

Dr inż. Janusz Poliński
Mgr inż. Beata Piwowar
Centrum Naukowo-Badawcze Kolejnictwa

OGRANICZENIA PRĘDKOŚCI NA LINIACH KOLEJOWYCH A WIELKOŚĆ EMISJI CO₂

SPIS TREŚCI

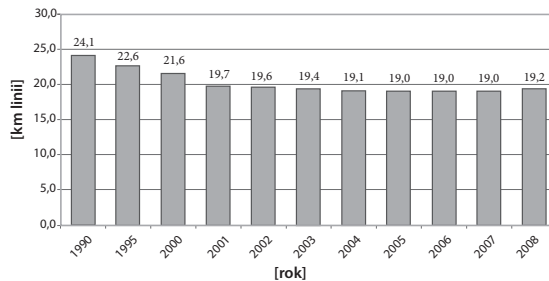
1. Sieć kolejowa w Polsce
2. Rodzaje ograniczeń prędkości
3. Energochłonność transportu
4. Kilka słów o spalaniu węgla i emisji CO₂
5. Ograniczenia prędkości a zużycie energii elektrycznej
6. Odcinek doświadczalny poddany analizie
7. Zakończenie

STRESZCZENIE

Wszelkie ograniczenia prędkości powodują konieczność ograniczenia prędkości pociągów. Wzrost prędkości jest związany ze zwiększonym zużyciem energii. Wpływa to na wydłużenie czasu przewozu osób lub ładunków, zwiększa koszty przewozu i wpływa pośrednio na wzrost emisji CO₂. Zaniedbania związane z jakością infrastruktury drogowej wpływają na wzrost kosztów eksploatacyjnych, spadek jakości oferty przewozowej i wzrost emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

1. SIEĆ KOLEJOWA W POLSCE

Od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia długość eksploatowanych linii kolejowych systematycznie zmniejszała się z powodu wyłączenia z eksploatacji nierentownych odcinków, na których likwidowano przewozy pasażerskie i towarowe lub zawieszano ruch pociągów. W latach 1990 – 2001 nastąpiło największe ograniczenie długości eksploatowanych linii kolejowych. Od 2002 r. proces zamykania linii uległ spowolnieniu, a według statystyki PKP PLK S.A. od 2005 r. długość eksploatowanych linii kolejowych nie ulega radykalnemu zmniejszaniu. Obserwuje się nawet przywracanie do eksploatacji linii, na których ruch pociągów został zawieszony. Tendencję w tym zakresie przedstawiono na rysunku 1, nie oznacza to jednak, że taka tendencja utrzyma się w następnych latach.



Rys. 1. Zmiany długości eksploatowanych linii PKP w latach 1990 – 2008 [3, 7]

Aktualnie eksploatowana kolejowa infrastruktura drogowa podlega systematycznemu dostosowywaniu do zmieniających się potrzeb przewozowych. Warto przytoczyć tu podstawowe dane, aktualne na koniec 2007 roku:

- długość linii kolejowych wynosiła 18 993,276 km (w tym linie eksploatowane 1 553,284 km), tj. 36 934 km torów (w tym nieeksploatowanych 1 979,950 km), z czego 27 580,267 km to tory szlakowe i główne zasadnicze, a 9 354,149 km tory stacyjne (w tym nieeksploatowane 543,727 km),
- na eksploatowanej sieci znajdowało się 43 905 rozjazdów (w tym nieeksploatowanych 1 882), w tym 18 470 rozjazdów w torach szlakowych i głównych zasadniczych.

Na tej infrastrukturze w 2007 r. zrealizowano następującą pracę eksploatacyjną: 228 255 207 – pociągokilometrów, 161 976 195 601 – brutto-tonokilometrów. Z powodu niewystarczających środków kierowanych na naprawy, stan infrastruktury drogowej ulega systematycznemu pogarszaniu, co wpływa na obniżanie prędkości handlowych.

2. RODZAJE OGRANICZEŃ PRĘDKOŚCI

Ograniczenia prędkości pociągów mogą mieć charakter stały (np. spowodowany małym promieniem łuków lub brakiem skrajni) lub okresowy – spowodowany prowadzeniem prac modernizacyjnych, budową wiaduktu, tuneli itp. Mogą to być ograniczenia punktowe (przejazd kategorii „D”, zły stan rozjazdu) lub liniowe (zły stan podkładów, nadmierne zużycie szyn). Obniżanie prędkości maksymalnych lub handlowych w kolejnych rozkładach jazdy pociągów wiązało się z rosnącą liczbą ograniczeń stałych, wynikających z braku środków finansowych na ich usuwanie. Na koniec 2007 r. na sieci kolejowej administrowanej przez PKP PLK S.A. obowiązywało 7 501 ograniczeń prędkości na długości 3 967,618 km, w tym na torach szlakowych i głównych zasadniczych na stacjach wystąpiło 5 259 ograniczeń prędkości na długości 3 212,285 km. Z powodu złego stanu infrastruktury wprowadzono 5 238 ograniczeń prędkości na długości 3 232,765 km, w tym w torach szlakowych i głównych zasadniczych 3 238 ograniczeń prędkości na długości 2 534,697 km. Głównymi przyczynami obniżenia prędkości po-

ciągów są w wielu wypadkach zaległości w dostosowywaniu obiektów inżynierskich do zmieniających się parametrów eksploatacyjnych w zakresie prędkości, dopuszczalnych nacisków, a także eksploataowania podkładów o przekroczonym okresie żywotności. Długość eksploatowanych torów z dopuszczalną prędkością pociągów wg rozkładów jazdy na lata 2006/2007 i 2007/2008 przedstawiono w tablicy 1.

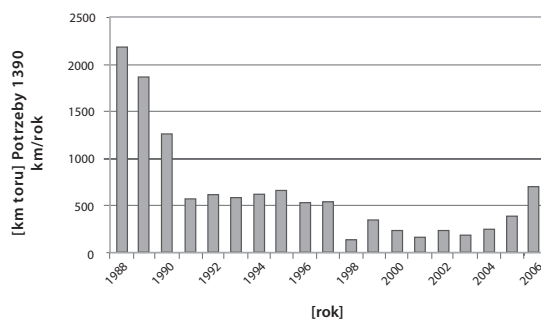
Tablica 1

Długość eksploatowanych torów z dopuszczalną prędkością pociągów według rozkładu jazdy [3, 7]

Przedział prędkości [km/h]	Rozkład jazdy 2006/2007		Rozkład jazdy 2007/2008		Rozkład jazdy 2008/2009	
	Długość torów [km]	Udział [%]	Długość torów [km]	Udział [%]	Długość torów [km]	Udział [%]
$V \geq 160$	1 304	4,7	1 307	4,7	1 493	5,0
$120 \leq V < 160$	4 177	15,2	4 460	16,2	4 011	14,0
$80 \leq V < 120$	10 514	38,2	10 140	36,8	10 482	39,0
$40 \leq V < 80$	9 778	35,5	9 600	34,8	9 259	33,0
$V < 40$	1 775	6,4	2 073	7,5	2 534	9,0
Razem	27 548	100	27 580	100	27 779	100

Według wykazów ostrzeżeń stałych z ostatnich lat załączonych do wewnętrznych rozkładów jazdy pociągów, najczęściej spotykanymi ograniczeniami są:

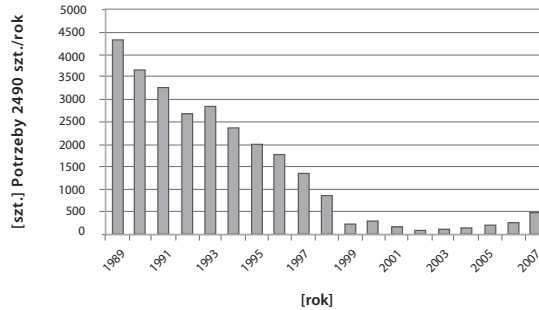
- zły stan toru (rys. 2),



Rys. 2. Realizacja wymian torów na tle potrzeb [7]

- deformacja toru,
- ograniczona widzialność np. przejazdu drogowego,
- zły stan budowli (mostu, przepustu, wiaduktu),

- zły stan podkładów,
- zły stan rozjazdów (rys. 3),



Rys. 3. Realizacja wymian rozjazdów na tle potrzeb [7]

- niewłaściwy układ geometryczny toru, rozjazdu,
- zużycie szyn,
- brak zachowania skrajni,
- niestabilizowany tor,
- nierówności w planie i profilu rozjazdu, toru,
- czynne szkody górnicze.

Stan techniczny przejazdów kolejowych w Polsce zagraża bezpieczeństwu ludzi. W lipcu 2000 r. Najwyższa Izba Kontroli stwierdziła w Raporcie nr 145/2000, że (...) *przejazdy są w wielu przypadkach nie oznakowane, źle widoczne, a niektórzy pracownicy PKP źle obsługują roгатki(...)* Ponadto z raportu NIK wynikało, że pomimo ograniczenia ruchu kolejowego, stan bezpieczeństwa na przejazdach kolejowych nie ulega poprawie. Jest to winą zarówno sprzętu, jak i ludzi. Izba podała, że 40% wypadków na przejazdach z roгатkami w latach 1997 – 1999, spowodowali pracownicy kolei. Kontrolerzy NIK uznali, że wypadki mogą być efektem wadliwego działania urządzeń przejazdowych, zwłaszcza pochodzących z lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Urządzenia te przeważnie nie mają aktualnych świadectw dopuszczenia do eksploatacji. Mogą też powstawać z winy niedopatrzania pracowników kolei, na przykład wówczas, gdy za późno zamykają lub za szybko otwierają roгатki po przejeździe pociągu. Należy wspomnieć, że w 2000 r. Polskie Koleje Państwowe przeprowadziły kontrolę przejazdów kolejowych, która wykazała, że 17% przejazdów ma wady techniczne [6]. Nieprawidłowości dotyczyły przede wszystkim stanu technicznego, niekompletnego oznakowania oraz wadliwego działania sterowników i sygnalizacji świetlnej. Poprawa bezpieczeństwa na przejazdach kategorii „D” [8] jest realizowana (...) *poprzez przekwalifikowanie ich do wyższej kategorii (A, B lub C) i eliminację przejazdów kat. „D” o małym iloczynie ruchu. Działania te prowadzone są głównie na modernizowanych liniach kolejowych. (...).* Należy zauważyć, że bez włączenia zarządców dróg do współodpowiedzialności za bez-

pieczeństwo na przejazdach oraz współfinansowania utrzymania i modernizacji skrzyżowań jednopoziomowych i budowy dwupoziomowych skrzyżowań poprawa bezpieczeństwa w przedmiotowym zakresie zależeć będzie od możliwości finansowych PKP PLK S.A. (...) przejazdów kategorii „D” jest 8 333, a przekwalifikowanie jednego przejazdu, np. z kat. D na kat. B, kosztuje ok. 700 tys. zł i pozostaje ono nadal skrzyżowaniem w jednym poziomie, choć o zwiększonym poziomie bezpieczeństwa (...) [2]. Liczby przejazdów kolejowych poszczególnych kategorii na sieci kolei polskich zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Liczba przejazdów kolejowych

Kategoria przejazdu	2006	2007	
	Eksploatowanych	Eksploatowanych	Ogółem
A	2893	2834	2890
B	502	561	570
C	1305	1303	1324
D	8330	8333	10165
E	511	502	522
F	683	682	820
Razem	14224	14215	16291

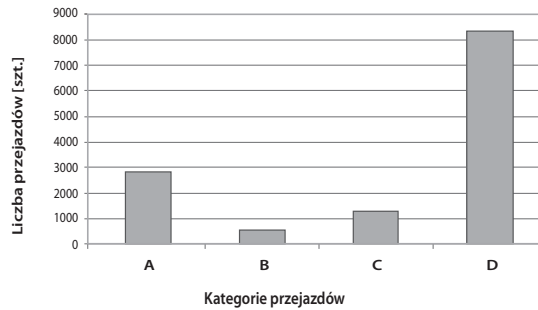
Przejazd kategorii A – przejazd użytku publicznego z rogatkami lub przejazdy użytku publicznego bez rogatek, na których ruch na drodze kierowany jest sygnałami nadawanymi przez pracowników kolejowych.

Przejazd kategorii B – przejazd użytku publicznego z samoczynną sygnalizacją świetlną i z półrogatkami.

Przejazd kategorii C – przejazd użytku publicznego z samoczynną sygnalizacją świetlną lub uruchamianą przez pracowników kolei.

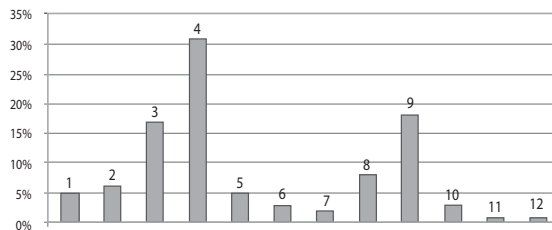
Przejazd kategorii D – przejazd użytku publicznego bez rogatek oraz półrogatek i bez samoczynnej sygnalizacji świetlnej. Do kategorii „D” zalicza się przejazdy użytku publicznego na skrzyżowaniach linii kolejowych z drogą: krajową ogólnodostępną oznaczoną numerem trzycyfrowym, wojewódzką, gminną lub lokalną miejską albo zakładową, jeśli przejazd odpowiada warunkom widoczności określonym w załączniku 1 do rozporządzenia [8] i iloczyn ruchu jest mniejszy od 20 000. Bez względu na warunki widoczności, prędkość pojazdów szynowych na przejeździe tej kategorii jest ograniczona do 20 km/h.

W 2007 r. na sieci kolei polskich znajdowało się 14 215 eksploatowanych przejazdów kolejowych, podczas gdy w 2004 r. było ich 16 017. Na rysunku 4 przedstawiono liczbę poszczególnych rodzajów przejazdów na liniach kolejowych w Polsce.



Rys. 4. Liczba przejazdów poszczególnych kategorii [opracowanie własne]

Jeżeli przyjąć, że na liniach kolejowych objętych umowami TEN, AGC i AGTC nie istnieją przejazdy kolejowe kategorii „D” (ok. 5 700 km linii), to oznacza znacznie większe nasycenie takimi przejazdami pozostałych linii kolejowych. Należy zatem założyć, że w ujęciu statystycznym, przejazdy tej kategorii znajdują się średnio na pozostałej sieci kolejowej w Polsce co 1600 m. Warto przy tym przedstawić strukturę pracy eksploatacyjnej według rodzajów pociągów (rys. 5).



Rys. 5. Struktura pracy eksploatacyjnej w 2007 roku według rodzajów pociągów [7]: 1) pojazdy luzem, 2) pociągi pasażerskie kwalifikowane, 3) pociągi pasażerskie międzywojewódzkie, 4) pociągi pasażerskie regionalne, 5) szynobusy, 6) pociągi towarowe TX, TP, TE, 7) pociągi towarowe intermodalne TEC, TXC, 8) pociągi towarowe do przewozów masowych TL, TN, 9) pociągi towarowe do przewozów masowych TM, TG, 10) pociągi zdawcze TK, 11) pociągi utrzymaniowe, 12) inne pociągi

3. ENERGOCHŁONNOŚĆ TRANSPORTU

Przewozy osób i towarów generują systematyczny rozwój motoryzacji, ta z kolei zużywa coraz większe ilości energii. Warto przy tym zaznaczyć, że przynajmniej w odniesieniu do Polski, energia jest prawie całkowicie uzależniona od paliw ropopochodnych i węgla. To z kolei jest związane z emisją gazów cieplarnianych. Jak słusznie stwierdził prof. Wojciech Suchorzewski (...) *wszelkie ograniczania energii są wyzwaniem trudnym, ponieważ nie będzie pod tym względem sukcesu, kiedy nie nastąpi zmiana*

stylu życia i modelu konsumpcji, a także zagospodarowania otoczenia warunkującego mobilność i transportochłonność (...).

Mówiąc o wielkościach globalnych, transport odpowiada za emisję ponad 20% gazów cieplarnianych. Wskaźnikiem, który charakteryzuje energochłonność poszczególnych rodzajów transportu jest zużycie energii pierwotnej odniesione na jednostkę pracy przewozowej pasażero-kilometr lub tono-kilometr. W wypadku Polski łatwo jest przeliczyć te wielkości na wielkość emisji gazów cieplarnianych. Trudniej jest to obliczyć np. w Szwajcarii, gdzie stosunkowo duży procent energii jest uzyskiwany z elektrowni wodnych lub w państwach korzystających z energetyki jądrowej. Dotychczasowe analizy poświęcone energooszczędności są połączone z działaniami dotyczącymi m.in.:

- konstrukcji środków transportowych i zastosowanych źródeł napędu,
- większego wykorzystania transportu wodnego i szynowego,
- rozwoju transportu publicznego w przewozach pasażerskich i intermodalnego w towarowych,
- logicznego, a następnie logistycznego układu sieci transportowych itp.

W ciągu kilkunastu lat w systemie transportowym Polski można zauważyć, że nastąpiły duże zmiany mające bezpośredni związek z zużyciem energii. O 55% spadły przewozy towarów koleją, gdyż przejął je transport samochodowy. Zmalała również liczba przewożonych pasażerów. W 2000 r. kolej w Polsce przewiozła w ciągu roku 5,5 miliarda osób, czyli mniej o 3,5 miliarda osób niż w 1985 r. W tablicy 3 przedstawiono strukturę emisji spalin pojazdów trakcyjnych i pojazdów samochodowych.

Tablica 3

Porównanie szacunkowej emisji spalin spalinowych pojazdów trakcyjnych i pojazdów samochodowych [6]

Składniki spalin	Emisja spalin [%]	
	Kolejowe spalinowe pojazdy trakcyjne	Pojazdy samochodowe
tlenek węgla (CO)	1,3	98,7
dwutlenek węgla (CO ₂)	2,6	97,4
węglowodory (HC)	2,5	97,5
tlenki azotu (NO _x)	10,5	89,5
dwutlenek siarki (SO ₂)	18,2	81,8

Problematyka emisji składników toksycznych spalin do atmosfery będzie się zapewne zwiększała wraz ze starzeniem się taboru trakcji spalinowej (zwłaszcza lokomotyw liniowych (rys. 6), które to lokomotywy coraz częściej pojawiają się u prywatnych

przewoźników (np. lokomotywy liniowe typu ST 43, ST44). Stąd też jedynym elementem ograniczającym te emisje staje się konieczność dążenia do wymiany przestarzałych silników na czterosuwowe nowoczesne silniki o minimalnym oddziaływaniu na środowisko. Dla przykładu warto pokazać powszechnie stosowane na wschodzie lokomotywy spalinowe, np. typu ETZ10M stosowane na Ukrainie, które niczym nie różnią się od eksploatowanych w przeszłości parowozów (rys. 7).



Rys. 6. Lokomotywa SU 46 w Legnicy [Autor: A. Massel]



Rys. 7. Przykład emisji spalin przez lokomotywę spalinową ETZ10M na Ukrainie
[Źródło: [http://www.parovoz.com/newgallery/pg_view.php?ID \(...\)](http://www.parovoz.com/newgallery/pg_view.php?ID (...)), dostęp 5 lutego 2009]

Wyznaczanie emisji składników toksycznych spalin (w tym m.in. CO₂, tlenki siarki, tlenki azotu) można przeprowadzić [4]:

- metodą homologacyjną,
- z wykorzystaniem danych technicznych producenta silnika,
- na podstawie szacowania wielkości niezbędnych do obliczeń.

Z chwilą zakończenia przeprowadzanych analiz należy dokonać porównania wartości z pomiarów z tymi wartościami, które są zawarte w stosownych normach, kartach UIC, a także dyrektywach Parlamentu Europejskiego (tabl. 4).

Tablica 4

Limity spalin według dyrektywy 2004/26 [5]

Data wprowadzenia (obowiązująca)		Typ pojazdu trakcyjnego, moc P [kW]	Emisja [g/kWh]				
			CO ₂	HC	HC+NO	NO _x	PM
IIIA	RCA 01.07.05/01.01.06*	wagon motorowy, P>130	3,5	–	4	–	0,200
	RLA 01.01.06/01.01.06*	lokomotywa, 130< P<560	3,5	–	4	–	0,200
	RHA 01.01.08/01.01.09*	lokomotywa, P>560	3,5	0,50	–	6,0	0,200
	RHA 01.01.08/01.01.09*	lokomotywa, P>2000; pojemność cylindra > 5 dm ³	3,5	0,40	–	7,4	0,200
IIIB	RCB 01.01.11/01.01.12*	wagon motorowy, P>130	3,5	0,19	–	2,0	0,025
	RB 01.01.11/01.01.12*	lokomotywa, P>130	3,5	–	4	–	0,025

* Data wejścia w życie dla procedur dopuszczenia/data wejścia w życie w eksploatacji.

4. KILKA SŁÓW O SPALANIU WĘGLA I EMISJI CO₂

Węgiel stanowi najobficiej występujące paliwo kopalne. Ta kopalina zaspokaja dziś ponad 23% potrzeb energetycznych świata, a jej udział w procesie wytwarzania energii elektrycznej stanowi blisko 40%. Prognozy energetyczne w dalszym ciągu uwzględniają dominującą rolę paliw kopalnych w światowym bilansie energetycznym. Przy obecnym poziomie wiedzy oraz technologii nie jest możliwe zastąpienie ich żadnym innym nośnikiem energii. Przewiduje się, że w ciągu najbliższych 25 – 30 lat bardzo szybko wzrośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną, a ten wzrost osiągnie blisko 3/4 obecnego zużycia. Na wzrost wpłynie przede wszystkim gospodarka krajów szybko rozwijających się, takich jak Indie i Chiny.

Istniejące sposoby przetwarzania energii pierwotnej na uszlachetnione formy z jednej strony mają wpływ na bezpieczeństwo dostaw energii, z drugiej wpływają na środowisko, a pośrednio na bezpieczeństwo i zdrowie ludzi. Chemiczna budowa związków występujących w węglu pozwala na wyodrębnienie przynajmniej trzech grup substancji – organicznej, nieorganicznej oraz wody. Proces spalania węgla jest źród-

tem skażenia atmosfery lotnymi produktami spalania. Większość składników spalin można uznać za zanieczyszczające środowisko naturalne. Powstają w jego trakcie także odpady paleniskowe – popiół i żużel. W elektrowniach dysponujących instalacjami odsiarczania spalin występują ponadto odpady stałe, pochodzące z tych instalacji.

Systematyczny rozwój technologii spalania węgla w elektrowniach doprowadził do sytuacji, w których ten proces jest coraz bardziej efektywny. Coraz mniej węgla potrzeba do wyprodukowania 1 kWh energii elektrycznej. W XX wieku sprawność cieplna urządzeń związanych z procesem spalania węgla wzrosła ponad ośmiokrotnie. Prowadzono w tym czasie wiele prac nad podniesieniem efektywności energetycznej i ekonomicznej procesów spalania. W dzisiejszych czasach dodano do tego efektywność ekologiczną. Prowadzono także prace zmierzające do rozwoju, tzw. czystych technologii węglowych. Najnowsze technologie uszlachetniania węgla pozwalają na wyprodukowanie paliwa o zawartości popiołu poniżej 0,25% i małej zawartości siarki. Umożliwia to spalanie pyłu węglowego ze sprawnością przekraczającą 50%. Odbyna się to w turbinach gazowych specjalnej konstrukcji w tzw. cyklu kombinowanym. W tej technologii (IGCC) nie spala się węgla bezpośrednio. Najpierw pył węglowy poddaje się reakcji chemicznej z tlenem i parą wodną, wytwarzając tzw. gaz syntezowy, który składa się w dużej części z wodoru i tlenku węgla. Ten system daje bardzo niskie emisje gazów cieplarnianych i zapewnia inne korzyści ekologiczne.

Warto przy tym zauważyć, że duże znaczenie przykłada się do emisji CO₂ zwłaszcza w aspekcie ograniczania jego emisji, co wynika z tzw. Protokołu z Kioto. Stąd też ograniczenie emitowania dwutlenku węgla do atmosfery uzyskuje się obecnie wieloma sposobami, np. przez wzbogacanie lub brykietowanie węgla, a więc zgazowanie metodą kombinowaną lub zgazowanie zintegrowane. Prowadzone są prace nad wychwytywaniem, magazynowaniem a także usuwaniem CO₂ w taki sposób, aby związek ten nie przedostawał się do atmosfery. Warto tu wspomnieć o działaniach podejmowanych w Stanach Zjednoczonych w tym zakresie. Uruchomiono tam bardzo duży projekt badawczy „FutureGen”, którego budżet wynosi 1 mld dolarów. Jego celem jest zbudowanie systemu wykorzystującego zintegrowanie spalania węgla w systemie kombinowanym, z jednoczesnym wychwytywaniem i magazynowaniem CO₂. Taka instalacja byłaby wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej. Zakłada się przy tym, że cena energii byłaby ok. 10% wyższa od ceny energii uzyskiwanej w obecnych elektrowniach konwencjonalnych, wyposażonych w najnowocześniejszą technikę. Dąży się do takiego skonstruowania systemu, aby mógł on być powszechnie wykorzystywany.

Równie duże programy z tego zakresu są uruchomione przez Unię Europejską (Projekt AD), Kanadę (Projekt CANMET), Australię (COAL21) czy Japonię (projekt EAGLE). Ponieważ wyprodukowanie energii elektrycznej jest związane m.in. z emisją CO₂, jest bardzo ważne racjonalne gospodarowanie energią elektryczną. Według opublikowanych w 2007 r. danych Międzynarodowego Panelu ds. Zmian Klimatu, przez ostatnie 100 lat średnia temperatura przy powierzchni Ziemi wzrosła o 0,74°C, z czego ponad połowa tej wartości przypada na okres od 1979 r. Centrum Badań Atmosfery (NCAR) analizuje zmiany klimatu na podstawie programu CCSM (*Community Climate System*

Model). Na jego podstawie obliczono, że jeśli na Ziemi, w dalszym ciągu tak powszechnie będą spalane paliwa kopalne (w każdej sekundzie emituje się 1 000 ton dwutlenku węgla), to do końca wieku temperatury wzrosną średnio o 2,2 °C. Może to spowodować topnienie lodowców i podniesienie poziomu mórz nawet o kilka metrów. Aby uniknąć takiego scenariusza, naukowcy posługujący się programem CCSM sądzą, że w najbliższym czasie należy zmniejszyć emisję CO₂ nawet o 70%. W odniesieniu do warunków polskich, będzie istotne ograniczanie zużycia energii elektrycznej, która w zdecydowanej większości jest produkowana z węgla.

W dalszych rozważaniach niezwykle istotne są informacje dotyczące produkcji energii elektrycznej z węgla. Dla polskich elektrowni, produkujących energię elektryczną z węgla kamiennego należy zakładać, że wyprodukowanie 1 kWh energii wymaga spalania 0,3 – 0,42 kg węgla kamiennego. Trzeba założyć, że wyprodukowanie 1 kWh energii elektrycznej z węgla kamiennego wiąże się z emisją 1 kg CO₂. Warto przy tym dodać, że wyprodukowanie 1 kWh energii elektrycznej z ropy naftowej wywołuje emisję 0,7 kg CO₂, z gazu ziemnego zaś – 0,4 kg CO₂. Należy także nadmienić, że średnia cena 1 kWh energii elektrycznej, kupowanej przez kolej jest różna w poszczególnych rejonach kraju. W dalszych rozważaniach można jednak przyjąć, że wynosi ona średnio 0,32 gr/kWh.

5. OGRANICZENIA PRĘDKOŚCI A ZUŻYCIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Popatrzmy kompleksowo na to zagadnienie z punktu widzenia kosztów. Wszelkie ograniczenia prędkości powodują:

- w wypadku przejazdów kat. „D” – powstawanie potencjalnych miejsc kolizji pojazdów drogowych z pociągami, najczęściej z ofiarami śmiertelnymi i rannymi,
- wydłużenie czasu jazdy powoduje w efekcie pogorszenie jakości oferty przewozowej,
- zmniejszenie przepustowości linii kolejowej,
- dodatkowe zużycie energii związanej z rozruchem lokomotywy zwiększającej prędkość pociągu do wartości maksymalnej.

Na przejazd każdego pociągu, dla którego obowiązuje ograniczenie prędkości, jest zużywana dodatkowa energia na rozruch, przy czym jej wartość zależy od wielu czynników, takich jak: profil linii, masa brutto pociągu, prędkość poza miejscem ograniczenia, rodzaj i typ lokomotywy. W tym wypadku szczególną rolę odgrywają ograniczenia punktowe, z którymi wiąże się konieczność hamowania i powtórnego rozruchu. Ogólnie można stwierdzić, że straty energetyczne, a więc i możliwe do uzyskania oszczędności w wyniku usunięcia ich przyczyn, są proporcjonalne do obciążenia linii o konkretnym profilu, zarówno przewozami pasażerskimi, jak i towarowymi, a konkretnie do liczby pociągów i ich mas. Bez szczegółowych analiz można stwierdzić, że w takich wypadkach wielkość zużycia dodatkowej energii jest tym większa, im większe są dopuszczalne prędkości kursowania pociągów na linii.

W tych wypadkach, w których różnica prędkości w miejscu jej ograniczenia i prędkości dopuszczalnej po minięciu ograniczenia jest niewielka, zużycie energii na rozruch jest minimalne, np. rozruch prędkości od 20 km/h do 30 km/h, wymaga zużycia mniej niż 10 kWh dla pociągu pasażerskiego i 30 – 40 kWh dla ciężkiego pociągu towarowego [1]. Jeżeli ograniczenie prędkości występuje w miejscu, gdzie rozkładowa prędkość dopuszczalna byłaby duża, strata energii na dodatkowy rozruch, np. od 20 do 120 km/h wynosi ok. 100 kWh dla pociągu pasażerskiego i ponad 300 kWh dla pociągu towarowego. Warto przy tym zaznaczyć, że pasażerski pociąg IC na trasie Warszawa Wschodnia – Poznań Główny zużywa ok. 2 500 kWh.

Istotna jest cena 1 kWh energii elektrycznej. Jest ona uzależniona m.in. od grupy taryfowej, stref czasowych, poziomu napięcia zasilania w miejscu dostarczania energii, rocznego poboru energii elektrycznej, liczby i rodzaju stref czasowych oraz wielkości stawek opłat za przyłączenie do sieci, kosztów usług przesyłowych, cen za energię elektryczną, opłat abonamentowych, bonifikat i upustów oraz opłat dodatkowych.

6. ODCINEK DOŚWIADCZALNY PODDANY ANALIZIE

Ze względu na rodzaje i liczbę ograniczeń prędkości, wybrano do analizy odcinek linii kolejowej nr 131 (według ID 12 – Wykaz linii kolejowych): Tarnowskie Góry – Zduńska Wola Karsznice. Odcinek ten charakteryzuje się jednym z większych obciążeń pociągami towarowymi na sieci PKP PLK S.A. i może być reprezentatywny dla linii układu podstawowego (linia jest objęta umową AGTC). Do dalszych rozważań wybrano pociągi kursujące codziennie lub w wybrane dni tygodnia z Górnego Śląska, Krakowa i Tarnowskich Gór do stacji rozrządowych w północnej i zachodniej Polsce, do portów w Gdyni i Szczecinie oraz do Niemiec. Obciążają cały analizowany odcinek w wypadku pociągów do Zajączkowa Tczewskiego, Gdyni, Gdańska czy Łodzi lub tylko jego część w zależności od relacji.

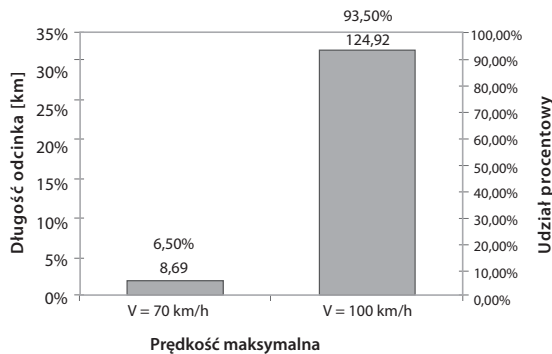
Większość pociągów na analizowanym odcinku to ciężkie pociągi w ruchu krajowym o masie do 3 200 t (masowe, liniowe, niemasowe i pospieszne). Odcinek obciążają również lekkie pociągi o masie około 1 000 ton należące do systemowych pociągów europejskich i pociągów do przewozów intermodalnych w ruchu krajowym, które kursują kilka razy w tygodniu i stanowią mały procent w stosunku do wszystkich pociągów. Do kursowania tych pociągów, zgodnie ze służbowym rozkładem jazdy, wykorzystywany jest elektryczny tabor trakcyjny serii ET22, ET40, ET42 oraz lokomotywy EU07. Zgodnie z załącznikiem 2.1. „Wykaz maksymalnych prędkości dla pociągów towarowych” do „Regulaminu przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rozkładu jazdy 2008/2009”, prawie na całym odcinku objętym analizą, prędkość maksymalna pociągów towarowych wynosi 100 km/h. W tablicy 5 i na rysunku 8, przedstawiono szczegółowy wykaz prędkości maksymalnych.

Tablica 5

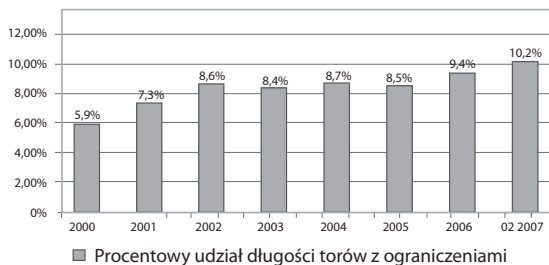
Prędkości maksymalne w kierunku nieparzystym dla pociągów towarowych na odcinku linii nr 131

Km początku odcinka	Km końca odcinka	Prędkość maksymalna [km/h]
33,900	136,853	100
136,853	145,543	70
145,543	167,510	100

Jak wynika z rysunku 8, na długości 93,5% analizowanego odcinka, prędkość maksymalna dla pociągów towarowych wynosi 100 km/h. Ze względu na stan techniczny infrastruktury, spowodowany postępującą degradacją na wielu odcinkach linii kolejowych, w ostatnich latach są wprowadzane liczne lokalne ograniczenia prędkości pociągów (rys. 9), co powoduje między innymi zmniejszenie przepustowości, wydłuża czas przejazdu, wpływa na zwiększenie zużycia energii oraz obniża konkurencyjność transportu kolejowego w stosunku do innych gałęzi transportowych.



Rys. 8. Prędkości maksymalne w kierunku nieparzystym dla pociągów towarowych na odcinku linii nr 133 [opracowanie własne]



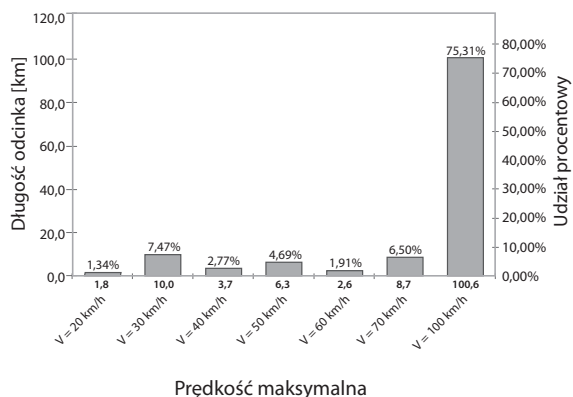
Rys. 9. Długość torów eksploatowanych z ograniczeniem prędkości [7]

Ograniczenia prędkości spowodowane złym stanem obiektów, urządzeń srk lub nawierzchni, powodujące zmniejszenie prędkości maksymalnej do 20 – 60 km/h, mają istotny wpływ na wydłużenie czasów jazdy pociągów. Wykaz maksymalnych prędkości i ograniczeń w torze numer 1 przedstawia tablica 6 i rysunek 10.

Tablica 6

Ograniczenia prędkości na analizowanym odcinku na podstawie WOS –
– ważnego od dnia 14 grudnia 2008 r.

Posterunki ruchu, szlaki lub odstępy	Km początku	Km końca	Prędkość ograniczona	Prędkość maksymalna dla pociągów towarowych	Przyczyna istniejącego stanu
Tor nr 1					
Tarnowskie Góry	34,240	34,280	20	100	Zły stan wiaduktu
	34,280	34,500	50	100	Układ geometryczny toru
Tarnowskie Góry – Tarnowskie Góry TGB	35,680	35,780	60	100	Zły stan rozjazdu nr 361, 362
Tarnowskie Góry TGE	41,000	41,100	50	100	Zły stan rozjazdu nr 1004
Kalety	47,400	49,000	30	100	Zły stan toru
Kalety – Strzebin	53,500	54,000	50	100	Rozjazdy łukowe
Boronów	58,976	60,392	20	100	Zły stan urządzeń srk oraz zły stan szyn oc
Herby Nowe – Wręczyca	78,400	79,050	60	100	Zły stan toru
Wręczyca – Kłobuck	81,500	82,500	60	100	Zły stan podkładów
Miedźno – Działoszyn	103,100	109,680	30	100	Zły stan toru i podtorza
Działoszyn – Chorzew Siemkowice	112,800	114,600	30	100	Zużycie szyn oraz zły stan podkładów
Chorzew Siemkowice – Rusiec Łódzki	128,000	129,000	50	100	Zły stan podkładów
	129,000	129,600	50	100	Zły stan podtorza
Chociw Łąski – Kozuby	147,200	148,361	40	100	Zły stan toru
	148,361	148,427	40	100	Zły stan nawierzchni na obiekcie
	148,427	150,900	40	100	Zły stan toru
	153,100	153,600	60	100	Zużycie szyn oraz zły stan podkładów
Kozuby	158,000	158,300	60	100	Zużycie szyn
Kozuby – Zduńska Wola Karsznice	159,700	163,000	50	100	Zużycie szyn, wychłapy
	165,200	165,750	50	100	Zły stan toru



Rys. 10. Prędkości w kierunku nieparzystym dla pociągów towarowych na odcinku linii nr 131 po uwzględnieniu ograniczeń [opracowanie własne]

Na podstawie tych danych należy stwierdzić, że na prawie 20% długości analizowanego odcinka (około 25 km) występują ograniczenia punktowe. Do dalszych rozważań wybrano wyłącznie pociągi stałego kursowania, obciążające cały odcinek największego licencjonowanego przewoźnika, jakim jest PKP CARGO S.A. Pominięto przewozy wykonywane przez prywatnych przewoźników kolejowych, kształtujące się na poziomie około 30% ogółu przewozów i realizowane głównie lokomotywami spalinowymi. W celu uproszczenia analiz, pociągi podzielono na trzy grupy w zależności od masy i wykorzystywanego środka trakcyjnego. Podział ten przedstawia się następująco:

- pociągi o masie 1200 t ciągnięte lokomotywą EU07,
- pociągi o masie 3000 t ciągnięte lokomotywą ET22,
- pociągi o masie 3200 t ciągnięte lokomotywą ET40.

Przyjmując powyższe założenie, oszacowano liczbę pociągów w kierunku nieparzystym w poszczególnych grupach, które obciążają analizowany odcinek w ciągu roku (tabl. 7).

Tablica 7

Średnioroczna liczba pociągów w kierunku nieparzystym

Lokomotywa	Masa	V_{max} [km/h]	Liczba pociągów
EU07	1200	90	104
ET22	3000	80	806
ET40	3200	80	1014

Dla wytypowanych pociągów wykonano teoretyczne obliczenia trakcyjne dla dwóch wariantów:

- wariant 1 – jazda z prędkością maksymalną dla pociągów towarowych na poszczególnych odcinkach linii,
- wariant 2 – jazda z prędkościami uwzględniającymi ograniczenia ujęte w „Wykazie ostrzeżeń stałych”, obowiązujących od 14 grudnia 2008 r.

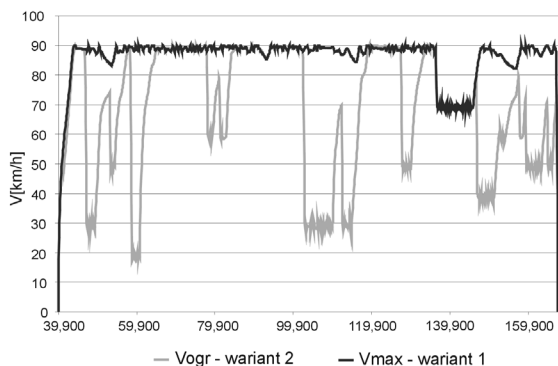
Na podstawie obliczeń określono zużycie energii i czas przejazdu pociągów poszczególnych kategorii. Wyniki obliczeń przedstawia tablica 8.

Tablica 8

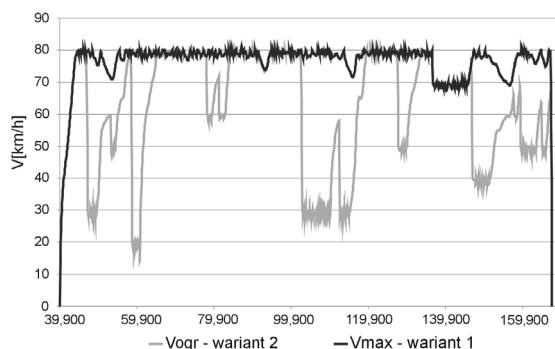
Wyniki obliczeń trakcyjnych

Typ lokomotywy/ masa brutto pociągu	Zużycie energii [kWh]		Czas jazdy [min]	
	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 1	Wariant 2
EU07-1000 t	2390,89	3012,86	90,94	131,87
ET22- 3000 t	3864,39	4991,03	102,38	141,84
ET40-3200 t	4168,01	5653,58	101,93	140,50

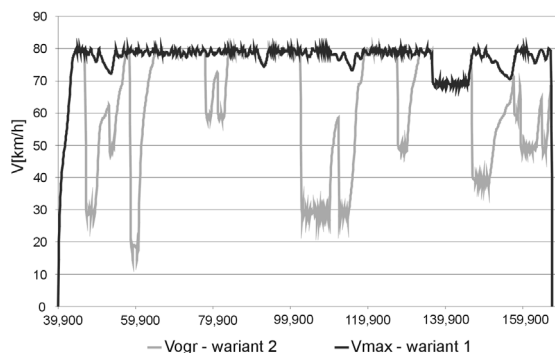
Obliczenia wykazały, że w przypadku występowania ograniczeń, czas jazdy wydłuży się o około 37 – 45% przy jednoczesnym wzroście zużycia energii o około 26-35%. Na rysunkach 11 – 13 przedstawiono wykresy jazdy pociągu, obrazujące wykorzystanie parametrów technicznych linii dla analizowanych wariantów.



Rys. 11. Wykres jazdy pociągu o masie 1 200 t [opracowanie własne]



Rys. 12. Wykres jazdy pociągu o masie 3 000 t [opracowanie własne]



Rys. 13. Wykres jazdy pociągu o masie 3 200 t [opracowanie własne]

Z przytoczonych danych wynika, że zużyta zwiększona ilość energii elektrycznej jest znacznie większa przy jeździe z ograniczeniami prędkości w stosunku do płynnej jazdy z prędkością maksymalną. Stosowne informacje przedstawiono w tabelicy 9.

Tablica 9

Wielkość zużycia dodatkowej energii elektrycznej związanej z pokonaniem ograniczeń występujących na rozważanym odcinku linii

Typ lokomotywy/ masa brutto pociągu	Zużycie energii [kWh]		Wielkość energii związanej z pokonaniem ograniczeń na kierunku nieparzystym [kWh]
	Wariant 1	Wariant 2	
EU07-1000 t	2390,89	3012,86	622
ET22- 3000 t	3864,39	4991,03	1127
ET40-3200 t	4168,01	5653,58	1486

W tablicy 10 przedstawiono informacje dotyczące rocznej wielkości zużycia energii elektrycznej na rozważanej linii. Warto przy tym podkreślić, że dotychczasowe rozważania są oparte na wyspecyfikowanych pociągach, które w zakresie masy brutto stanowią ponad 90% składów pociągów towarowych. Drugą istotną informacją jest fakt nie uwzględnienia innych przewoźników niż PKP CARGO kursujących po analizowanym odcinku. Należy tu jednak podkreślić, że te przewozy nie przekraczają 25% obciążenia linii składami prowadzonymi trakcją elektryczną. Pociągi innych przewoźników są w większości prowadzone trakcją spalinową, którą w rozważaniach przeprowadzanych w artykule pominięto.

Tablica 10

Dodatkowe zużycie energii elektrycznej związanej z pokonaniem ograniczeń prędkości przez pociągi wybrane do analizy

Typ lokomotywy/ masa brutto pociągu	Zużycie energii [kWh]		Pociągi/rok	Dodatkowo zużyta energia elektryczna [kWh]
	Wariant 1	Wariant 2		
EU07-1000 t	2 390,89	3 012,86	104	64 688
ET22- 3000 t	3 864,39	4 991,03	806	908 362
ET40-3200 t	4 168,01	5 653,58	1 014	1 506 804
Łączne zużycie energii elektrycznej na pokonanie ograniczeń w ciągu roku				2 479 854 [kWh]

Należy przy tym zaznaczyć, że jazda identyczną liczbą pociągów w kierunku parzystym jest związana ze zwiększoną liczbą ograniczeń, a więc zwiększoną ilością energii elektrycznej, wymaganej na rozruch pociągów w celu doprowadzenia prędkości jazdy do prędkości rozkładowej. Założono także, że inne pociągi prywatnych operatorów prowadzone trakcją elektryczną generują wielkość dodatkowego zużycia energii elektrycznej równego 5% obliczonych wielkości. Daje to dla rozważanego kierunku nieparzystego wartość 2 603 847 kWh. Na potrzeby niniejszego artykułu przyjęto zasadę analogicznego zużycia energii dla kierunku parzystego, pomimo większej liczby ograniczeń prędkości, niż dla kierunku nieparzystego. Dla rozważanej linii można zatem przyjąć, że tylko w wyniku stałych ograniczeń prędkości wynikających ze stanu infrastruktury torowej, mamy do czynienia z dodatkowym zużyciem 5 207 694 kWh energii elektrycznej przy wykonaniu tej samej pracy przewozowej. Ten problem nie jest obecnie brany pod uwagę, ze względu na powszechny brak liczników energii elektrycznej w lokomotywach elektrycznych.

Aby oszacować wartość emisji CO₂ związanej z ograniczeniami prędkości na całej sieci linii kolejowych PKP PLK S.A. rozważania oparto na następujących założeniach:

- wzięto pod uwagę jedynie pociągi towarowe (40% pracy eksploatacyjnej),
- w zakresie pociągów towarowych, analizy zawężono jedynie do pociągów towarowych prowadzonych trakcją elektryczną (około 75% realizowanych przewozów),
- nie uwzględniono pociągów zdawczych, utrzymaniowo-naprawczych, pojazdów luzem, do i z naprawy oraz próbnych ze względu na krótkie odległości przejazdu i mały ciężar brutto (22% ruchu towarowego).

Ogółem w 2007 r. na całej sieci PKP PLK zrealizowano 228,26 mln pockm, w tym:

- 137,49 mln pockm w ruchu pasażerskim,
- 90,77 mln pockm w ruchu towarowym.

Strukturę pracy eksploatacyjnej wg przewoźników i rodzajów pociągów w 2007 r. przedstawiono na rysunku 5. Przyjmując powyższe założenia, praca eksploatacyjna zrealizowana przez pociągi towarowe przyjęte do analizy (na potrzeby niniejszego artykułu) w 2007 r. wynosiła około 54 mln poc.km. Ze względu na liczne ograniczenia prędkości przyjęto, że pociągi realizujące taką pracę przewozową spowodują wzrost zużycia energii o wartość 10,1 kWh/poc.km.

Oszacowane na podstawie teoretycznych obliczeń trakcyjnych zużycie energii elektrycznej, związanej z ograniczeniami prędkości prowadzi do wniosku, że w ruchu towarowym na sieci polskich linii kolejowych, rocznie dodatkowo zużywane jest jedynie dla części pociągów towarowych prowadzonych trakcją elektryczną różnych przewoźników około 545 mln kWh energii elektrycznej. Jest to równoważne z roczną emisją do atmosfery 545 000 ton CO₂. Wielkość ta dotyczy jedynie ograniczeń punktowych i liniowych na sieci kolejowej i pociągów towarowych prowadzonych trakcją elektryczną. Nie dotyczy planowych postojów i zatrzymań na stacjach. Jednocześnie wiąże się to z dodatkowymi kosztami wydatkowanymi na energię elektryczną rzędu 174,4 mln zł. Warto zaznaczyć, że koleje Unii Europejskiej emitują rocznie 25 mln ton CO₂, z czego koleje polskie posiadają udział blisko 9%, co wynika głównie z produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego lub kamiennego.

7. ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzona w artykule analiza związku zachodzącego pomiędzy ograniczeniami prędkości pociągów towarowych, spowodowanych złym stanem infrastruktury punktowej, a emisją CO₂, pozwala twierdzić, że każdy funkcjonujący system jest zbiorem wielu „naczyni połączonych”. Zaniedbania w jednym miejscu przenoszą się na cały system. Tak jest i w tym wypadku. Pozorne oszczędności powodowane brakiem środków na wymianę, np. rozjazdów kolejowych, powodują zwiększone wydatki na energię elektryczną, koszty związane z emisją m.in. CO₂, a także negatywnie wpływają na oferty przewozowe. Należy przy tym zaznaczyć, że przy dużej intensywności ruchu,

każde ograniczenie prędkości na szlaku wpływa na płynność ruchu pociągów. W wypadku dużej intensywności ruchu może powodować zakłócenia nawet tam, gdzie ograniczenia punktowe nie występują. Prowadzi to do dodatkowego zużycia energii i wszelkich pochodnych wynikających z tej sytuacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Ciszewska M.: *Ocena strat energetycznych wynikających z ograniczeń prędkości na wybranych liniach kolejowych*, Warszawa, Praca CNTK, 1993, nr 1938/25.
2. Engelhard J.: Odpowiedź Podsekretarza Stanu w Ministerstwie Infrastruktury z upoważnienia Ministra na interpelację nr 5573 w sprawie planów modernizacji niestrzeżonych przejazdów kolejowych, [online] [dostęp 18 lipca 2009], Dostępny w World Wide Web: <http://orka2.sejm.gov.pl/IZ6.nsf/main/59E77245>.
3. Jakubowski R.: *Wybrane zagadnienia dotyczące utrzymania dróg kolejowych w PKP PLK S.A., II Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym INFRASZYN 2009”*, Zakopane 22-24 kwietnia 2009 r., Radom, Wydaw. Naukowe ITE – PIB, 2009.
4. Marciniak Z., Pielacha I.: *Badania silników spalinowych w świetle dopuszczeń do eksploatacji na polskich liniach kolejowych*, „Pojazdy Szynowe”, 2006, nr 3.
5. Marciniak Z., Pielacha I.: *Wymagania w zakresie ograniczenia emisji toksycznych składników spalin przez spalinowe pojazdy trakcyjne*, „Technika Transportu Szynowego”, 2006, nr 11 – 12.
6. Poliński J., Kur H.: *Problematyka przejazdów niestrzeżonych na kolejach polskich*, „Rynek Kolejowy”, 2004, nr 4.
7. Raport roczny PKP PLK S.A. za 2007 rok.
8. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 9 listopada 2000 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych z drogami publicznymi i ich usytuowanie, Dz.U., 2000, nr 100, poz. 1082.