temperatura powierzchni Ziemi i powietrza nad nią. Nazywamy to powszechnie efektem cieplarnianym.

Przewiduje się, że podwojenie CO<sub>2</sub> w powietrzu (z 0,03% do 0,06%) spowoduje wzrost temperatury Ziemi o 2,3°C, co doprowadzić może do topnienia lodowców i tym samym podniesienia się poziomu mórz i oceanów.

Również poważnym zagrożeniem dla środowiska (nie zawsze społecznie uświadamianym) jest hałas i wibracje występujące w następstwie eksploatacji transportu lądowego. Zagrożenie hałasem i wibracjami niepokojąco rośnie, zwłaszcza w dużych miastach i w pobliżu tras komunikacyjnych. Licząc ostrożnie można stwierdzić [4], że łączna powierzchnia naszego kraju, na której

zanieczyszczenie hałasem o poziomie A ekwiwalentnym (średniego dobowego natężenia ruchu na trasach krajowych)  $L_{Aeq}$ , większym od 60 dB, obejmuje 21% całkowitej powierzchni kraju.

Najmniejsze szkody w środowisku naturalnym powoduje transport kolejowy, szczególnie na liniach zelektryfikowanych. Kolej ma również możliwość zmniejszenia hałasu, zużycia energii; a także charakteryzuje się stosunkowo wysokim poziomem bezpieczeństwa przewozu pasażerów. Oczywiście jest jednak, że kolej nie może w każdych warunkach zastąpić transportu samochodowego, będącego jednym z głównych źródeł zanieczyszczenia środowiska.

Szkody wyrządzone przez transport lądowy w Polsce są znaczące i można ocenić, że wynoszą około 4% wytwarzanego dochodu narodowego. Badania w tym zakresie na szerszą skalę, zostały również przeprowadzone w dwunastu krajach UE; koszty te odniesiono na 1 mln pas.km i 1 mln tkm i przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1

**Kalkulowane koszty ekologiczne na 10<sup>6</sup> pas.km i 10<sup>6</sup> tkm wyrażone w ECU [5]**

Koszty ekologiczne	Przewozy pasażerów		Przewozy ładunków	
	samochodem	koleją	samochodem	koleją
Wypadki drogowo-transportowe	22 400	50	8 200	20
Zatory drogowo	2 700	—	8 100	—
Zanieczyszczenia atmosfery	4 000	900	7 800	400
Hałas	1 300	700	600	700
Razem	30 400	1 650	24 700	1120

Istniejący, niekorzystny stan w dziedzinie ochrony środowiska naturalnego przed szkodliwym oddziaływaniem transportu wymaga pilnych zmian. Niezbędne są wielokierunkowe i skoordynowane działania, polegające między innymi na:

- rozbudowanie świadomości proekologicznej wśród pracowników transportu (szczególnie decydentów), co powinno odbywać się poprzez odpowiednią propagandę, naciski społeczne oraz prowadzenie odpowiedniej polityki prawnej;
- wykształcenie (kadr) ludzi mogących rozwiązywać problemy techniczne, związane z działalnością proekologiczną w transporcie;
- opracowanie rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych, organizacyjnych oraz tworzenie infrastruktury pozwalającej na obniżenie ujemnego oddziaływania transportu lądowego na środowisko naturalne (dotyczy to obiektów istniejących i nowo projektowanych);
- popieranie rozwoju tych gałęzi transportu, które są najmniej szkodliwe dla otoczenia i wzmocnienie ingerencji państwa w rozwój transportu;
- przestrzeganie zasady pełnej odpowiedzialności materialnej za szkody poczynione w środowisku naturalnym.

Niezależnie od działań strategicznych, niezbędne są działania techniczno-organizacyjne prowadzące do zmniejszenia ujemnego oddziaływania również lokomotyw spalinowych na środowisko w zakresie emisji substancji szkodliwych, wydzielanego hałasu i drgań oraz zanieczyszczenie szlaków kolejowych.

## Zmniejszenie emisji substancji szkodliwych wydzielanych przez silnik spalinowy

Praca silników spalinowych lokomotyw jest głównym sprawcą wydzielonych związków toksycznych, zanieczyszczających środowisko. W przeważającej liczbie są to silniki czterosurowe z zapłonem samoczynnym.

Do podstawowych substancji toksycznych, emitowanych przez silniki spalinowe, zaliczamy: tlenek węgla (CO), węglowodory (CH), tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ), aldehydy (RCHO), dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ), cząstki stałe (sadza i inne).

Silniki spalinowe emitują również inne substancje zanieczyszczające, np. kwasy, związki fosforu i inne. Substancje te występują jednak w niewielkich stężeniach, na ogół śladowych i ich udział w zanieczyszczeniu atmosfery jest dotychczas pomijany.

Substancje zanieczyszczające, emitowane przez silniki spalinowe, mają w temperaturze otoczenia postać: gazową (CO,  $\text{NO}_x$ , CH, RCHO,  $\text{SO}_2$ ), ciekłą (CH, RCHO), stałą (sadza, ciężkie węglowodory).

Substancje zanieczyszczające, wydalone do atmosfery przez silniki spalinowe, pochodzą z trzech źródeł: układu wydechowego, skrzyni korbowej, układu paliwowego.

Podstawowym źródłem substancji zanieczyszczających atmosferę jest układ wylotowy. Skład gazów z układu wylotowego zależy w dużym stopniu od tego czy to jest silnik z zapłonem iskrowym czy samoczynnym – dla silnika z zapłonem samoczynnym, przeciętny skład spalin silnikowych w % sumarycznej objętości wynosi:

Azot (N)	76,0–77,0	(nietoksyczny)
Tlen (O)	10,0–16,0	(nietoksyczny)
Para wodna ( $\text{H}_2\text{O}$ )	3,5–5,0	(nietoksyczny)
Dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ )	3,5–7,0	(nietoksyczny)
Wodór (H)	0–0,1	(nietoksyczny)
Tlenek węgla (CO)	0,01–0,1	(toksyczny)
Tlenek azotu ( $\text{NO}_x$ )	0–0,5	(toksyczny)
Węglowodory (CH)	0,01–0,4	(toksyczny)
Aldehydy (RCHO)	0–0,03	(toksyczny)
Dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ )	ok. 0,04	(toksyczny)
Cząstki stałe (PM)	0,007	(toksyczne)

Główne przyczyny powstawania związków toksycznych zestawiono w tablicy 2.

Skład gazów w poważnym stopniu uzależniony jest od charakteru pracy silnika (tabl. 3), oraz od współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda$  (rys. 1), a mechanizm powstawania tych związków przedstawiono na rysunku 2.

W początkowej fazie spalania, w której spala się paliwo odporowane i zmieszane z powietrzem podczas opóźniania samozapłonu, w warstwie ubogiej w paliwo tworzą się węglowodory, a w strefie popłomiennej tlenki azotu. W fazie kontrolowanej procesami mieszania, w strefach bogatych w paliwo powstają sadze w skutek pirolizy, natomiast w strefach w pobliżu ścianek – węglowodory, wskutek efektu gaszenia płomienia, silniki ZS emitują głównie  $\text{NO}_x$ , PM oraz CH.

## Główne przyczyny sprzyjające powstawaniu $\text{NO}_x$ , CO, CH w silnikach spalinowych ZS [3]

Przyczyny powstawania	Zanieczyszczenie			
	$\text{NO}_x$	CO	CH	PM
Przyczyny powstawania	Strefa popłomienista przy składzie mieszanki zbliżonej do stechiometrycznej	Niedobór powietrza lokalny (złe wymieszanie)	Nie spalone paliwo przy ściankach i szczelinach (niska temperatura)	Rozpad termiczny paliwa, np. przy jego wtrysku do stref gorących objętych płomieniem
Okoliczności powstawania	Wysoka temperatura		Chłodzące oddziaływanie ścian cylindra	Zbyt długi czas wtrysku, zbyt mało powietrza przy dużych obciążeniach

Tablica 3

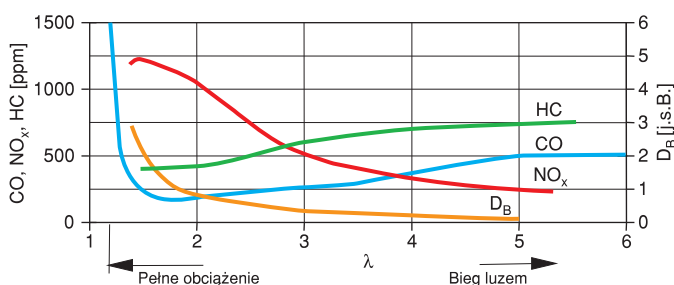
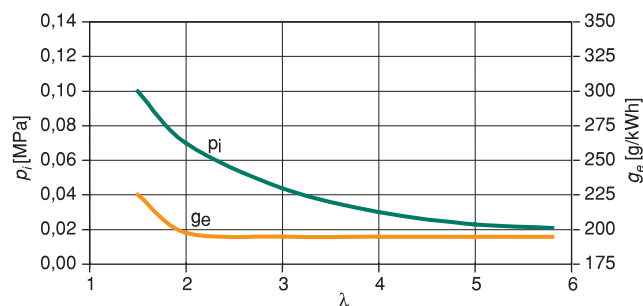
## Wybrane wskaźniki porównawcze gazów spalinowych silników ZS w różnych warunkach pracy [6]

Składnik	Charakter pracy	Charakter pracy			
		bieg jałowy	przyspieszenie	prędkość stała	opóźnienie
CO [% obj.]		0	0,05	0	0
CH [% obj.]		0,02–0,05	0,02	0,01	0,03
$\text{NO}_x$ [ppm]		50,0–68,0	849,0	237,0	30,0
Aldehydy [ppm]		6,0–17,0	17,0	11,0	29,0

W silnikach o zapłonie samoczynnym systemy spalania pod względem konstrukcyjnym są następujące: wtrysk bezpośredni paliwa (szeroko stosowany), komora dzielona (wstępna, ewentualnie wirowa).

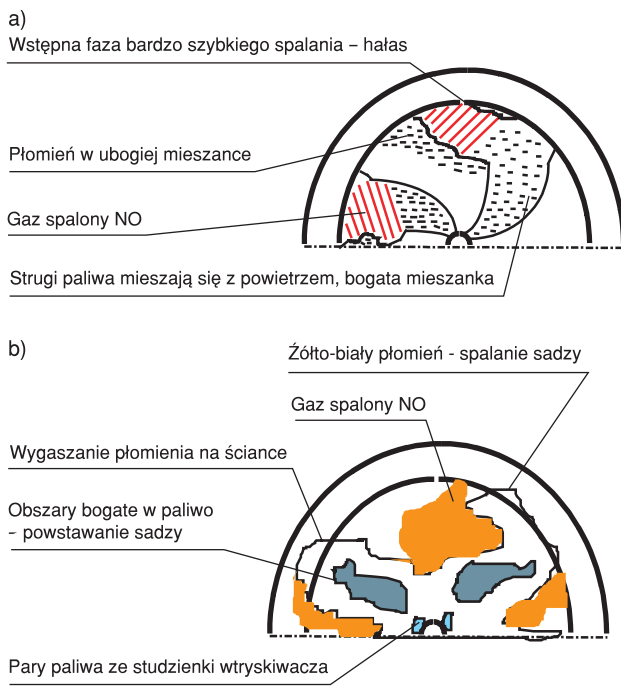
W systemie wtrysku bezpośredniego proces przygotowania mieszanki i spalania zależy w dużym stopniu od ruchu wirowego powietrza wokół osi cylindra (który też wpływa na kształt strugi wtrysniętego paliwa), rozkładu w niej lokalnego współczynnika nadmiaru powietrza oraz temperatury po powstaniu stref sprzyjających tworzeniu się poszczególnych związków toksycznych. Możemy więc wyróżnić przestrzenie, w których:

- znajduje się mieszanka uboga ( $\lambda \geq 1$ ), będąca głównym źródłem niespalonych węglowodorów,



Rys. 1. Zależność emisji CO, CH,  $\text{NO}_x$  i DB (dymienie w jednostkach Boscha) oraz  $p_i$  i  $g_e$  od współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda$  dla silnika ZS

- współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda = 1,1$  i tam zostaje zainicjowane rozprzestrzenianie się spalania; panuje wysoka temperatura, dlatego ta przestrzeń jest głównym źródłem emisji tlenków azotu,
- znajdują się znaczne ilości nieodparowanego paliwa ( $\lambda \leq 1$ ); są one przy dużych obciążeniach głównym źródłem cząstek stałych, a przy małych obciążeniach źródłem niespalonych węglowodorów i tlenku węgla.



Rys. 2. Mechanizm powstawania związków toksycznych w silniku ZS  
a - faza spalania mieszanki wstępnie przygotowanej, b - faza spalania kontrolowanego [2]

W systemach z wtryskiem bezpośrednim możemy się spodziewać wysokiej emisji związków toksycznych. Jednak na korzyść tych rozwiązań przemawia wysoka sprawność ogólna i mniejsze o ok. 20% zużycie paliwa w porównaniu z systemami, w których zastosowano komory dzielone.

Na toksyczność spalin oraz zużycie paliwa ma wpływ szereg czynników konstrukcyjnych, tj. kształt komory spalania i układ dolotowy, kąt wyprzedzenia wtrysku, fazy rozrządu, stopień nagrzania silnika i szereg innych.

Najnowszym układem wtryskowym silników ZS jest układ ciśnieniowy kolektora paliwa zwany Common Rail (CR) – układy te prowadzą do obniżenia zużycia paliwa i związków toksycznych. Układ CR przypomina układy wtryskowe we współczesnych silnikach benzynowych; podobnie stosowana jest pompa wytwarzająca ciśnienie w kolektorze pełniącym funkcję akumulatora hydraulicznego dla całego układu wtryskowego. Ciśnienie to jest rzędu 135–160 i więcej MPa, a stałą wartość utrzymuje zawór regulacji ciśnienia. Kolektor wysokociśnieniowy połączony jest z wtryskiwaczami, a dawka paliwa regulowana jest czasem otwarcia elektromagnetycznego wtryskiwacza.

Podjmuje się obecnie wiele przedsięwzięć technicznych prowadzących do zmniejszenia toksyczności spalin. Zauważa się tendencje do zwiększenia objętości skokowej silnika  $V_{ss}$ , zmniejszenia stosunku mocy aktywnej  $N_e$  do  $V_{ss}$  oraz zwiększenie skoku tłoka, gdyż zmniejszenie stopnia wysilenia silnika jest najprost-

szym sposobem zmniejszenia toksyczności i hałasu. Realizowane przedsięwzięcia dla silników ZS przedstawiono w tabelicy 4.

Tablica 4

### Przedsięwzięcia w silnikach ZS w lokomotywach w celu zmniejszenia toksyczności spalin [3]

Rodzaj przedsięwzięcia	Korzyści
Optimalizacja kształtu strugi i umieszczenie we wtryskiwaczu	Skrócenie czasu opóźnienia wtrysku, zmniejszenie emisji PM, możliwość opóźnienia wtrysku (mniejsza emisja $NO_x$ )
Zwiększenie ciśnienia wtrysku przy mniejszym zawirowaniu mieszanki	Zmniejszenie emisji PM przy niezwiększonej emisji $NO_x$
Elektronizacja wtrysku	Uzależnienie kąta wyprzedzenia wtrysku i dawki paliwa od większej liczby parametrów
Zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrysku	Zmniejszenie $NO_x$ , konieczność skrócenia czasu trwania wtrysku i opóźnienie zaplonu
Doładowanie	Zmniejszenie emisji wszystkich składników toksycznych i zwiększenie sprawności ogólnej
Chłodzenie powietrza doładowania	Zwiększenie korzyści z doładowania
Recyrkulacja spalin	Zmniejszenie emisji $NO_x$
Katalizator utleniający	Zmniejszenie emisji PM, CH i CO
Filtry sadzowe	Zmniejszenie emisji PM i częściowo CH
Urządzenia skracające czas nagrzewania silnika	Zmniejszenie nadmiernej ilości toksycznych spalin podczas nagrzewania silnika
Ograniczenie zużycia oleju silnikowego	Zmniejszenie emisji CH i PM
Podgrzewanie paliwa zasilającego	Zmniejszenie toksyczności spalin podczas nagrzewania silnika
Stosowanie paliw o mniejszej zawartości siarki	Zmniejszenie emisji związków siarki, PM
Chłodzenie komory spalania przez doprowadzenie odpowiedniej ilości wody	Zmniejszenie $NO_x$

### Oczyszczanie spalin

W silnikach ZS występuje konieczność oczyszczenia spalin z sadzy i związków siarki, gdzie można zastosować katalizatory utleniające CH, CO, aldehydy i organiczną frakcję rozpuszczalną, a do oczyszczenia spalin z cząstek stałych – filtry. Cząstki te osiadają na materiale pochłaniającym – filtrze; mogą być dopalone płomieniowo lub utleniane katalicznie. Silniki ZS zawierają mniejszą ilość CO i CH, natomiast charakteryzują się podwyższoną zawartością  $NO_x$  i cząstek stałych.

Jedną z dróg zmniejszenia emisji tlenków azotu może być kataliczny rozkład  $NO_x$  na składniki  $N_2$  i  $O_2$ . W większości przypadków jest to jednak utrudnione, ponieważ tlen inhibuje taką reakcję, silnie absorbując się na powierzchni pokrycia katalicznego. katalizatory dla silników ZS muszą być dostosowane do takich warunków, jak:

- większego zakresu temperatury pracy,
- ścisłej kontroli temperatury,
- ścisłej kontroli  $CH/NO_x/O_2$ .

Dodatkowym warunkiem jest ograniczenie utleniacza  $SO_2$  do  $SO_3$ , ponieważ utrudnia to dobre dopalanie cząstek stałych w spalinach.

Inną drogą redukcji  $NO_x$  jest stosowanie katalicznej redukcji selektywnej. Selektywna redukcja  $NO_x$  może być podstawowym sposobem zmniejszenia emisji  $NO_x$  w silnikach lokomotyw spalinowych. Jako reduktor stosowany jest najczęściej amoniak ( $CH_3$ ) i inne związki zawierające azot, węglowodory nasycone i nienasycone o krótkim łańcuchu, alkohole itp. Selektywna katalicznie

redukcja musi być efektywna także w warunkach obecności w spalinach dużego natężenia tlenu oraz dwutlenku siarki.

Do redukcji  $\text{NO}_x$  wykorzystuje się również węglowodory (CH), gdzie proces konwersji  $\text{NO}_x$  przebiega w warunkach nadmiaru tlenu w obecności węglowodorów o stężeniu  $>1$ , np. propanu, propenu, etylenu, z szybkością wystarczającą do zastosowań praktycznych.

Rozwój katalizatorów do obniżenia emisji  $\text{NO}_x$  będzie dążył w kierunku:

- poszukiwania nowych układów jednocześnie bardzo aktywnych i odpornych na nieunikniony proces „zatrucia” katalizatorów,
- optymalizacja procesów katalicznej selekcji redukcji  $\text{NO}_x$ , z wykorzystaniem węglowodorów jako czynnika redukującego katalicznej selektywnej redukcji  $\text{NO}_x$ ,
- poszukiwanie katalizatorów wykorzystujących do redukcji  $\text{NO}_x$  związków organicznych, składających się na cząstki stałe w celu budowy systemu jednocześnie ograniczającego emisje tlenków azotu i cząstek stałych.

Do oczyszczania z cząstek stałych nierozpuszczalnych niezbędne są odpowiednie filtry zatrzymujące, a następnie wypalanie zatrzymanych cząstek stałych dla zapewnienia drożności filtra. Konstrukcja filtra powinna uwzględniać:

- zatrzymanie wszystkich zanieczyszczeń o granulacji powyżej 1 mm,
- zapłon sadzy w temperaturze 550–600°C i jej spalanie mogące przekroczyć nawet 1000°C,
- bardzo wysoką emisję CH podczas wypalania (regeneracja filtra),
- zwiększenie oporów przepływu spalin wskutek osadzenia się cząstek w procesie eksploatacji.

Spalanie sadzy zaczyna się w temperaturze około 380°C, jednak szybkość spalania osiąga się dopiero w temperaturze 550–600°C; wysokie temperatury spalin występują dopiero podczas pracy silnika w warunkach bliskich maksymalnej mocy. Temperatura spalin w warunkach znamionowych wynosi około 500 do 700°C, natomiast przy wlocie do filtra (w zależności od długości przewodów wylotowych i intensywności chłodzenia) temperatura spada nawet do 200°C przy biegu jałowym i dlatego do zapalenia sadzy niezbędne jest podgrzewanie filtra.

Wkład filtrujący musi odznaczać się dobrymi właściwościami chłonnymi, małym oporem przepływu spalin, dużą odpornością na wysokie temperatury i na duży gradient temperatury. Do najczęściej stosowanych filtrów sadzowych zalicza się ceramiczne filtry z nośnikiem monolitycznym lub stalowym.

Cząstki stałe w spalinach mają małą gęstość (ok. 0,75 g/cm<sup>3</sup>) i dlatego nie jest możliwe gromadzenie w lokomotywie zebranych zanieczyszczeń a zatrzymane sadze powodują zwiększenie oporów wylotu spalin, a przez to pogorszenie silnika; dopuszczalny spadek ciśnienia na filtrze nie powinien przekraczać 10–15 kPa.

W wielu badaniach zauważono, że ilość związków toksycznych uzależniona jest również od jakości produkcji i eksploatacji. Przez jakość eksploatacji należy rozumieć przestrzeganie wszystkich czynności przeglądowo-naprawczych dla zapewnienia prawidłowego stanu silnika spalinowego i układów napędowych – często jednak rzeczywistość odbiega od tych wymagań a nawet nowo wyprodukowane silniki tego samego typu emitują do 40% cząstek stałych i do 80% CH więcej, w porównaniu z silnikiem wykonanym w granicach założonych odchyłek wykonawczych i montażowych.

## Normy i zalecenia zanieczyszczeń spalin silników lokomotyw spalinowych

Propozycje dopuszczalnych limitów emisji związków toksycznych w spalinach silników spalinowych (dla etapów III i IV) stosowanych między innymi w lokomotywach spalinowych opublikowanych przez Komisję Europejską 27 grudnia 2002 r. i przyjęte przez Parlament Europejski w październiku 2003 r. zestawiono w tablicach 5 i 6. Etap III będzie wprowadzony w 2006 r., a etap IV dopiero między rokiem 2010 a 2014 (etapy I i II nie obejmowały silników lokomotyw spalinowych – wymagania UE do silników o mocy 19–560 kW są w toku uzgadniania).

Tablica 5

### Propozycje limitów etapu III dla silników lokomotyw spalinowych

Moc silnika	CO	CH	CH + NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	Data wprowadz.
	[g/kW]					
130 kW < N <sub>e</sub> < 560 kW	3,5	—	4,0	—	0,2	31.12.2006
N <sub>e</sub> > 560 kW	2,0	0,5	—	6,0	0,2	31.12.2007

Tablica 6

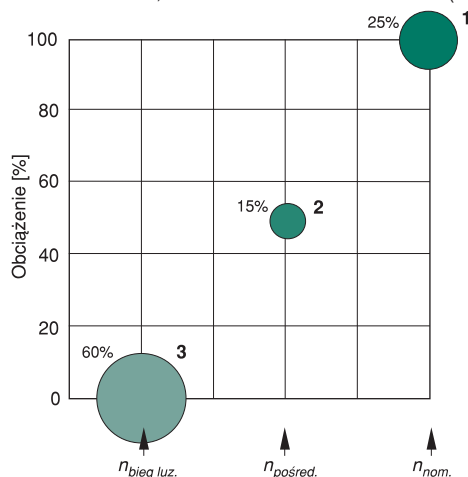
### Propozycje limitów etapu IV dla silników lokomotyw spalinowych

Moc silnika	CO	CH	CH + NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	Data wprowadz.
	[g/kW]					
130 kW < N <sub>e</sub> < 560 kW	3,5	—	1,0	—	0,2	31.12.2010
N <sub>e</sub> > 560 kW	2,0	0,5	—	10,0	0,2	31.12.2011

Wymienione w tablicach 5 i 6 wartości etapów III i IV są zgodne z normami amerykańskimi Tier 3–4. Etap IV wprowadza limity emisji PM o wartości 0,020–0,025 g/kWh. Niektóre silniki będą także wymagały stosowania układów redukcji emisji  $\text{NO}_x$  w celu spełnienia limitów etapu IV.

Pomiary emisji będą przeprowadzone według dwóch testów: testu NRSC (pozadrogowy test stacjonarny) ISO 8178-F (rys. 3), oraz nowego testu NRTC (pozadrogowy test niestacjonarny), który opracowano wspólnie z organizacją EPA (Urząd Ochrony Środowiska w USA), co pokazano na rysunku 4 [7].

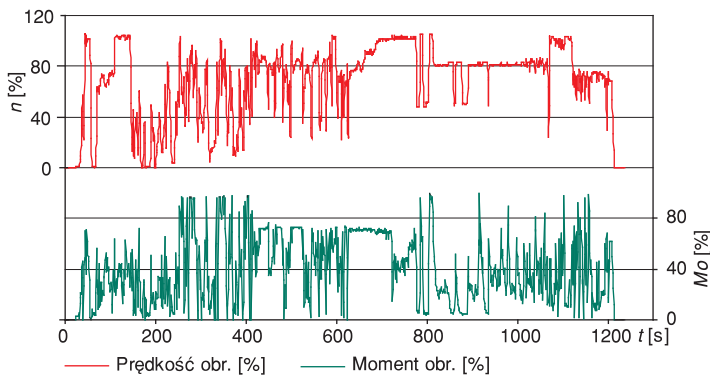
Europejskie przepisy dotyczące emisji spalin (lokomotyw spalinowych oraz autobusów szynowych) zawarte są w karcie UIC 624. Dopuszczalne wartości emisji składników toksycznych podano na rys. 5. Limity UIC obowiązywały dla wszystkich silników do 31.12.2002 r., natomiast od 01.01.2003 r. (UIC II) obo-



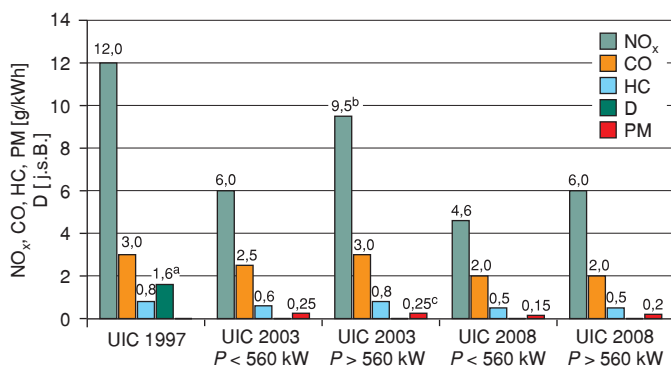
Rys. 3. Rozkład faz testu ISO 8178-F (zaznaczono kolejność faz i współczynników, udziałów)



wiązuje podział na silniki o mocy do 560 kW i powyżej tej wartości. Zmianie uległy mierzone składniki spalin oraz zrezygnowano z pomiaru zadymienia spalin, uwzględniając obecnie w UIC II (tak jak w przypadku norm EURO), pomiar emisji cząstek stałych. Należy również zaznaczyć, że limity UIC od 2008 r. będą zbliżone do limitów etapu IV norm EURO.



Rys. 4. Przebieg testu NTRC



Rys. 5. Limity emisji poszczególnych związków toksycznych dla pojazdów szynowych według karty UIC 624:

a - przy wydatku powietrza powyżej 1,0 kg/s wartość zadymienia D wynosi 2,5 j.s.B.; b - obowiązuje dla prędkości  $n > 1000$  obr/min, dla  $n < 1000$  obr/min limit wynosi 9,9 g/kWh; c - dla silników o mocy nominalnej powyżej 2200 kW emisja PM jest wyjątkowo dopuszczona do 31.12.2004 r. na poziomie 0,5 g/kWh lecz zaleca się zachowywać wartość graniczną 0,25 g/kWh, od 1.01.2005 r. wartość graniczna 0,25 g/kWh obowiązuje dla wszystkich silników

## Powstawanie i redukcja hałasu i drgań

Na ujemne oddziaływanie hałasu i drgań narażonych jest w różnym stopniu ok. 33% ludności Polski zarówno w miejscach zamieszkania, pracy, odpoczynku, jak i w innych miejscach przebywania. Powszechny i jednocześnie najbardziej uciążliwy hałas i drgania spotykamy nie tylko na trasach samochodowych ale również przy szlakach i węzłach kolejowych.

Hałas są to dźwięki o dowolnym charakterze akustycznym, niepożądane w danych warunkach i dla danej osoby. Według innej definicji, hałasem są wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania ośrodka sprężystego, działającego za pośrednictwem powietrza na organizm słuchu i inne zmysły oraz organy organizmu ludzkiego.

Drgania akustyczne jest to ruch cząstek środowiska sprężystego względem określonego położenia równowagi, rozchodzący się w sposób falowy.

Narząd słuchu człowieka przystosowany jest do odbioru fal dźwiękowych o częstotliwości od 16 do 20 000 Hz i ciśnieniu akustycznym zawartym w przedziale od 20 mPa do 10 Pa. Dźwięki poniżej 16 Hz nazywamy infradźwiękami, a częstotliwości wyższe od 20 000 Hz ultradźwiękami. największą czułość wykazuje ucho ludzkie w zakresie częstotliwości 800–4000 Hz. Czułość ucha nie jest stała, przy niskim poziomie dźwięku jest ona duża, przy wysokim poziomie zaś mała.

Ze względu na dużą czułość ucha ludzkiego, wprowadzono do stosowania wielkość logarytmiczną, którą nazwano poziomem ciśnienia akustycznego, wyrażoną zależnością:

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB(A)}]$$

gdzie:

$p$  – ciśnienie akustyczne [Pa],

$p_0$  – ciśnienie akustyczne odniesienia  $p_0 = 2 \times 10^{-5}$  [Pa].

W zależności od natężenia hałasu jego skutki można podzielić na pięć grup, a mianowicie:

- 1) poniżej 35 dB(A) – jest nieszkodliwy dla człowieka;
- 2) 35–70 dB(A) – ujemne oddziaływanie na organizm, powoduje zmęczenie układu nerwowego, obniżenie czułości wzroku, utrudnienie zrozumienia mowy i porozumienia się, niekorzystny wpływ na sen i wypoczynek;
- 3) 70–85 dB(A) – ciągła ekspozycja wpływa ujemnie na wydajność pracy, działa szkodliwie na zdrowie;
- 4) 80–130 dB(A) – jest to natężenie niebezpieczne dla organizmu powodujące różne zaburzenia m.in. układu krążenia czy układu pokarmowego;
- 5) powyżej 130 dB(A) – wywołuje drgania niektórych organów wewnętrznych, powodując choroby i zniszczenia.

Należy również mieć na uwadze, że dla człowieka są bardzo niebezpieczne drgania o niskiej częstotliwości, ponieważ czułość własna organów wewnętrznych i elementów człowieka jest niska, zawiera się w granicach 3–25 Hz, do których zaliczamy serce, wątrobę, mózg, pęcherz moczowy, kończyny i inne.

Pośród lądowych środków transportu, transport kolejowy jest najmniej odczuwalny przez społeczeństwo. Charakter emitowanego hałasu i drgań przez pojazdy szynowe jest zdeterminowany parametrami pojazdów jak i sama drogą, tj. torami kolejowymi.

Przyczyny powstawania hałasu i drgań są zintensyfikowane takimi zjawiskami jak:

- znaczną masą samej lokomotywy – ok. 100 t,
- stosunkowo dużą masę nieusprężynowaną – ok. 3 t (zestaw kołowy z obudową i tożyskami, duże koło zębate i część masy elektrycznego silnika trakcyjnego zawieszona często za nos),
- zainstalowanym w lokomotywie silnika spalinowego, układu przeniesienia mocy, sprężarki, wentylatorów chłodzenia silnika spalinowego i elektrycznych silników trakcyjnych.

Kolejowe źródła hałasu są zlokalizowane zarówno liniowo (szlaki), jak i punktowo (stacje). Zjawiskom towarzyszącym hałasowi są drgania gruntu wywołane przez pojazdy szynowe, będące efektem występowania dużych sił w układzie koło–szyna. Zależą one od jakości powierzchni kół i szyn oraz prędkości jazdy pociągów. Drgania rozpowszechniają się z toru przez grunt w postaci fal ciśnieniowych, fal poprzecznych i powierzchniowych. Pierw-

sze dwa rodzaje fal są charakterystyczne dla metra, a trzeci – dla naziemnego transportu kolejowego na otwartych odcinkach tras.

Badania między innymi hałasu w transporcie szynowym od wielu lat prowadzi ORE (obecnie EERI), w ramach którego powołano o tego celu Komitet C13, a jego zadaniem jest badanie i ograniczenie emisji hałasu przez pojazdy szynowe, oraz Komitet D151 do badania drgań.

Lokomotywy spalinowe wyposażone są w największą liczbę maszyn będących źródłem emisji hałasu, do których należy zaliczyć:

- silnik spalinowy wraz z prądnicą główną (lub inną przekładnią), pomocniczą czy też wzbudnicą,
- wentylatory układu chłodzenia silnika spalinowego i ich napęd,
- sprężarkę powietrza,
- wentylatory chłodzenia elektrycznych silników trakcyjnych,
- przekładnie główne zestawu kołowego,
- inne urządzenia i ich napęd (pompy paliwa, wody, przetwornice wirujące itp.).

Głównym działaniem prowadzącym do obniżenia emisji hałasu w lokomotywie powinny być realizowane na etapie projektowania i produkcji; napraw i przeglądów; największe w tym względzie można jedynie uzyskać na etapie projektowania. Jednym z podstawowych parametrów określających jakość maszyny powinien być poziom hałasu wywoływany podczas pracy (przeważnie brak jest tego parametru w katalogu), a szczególnie silnika spalinowego, sprężarki powietrza i wentylatorów. Powszechnie stosowane sprężarki korbowo-tłokowe, charakteryzują się dużą hałaśliwością – do 90 dB(A). Coraz szerzej wprowadzane są w świecie sprężarki wirowe (śrubowe) charakteryzujące się między innymi małą hałaśliwością (ok. 45 dB(A) – należy pamiętać, że około 3 dB to 100% wzrost ciśnienia akustycznego na ucho ludzkie).

Kolejnym działaniem konstrukcyjnym, prowadzącym do obniżenia hałasu i drgań jest posadowienie maszyn na elementach elastycznych oraz na ekranowanie akustyczne takich zespołów jak: silnik spalinowy, sprężarki, wentylatory. Znaczne zmniejszenie hałasu na zewnątrz lokomotywy uzyskuje się przez pokrywanie wewnętrznych powierzchni pomieszczeń materiałami dźwiękochłonnymi w postaci płyt dźwiękochłonnych czy natryskiwanie odpowiednimi tworzywami.

W procesie projektowania należy zwrócić uwagę (dobrze mieć również wyniki badań eksploatacyjnych) na elementy, które należy tak zmienić konstrukcyjnie (lub usztywnić), aby ich drgania własne nie pokrywały się z drganiami wymuszonymi (rezonans), wywołanymi przez pracę maszyn w pojeździe.

Wysoki poziom hałasu wywoływany jest przez nieprawidłowo zaprojektowane i umieszczone tłumiki oraz układy ssące powietrze do wentylatorów. odpowiednie znaczenie w tym względzie ma właściwa szczelność podłogi, pokryw, drzwi, okien oraz wszelkiego rodzaju otworów przelotowych w ścianach i w podłodze, przez które przeprowadzone są kable, rury, ciągną itp., szczelność tych otworów ma duże znaczenie, chociaż często nie poświęca się jej właściwej uwagi. Konstruktor powinien również wprowadzać przerwy, tzw. mostki akustyczne, umożliwiające przenoszenie się dźwięków w materiale, np.: między ścianami, rurami itp.

Szczególne znaczenie należy przywiązywać do doboru i stosowania odpowiednich materiałów, które nie tylko powinny tłumić hałas, ale równocześnie być odporne na działanie wody, smarów, paliwa, temperatury, korozji i starzenia się oraz zapewnić

wymaganą izolację cieplną. Do izolacji i tłumienia drgań stosowane są takie materiały jak: ciężkie maty i płyty faliste z tworzywa sztucznego tłumiące hałas oraz pływy przekładkowe tłumiące drgania, stosuje się włókna szklane, drewno, gumę (miękką i średnio twardą), jak również folię.

Dla zachowania odpowiednio niskiego poziomu hałasu bardzo istotne jest zapewnienie fachowego i prawidłowego montażu, jak również utrzymanie tego stanu podczas całego procesu eksploatacji pojazdu. Pomiar emitowanego hałasu powinno się przeprowadzać nie tylko podczas badań homologacyjnych, ale również dla każdego pojazdu przekazywanego do eksploatacji w zakładzie produkcyjnym i naprawczym. W przypadku gdy pomiary wykażą niezadawalające wyniki w stosunku do wymaganych, należy przeprowadzić odpowiednie zabiegi doprowadzające do wymaganego stanu. Wyegzekwowanie takiego sposobu postępowania jest jedyną metodą skutecznego zwalczania hałaśliwości lokomotyw.

Okres eksploatacji lokomotyw spalinowych wynosi 35 lat i więcej, z tych to względów należy mieć na uwadze nie tylko lokomotywy nowo produkowane, ale również i te, które są eksploatowane, a niedostosowane do obniżonej emisji hałasu. Należy więc dokonywać racjonalnej modernizacji z uwzględnieniem: ogólnego stanu pojazdu, przewidywanego okresu eksploatacji, stanu pojazdu pod względem emitowanego hałasu, liczby tego typu pojazdów, kosztów modernizacji oraz przewidywanego poziomu hałasu po rekonstrukcji. Dopiero pełna analiza wymienionych kryteriów pozwala na podjęcie decyzji o celowości modernizacji lokomotyw. Kryteria te szczegółowo zostały opracowane i zestawione w sprawozdaniu EERI C137/RP1 *Kryteria decyzji i schemat postępowania w przedsięwzięciach dotyczących zmniejszenia hałasu i drgań w starszych pojazdach kolejowych*.

Metody pomiarów oraz wartości dopuszczalnego hałasu ujęte są w normie PN-92/K-11000 (*Tabor kolejowy. Hałas. Ogólne wymagania i badania*).

Hałas zewnętrzny lokomotyw spalinowych uzależniony jest od prędkości jazdy i nie powinien przekraczać, np. w odległości 25 m 87 dB(A) przy prędkości 80 km/h i 99 dB(A) przy prędkości 200 km/h. Natomiast w odległości 7,5 m podczas ruszania wielkość hałasu uzależniona jest od zainstalowanej mocy w lokomotywie; przy mocy do 300 kW – 87 dB(A), a przy mocy 300–1000 kW – 91 dB(A), powyższej 1000 kW – ok. 95 dB(A). Hałas wewnętrzny na stanowisku maszynisty i pomocnika nie powinien przekroczyć 78 dB(A).

### Zużycie energii a ochrona środowiska

Oszczędność energii w trakcji spalinowej ma ścisły związek z ochroną środowiska, a w wielu przypadkach poprzez propagowanie form oszczędności zbiorowej czy indywidualnej możemy więcej uzyskać dla środowiska niż przez odwoływanie się do samej świadomości ekologicznej.

Poprzez oszczędność energii należy rozumieć takie działania, które prowadzą do zmniejszenia jednostkowego zużycia energii (gram paliwa na przewiezienie jednej tony towarowej lub jednego pasażera na odległość 1 km), co wyrażone jest w [g/tkm] lub [g/pas.km]. Wystąpi wówczas globalne zmniejszenie zużycia energii, a tym samym mniejsze zanieczyszczenie środowiska. Zanieczyszczenie środowiska może wystąpić w różnych formach w całym rozpatrywanym zakresie eksploatacji (dystrybucja paliwa, ruch lokomotywy i innych) [1].

Mając na uwadze, że jednostkowe zużycie paliwa jest znacznie mniejsze od transportu drogowego (około 3,5 razy), równocześnie transport kolejowy jest bardziej podatny na dalsze działania w tym zakresie. Wynika to z faktu, że transport kolejowy korzysta z wydzielonych i bezkolizyjnych dróg transportu, gdzie można wprowadzać w pełni zautomatyzowany minimalno-energetyczny proces przemieszczania, z zastosowaniem sterowania centralnego lub autonomicznego. Po drugie, prowadzenie pociągu jak i obsługa techniczna są wykonywane przez profesjonalne zespoły ludzkie.

Na zużycie paliwa przez lokomotywy spalinowe ma wpływ:

- charakter pracy lokomotywy,
- konwersja energii w lokomotywie,
- racjonalna praca układów i urządzeń pomocniczych,
- stan techniczny lokomotywy (rola zaplecza technicznego),
- racjonalne prowadzenie pociągu w aspekcie energetycznym.

Wyniki badań różnych zarządów kolejowych wskazują jednocześnie, że kompleksowy zespół działań w tym zakresie umożliwia zmniejszenie zużycia paliwa w procesie eksploatacji lokomotyw spalinowych o 10% [1]. Do głównych kierunków w tym zakresie należy zaliczyć zmniejszenie zużycia energii przez urządzenia pomocnicze (napęd wentylatora układu chłodzenia silnika spalinowego, chłodzenia maszyn elektrycznych tak, aby utrzymać stałą temperaturę izolacji uzwojeń – oszczędności w zużyciu energii ponad 50%, racjonalny napęd sprężarki oraz wiele innych działań).

Racjonalizacja ruchu pociągu daje największe możliwości oszczędności energii. Jest to uzależnione od istniejącego stanu

technicznego i organizacyjnego pionu użytkowania oraz niedociągnięć wynikających z przyczyn nie tylko obiektywnych. Do głównych działań w tym zakresie należy zaliczyć: racjonalny skład pociągu, prowadzenie pociągu na optymalnych pozycjach nastawnika jazdy w aspekcie energetycznym, umiejętne wykorzystanie energii kinetycznej pociągu oraz pełne wykorzystanie wybiegu pociągu. Przykładowo nieplanowe zatrzymanie pociągu o masie 2000 ton przy prędkości 60 km/h powoduje wzrost zużycia paliwa o około 50 kg.



#### Literatura

- [1] Gronowicz J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2004.
- [2] Kowalewicz A.: *Systemy spalania szybkoobrotowych silników spalinowych*. WKiŁ, Warszawa 1990.
- [3] Merksiz J.: *Ekologiczne aspekty stosowania silników spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1994.
- [4] Sadowski J., Engel Z.: *Stan zagrożenia hałasem i wibracjami*. Aura 8/1988.
- [5] Stawrowski S.: *Transport a człowiek i ochrona środowiska naturalnego*. Przegląd Komunikacyjny 9-10/1991.
- [6] Wojciechowska A., Wojciechowski T.: *Motoryzacyjne zanieczyszczenia środowiska*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Bielsko-Biała 1991.
- [7] Pielecha I., Pielecha J.: *Tendencje w przepisach dotyczących emisji związków toksycznych przez silniki spalinowe pojazdów szynowych*. Pojazdy Szynowe 1/2005. Wydawnictwo Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu.

## Obudowy dla potrzeb techniki kolejowej



Firma Schroff, członek Pentair Enclosures Group, jest jedną z wiodących w świecie firm w zakresie projektowania, produkcji i dostaw obudów dla potrzeb elektroniki, telekomunikacji, teledystrybucji, automatyki przemysłowej (systemy sterowania i nadzoru w technice drogowej i kolejnictwie).

Ponad 40-letnie doświadczenie, wiele zakładów produkcyjnych, rozwinięta sieć dystrybutorów i part-

nerów handlowych zapewniają wysoką jakość produkcji (atesty: DIN ISO 9001, 14001) oraz świadczenie usług na całym świecie. Elastyczność rozwiązań, modułowość, funkcjonalność, zgodność ze światowymi normami, pełna gama akcesoriów montażowych – to główne cechy naszych obudów.

#### Dla aplikacji w technice kolejowej polecamy:

- szafy wewnętrzne serii VARISTAR (29U do 47U, EMC, IP55);
- szafy zewnętrzne serii UNIBODY, MODULAR (AL, IP 55, EMC);
- eurokasety serii EUROPAC PRO (3U do 6U, gł. 275–475 mm, EMC, standardy DB i SNCF);
- systemy AdvancedTCA, CompacPCI, VME/VME64 x;
- rozwiązania indywidualne.

#### Projekty i referencje [www.schroff.de](http://www.schroff.de)

Zapraszamy na VI Międzynarodowe Targi Kolejowe TRAKO 2005, Gdańsk, 12–14.10.2005 r.  
Stoisko nr 40, hala 4

# Schroff®

Schroff GmbH (Sp. z o.o.) - oddział w Polsce  
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 19A  
tel. + 48 22 607 06 16, fax + 48 22 607 06 21  
e-mail: [info@schroff.pl](mailto:info@schroff.pl) [www.schroff.pl](http://www.schroff.pl)

Dystrybutor:  
CSI Computer Systems for Industry  
31-149 Kraków, ul. Balicka 12A/B3  
tel. + 48 12 637 13 55, fax + 48 12 638 37 50  
e-mail: [schroff@csi.net.pl](mailto:schroff@csi.net.pl) [www.csi.net.pl](http://www.csi.net.pl)