

Koszty zewnętrzne transportu, ze szczególnym uwzględnieniem trakcji elektrycznej

W pierwszej części przedstawiono ogólne problemy związane z kosztami zewnętrznymi transportu, w tym opracowania europejskie i krajowe. Dołączono uwagi przesłane w ramach konsultacji społecznej polskiej strategii rozwoju transportu do roku 2020 (2030). Zwrócono uwagę na konieczność realizacji zrównoważonego rozwoju transportu. W części drugiej pokazano możliwości zmniejszenia zużycia energii przy realizacji energooszczędnego prowadzenia pociągu.

1. Istota i szacunek wartości kosztów zewnętrznych

Szczególnie niekorzystnym oddziaływaniem systemów transportowych na otoczenie jest generacja kosztów zewnętrznych, ponoszonych głównie przez otoczenie systemów. Dwie Białe Księgi Transportu UE (WHITE PAPER, European Transport Policy for 2010., Brussels 2001, oraz WHITE PAPER, Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, Brussels, 28.3.2011) zawierają wiele zamierzeń i zaleceń dotyczących konieczności zrównoważonego rozwoju transportu, szczególnie gałęzi najmniej szkodzących środowisku. Są też tam sugestie, a nawet proponowane daty, internalizacji zewnętrznych kosztów transportu. Koszty te oceniane są w kategoriach gałęziowych (transport drogowy, szynowy, lotniczy, wodny) oraz w kategoriach destrukcji otoczenia (m.in. zmiany klimatu, zmiany krajobrazowe, skutki wypadków, hałas, zanieczyszczenie powietrza). Wartości (liczbowe) są różne, ale bardzo duże. Przed kilkunastu laty, w roku 1994, zapotrzebowanie na energię i emisję do atmosfery, w podziale na gałęzie transportu, oceniono tak, jak w tab 1.

Tabela 1
Zużycie energii i emisja do atmosfery

Rodzaj obciążenia środowiska	Gałąź transportu			
	Wodny	Kolejowy	Drogo-	Powietrzny
Zużycie energii w MJ/tkm	423,00	677,00	2890,00	15839,00
Emisje do atmosfery w g/tkm				
- dwutlenku węgla	30,00	41,00	207,00	1206,00
- węglowodorów	0,04	0,06	0,30	2,00
- tlenu azotu	0,40	0,20	3,60	5,50
- tlenu węgla	0,12	0,05	2,40	1,40

[Źródło: Lloyd's Shipping Economist nr 11/1994][L1]

Według Gazety Wyborczej z dnia 9-04-1999, w r. 1998 koszty zewnętrzne transportu w UE oceniano na 272 mld €, z tego 93% od transportu drogowego i 1,7 % od kolejowego.

Według CER (Community of European Railways) zewnętrzne koszty transportu (bez kosztów kongestii) w r. 2000 oceniono na 650 mld €, z tego 83,7 % od transportu drogowego i 1,9 % od szynowego. Metodologię estymacji tych kosztów i wiele danych zawiera „Handbook on estimation of external cost in the transport sector” (Delft, 19-12-2007 r.).

Szacunki zużycia nawierzchni dróg przez duże samochody ciężarowe („Tiry”), porównanie zużycia tej nawierzchni przez tira do zużycia przez ok. 1 tonowy samochód osobowy, wahają się od 30.000 do 1 - aż do (wg Prof. Suchorzewskiego) 160.000 do 1 !!

Zalety transportu szynowego, a uciążliwość transportu drogowego są obszarem kosztów zewnętrznych niepodważalne i wydawałoby się powszechnie uznane, ale w aktualnie przygotowywanej, nowej zamierzeń wobec transportu w Polsce [.]. słabo albo i wcale nie zaznaczone! [Ministerstwo Infrastruktury: Strategia rozwoju transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku), projekt. Warszawa, dnia 30 marca 2011 r.]. Komentarz bardziej szczegółowy, przesłany do MI w ramach konsultacji społecznych, przedstawiam poniżej prawie dosłownie, w 6 punktach.

1^o. W dokumentach związanych ze SRT kolej traktowana jest jak kula u nogi a nie jako gałąź transportu, gospodarki, a istotne informacje o kolei są albo ukrywane albo manipulowane.

Dla przykładu brakuje niezwykle ważnego dla kosztów zewnętrznych zestawienia zapotrzebowania na energię w transporcie towarów oraz innych czynników świadczących o poziomie szkodliwości dla środowiska oraz o zasadniczych zagrożeniach dla ludzi (o wypadkowości) poszczególnych gałęzi transportu, np. takich zestawień kosztów zewnętrznych (tab. 2):

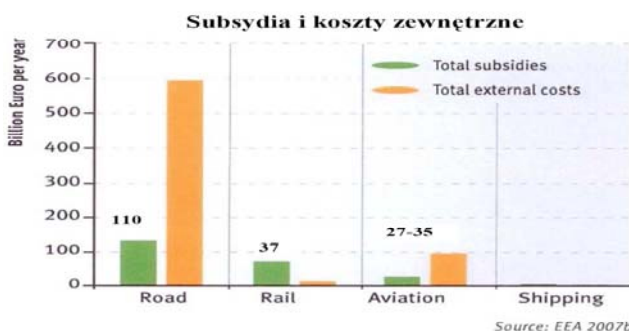
Tabela 2

Porównanie kosztów zewnętrznych transportu drogowego i szynowego

	Koszty zewnętrzne	Gałąź transportu	
		Drogowy	Szynowy
1	2	3	4
1	Kongestia	268	---
2	Wypadki	156	0,3
3	Hałas	40	1,4
4	Zmiany klimatu	70	2,1
5	Zanieczyszczenie powietrza	164	2,4
6	Razem	698	6,2 (0,9%)

[Źródło: „Rail Transport and Environment. Facts & Figures, CER, XI.2008]

lub zestawień subsydiów do poszczególnych gałęzi transportu i generowanych przez nie kosztów zewnętrznych (rys. 1):



Rys. 1. Porównanie wysokości subsydiów i kosztów zewnętrznych w podziale gałęziowym (modal split) transportu

[Źródło: „Rail Transport and Environment. Facts & Figures, CER, XI.2008, wg European Energy Agency)]

2° To niezwykle korzystne dla kolei zestawienie nie ma właściwego nagłośnienia.

Powinno przebić się do **ŚWIADOMOŚCI SPOŁECZNEJ I ŚWIADOMOŚCI POLITYKÓW**. To ukrywanie albo nieuwzględnianie zewnętrznych kosztów transportu może być bardzo szkodliwe dla społeczeństwa, środowiska naturalnego i gospodarki, przy postępującej tendencji internalizacji tych kosztów.

3°. Takie zestawienie jest jeszcze bardziej wstrząsające, jeżeli porówna się liczbę wypadków śmiertelnych na drogach (ok. 4000 rocznie w Polsce) i na kolei (pojedyncze przypadki – głównie na przejazdach kolejowo-drogowych, z winy kierowców pojazdów samochodowych). Takie zestawienie, z gałęziowym podziałem transportu, powinno być w projekcie SRT, w p. 7.1.1 (szczegółowe (??-JK} wskaźniki realizacji SRT), po tablicy syntetycznej (Tab. 9) na str. 82.

Do Strategii należy (chyba) dołączyć porównanie kosztów realizacji Kolei Dużych Prędkości oraz kosztów rewitalizacji obecnej infrastruktury z zapewnieniem połączeń kolejowych między wszystkimi miastami wojewódzkimi z prędkością 160-180 km/h.

4°. Nie są zachowane proporcje nakładów na infrastrukturę drogową i kolejową, zalecane przez UE (powinno być ok. 40% na kolej, ok. 60% na drogi, w Polsce jest ok. 10% do 90%). W SRT tych liczbowych nakładów na drogi nie ma, też nie ma ich w prezentacji SRT dla transportu drogowego (na Kraków).

5°. Konsultacje społeczne, ogłoszone informacja na stronie www.mi.gov.pl trwają zbyt krótko.

6°. Nie jestem przeciwnikiem transportu drogowego, którego na lądzie nic nie zastąpi w przewozach bezpośrednich, ale trzeba mieć umiarkowanie w opracowaniu **strategii ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU TRANSPORTU**

Niekiedy niektóre z przytoczonych danych liczbowych podawane są w wątpliwość przez kręgi związane z motoryzacją, lotnictwem, przemysłem paliwowym, ale bardziej wiarygodnych, zdecydowanie różnych danych syntetycznych trudno się doszukać.

Problemem podstawowym w odniesieniu do transportu szynowego (w tym trakcji elektrycznej) jest niska świadomość istotnych jego cech (energetycznych, środowiskowych i wypadkowych) zarówno ogółu obywateli jak i ośrodków decyzyjnych, centralnych i lokalnych. Wiele opracowań, publikacji, prezentacji znanych jest tylko małemu kręgowi zainteresowanych a wystąpienia na konferencjach, sympozjach, konwencjach, na których prezentowane i dyskutowane są istotne cechy transportu szynowego nie mają dostatecznego naświetlenia publicznego (PR-u). Prof. Suchorzewski wymienia główne bariery zrównoważonego rozwoju transportu:

- trudność uzyskania akceptacji społecznej dla idei ograniczania wzrostu mobilności, w tym zwłaszcza dla stosowania środków fiskalnych
- promotoryzacyjna postawa znacznej części społeczeństwa
- konflikt interesów: przemysł motoryzacyjny, sektor paliwowy, ochrona środowiska i in.
- rola mediów
- wola polityczna!!! [W. Suchorzewski, Transport - konsumpcja energii i emisja CO₂eq, Politechnika Warszawska, Warszawa, 7.06.2010]

2. Wybrane problemy energetyczne w trakcji elektrycznej

Problemy energetyczne w transporcie szynowym można podzielić na 2 obszary strategiczne:

- związane z dostarczeniem energii (nośników energii) napędowej do pojazdu trakcyjnego oraz z jej przetwarzaniem od wejścia do pojazdu aż do napędnych zestawów kół,
- związane ze sposobem sterowania przejazdem (kierowania pociągiem).

Biorąc pod uwagę obszar pierwszy, to w trakcji autonomicznej (spalinowej, dawniej też parowej) dostarczanie energii jest takie, jak we wszystkich innych środkach transportu – trzeba dostarczyć nośnik energii

(paliwo) do pojazdu trakcyjnego. Natomiast w trakcji elektrycznej, w której pojazdy napędowe zasilane są energią z sieci trakcyjnych, pierwszy odcinek transmisji energii (mocy), od elektrowni do sieci trakcyjnej oraz w samej sieci aż do pojazdu stanowi istotny podsystem ze stratą energii i jest specyficznym problemem trakcji elektrycznej. Równie ważny jest tu pierwotny problem sprawności układu wytwarzania energii w samej elektrowni (cieplnej).

Następny, końcowy odcinek transmisji mocy - od wejścia do pojazdu (np. od sieci trakcyjnej) do obwodu zestawów kół, na którym też występują duże straty energii, jest podobny - na wysokim poziomie uogólnienia - we wszystkich układach napędu (transmisji mocy) pojazdów szynowych.

Zmniejszenie zużycia (strat) energii w tym pierwszym obszarze strategicznym jest obiektem zainteresowania naukowców i praktyków zarówno z obszaru elektrotechniki, energoelektroniki jak i mechaniki i termodynamiki, podobnie związanych z tym osób z informatyki, zarządzania i in. W tym referacie te problemy nie są omawiane, wiele z nich stanowiło przedmiot zainteresowania ORE (obecnie ERRI), czego przykładem jest projekt A168 Railway Energy Problem, z czego wydzielono problematykę Rational Use of Electr. Energy for Traction Purposes, zakończoną konferencją ORE w 1981 r. we Wiedniu. W tym obszarze badań uczestniczył autor, miał też tam z ramienia PKP jeden z referatów [1].

Drugi obszar strategiczny, obecny też w projekcie A168, dotyczy optymalizacji lub co najmniej racjonalizacji zużycia energii podczas przejazdu (prowadzenia) pociągu. Zagadnienia optymalnego prowadzenia pociągu są przedmiotem zainteresowania prawie od początku istnienia kolei. Ilość zużytej przez pojazd trakcyjny energii zależy od rodzaju trakcji, typu pojazdu, masy składu, (średniej) prędkości jazdy, geometrii toru – oraz od sposobu prowadzenia pociągu. Dla pojedynczego przejazdu, w którym parametry pociągu oraz warunki ruchu (profil trasy, rozkład jazdy, ograniczenia prędkości, itp.) są zdeterminowane, istotne znaczenie ma sposób prowadzenia pociągu. W tych warunkach można zdefiniować 3 sposoby prowadzenia pociągu. Pierwszym jest przejazd forsowny (minimalno-czasowy), dający informacje o najkrótszym możliwym czasie jazdy między punktami kontroli czasu (stacjami), wykorzystywane do ustalania rozkładu jazdy, w którym zadany czas jazdy nie może być krótszy. Drugim sposobem jest przejazd w zadanym czasie rozkładowym, z wydłużeniem czasu minimalnego do rozkładowego przez obniżenie prędkości dopuszczalnej (przejazd quasi-forsowny). Sposobem trzecim jest też przejazd rozkładowy, z wydłużeniem czasu do rozkładowego przez zastosowanie jazdy wybiegiem przed hamowaniem lub/i na znacznych spadkach profilu toru, można to nazwać przejazdem energo-optymalnym, lub też – ostrożnie – przejazdem energooszczędnym.

Praktyczna realizacja takich procedur sterowania przejazdem bez wspomaganie komputerowego (symulacji ruchu pociągu) nie jest prawie możliwa. Istnieje wiele programów do symulacji ruchu, niewiele z nich ma procedury kierowania energooszczędnego. Jednym z takich programów jest pakiet RSEL, opracowany w Zakładzie Pojazdów Szynowych Politechniki Poznańskiej, który może odtwarzać wymienione 3 sposoby kierowania przejazdem. Umożliwia różnorodną analizę przejazdów, od najprostszych aż do np. obliczania histogramów obciążenia zestawów kół siłą pociągową. Szczegóły można przeczytać w licznych publikacjach autora i współpracowników [2...5].

Tu zostaną zaprezentowane pobieżnie tylko 2 problemy:

- efektywność jazdy energooszczędnej,
- wpływ nieplanowych zatrzymań na czas przejazdu i zużycie energii.

Efektywność jazdy energooszczędnej

Program RSEL [] odtwarza przejazdy minimalno-czasowe, quasi-forsowne i energooszczędne, dla zdeterminowanych warunków.

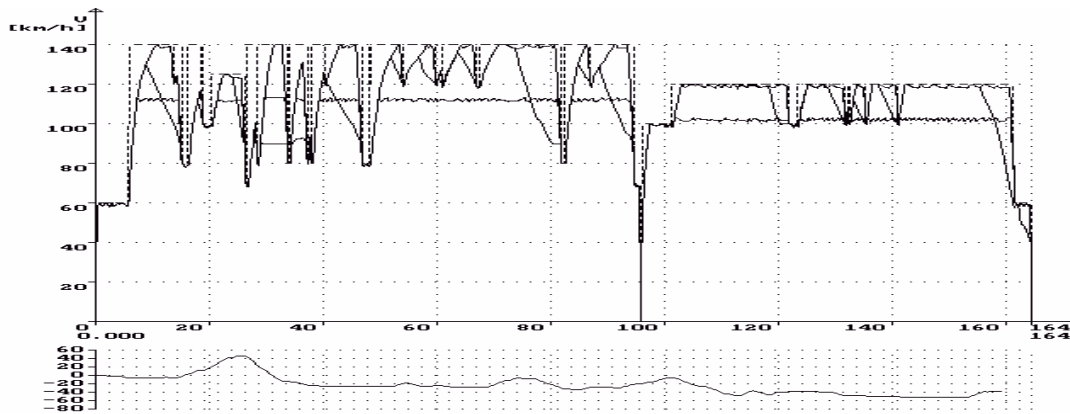
Analizowano [4] przejazdy pociągu ekspresowego o składzie 8 wagonów typu 111A, o masie 358 ton, ciągniętego lokomotywą B₀-B₀ typu EP08 o mocy ciągłej 2000 kW, na trasie Poznań – Wrocław, o długości 164,46 km. Rozkład jazdy przewidywał liczne, niektóre znaczne, ograniczenia prędkości, toteż odcinki wybiegu też były liczne. Trajektorie v(s) przedstawiono na rys. 2, wyniki czasów przejazdów i zużycia energii na rys. 3.

Na całej trasie, zachowując rozkładowe czasy przejazdu, zaoszczędzono łącznie w przejeździe energooszczędnym w porównaniu z quasi-forsownym 11% energii trakcyjnej, w tym na pierwszym odcinku Poznań – Leszno, z bardzo licznymi zwolnieniami aż 16%, na drugim – mniej.

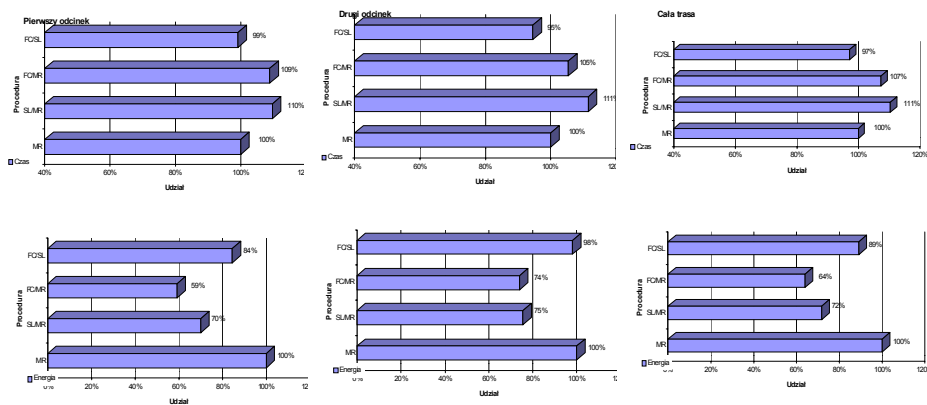
Wpływ nieplanowych zatrzymań na czas przejazdu i zużycie energii.

Eksperymenty symulacyjne przeprowadzono [3] dla pociągu pasażerskiego o masie składu 490 ton (11 wagonów typu 111A) z lokomotywą EU07 (2 MW, 80 ton), na krótkim, 30 km odcinku toru poziomego. Wykonano 19 eksperymentów symulacyjnych, dla jednego i dla dwu zakłóceń ruchu (zwolnień), do zera (zatrzymanie), do 15 km/h oraz do 40, 50, ..., 100 km/h. Przebiegi strat czasu i energii trakcyjnej przedstawiono na rys. 4. Dla warunków eksperymentów procentowe straty czasu są w przybliżeniu dwukrotnie mniejsze od strat energii trakcyjnej.

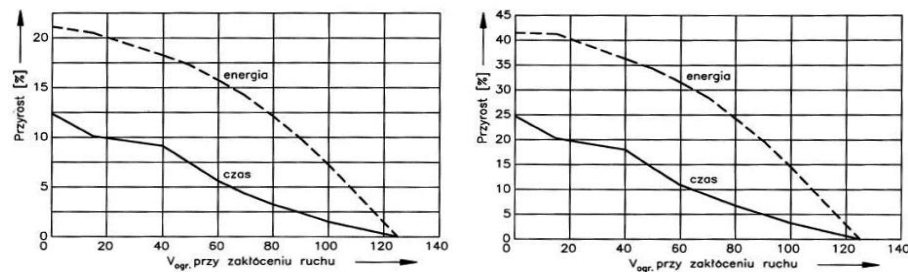
Przedstawione wyniki eksperymentów symulacyjnych są tylko przykładami możliwych różnorodnych badań, możliwych do wykonania z wykorzystaniem różnych modeli symulacyjnych.



Rys. 2. Trajektorie $v(s)$ przejazdów forsownego, quasi-forsownego i energooszczędnego



Rys. 3. Czasowe i energetyczne wyniki przejazdów forsownego, quasi-forsownego i energooszczędnego



Rys. 4. Czasowe i energetyczne skutki nieplanowych ograniczeń prędkości

3. Podsumowanie

Przedstawiono wybrane problemy związane z transportem szynowym, ze szczególnym uwzględnieniem porównania kosztów zewnętrznych transportu szynowego z innymi gałęziami transportu. Uświadczenie nieustanne wielkości tych kosztów opinii publicznej oraz politykom wszelkiego szczebla autor uważa za kluczowe zadanie teoretyków i praktyków związanych z transportem szynowym. Jest to warunek konieczny modernizacji i wzrostu udziału transportu szynowego w ramach strategii zrównoważonego rozwoju.

Literatura

[1] Kwaśnikowski J. - *Simulation studies for determining the optimum energy conditions*

associated with train control in electric traction. Proc. ORE Coll. on Rational Use of Electr. Energy for Traction Purposes, Vienna 1981.

[2] Kwaśnikowski J. - *Modelowanie i symulacja komputerowa procesu ruchu pociągu*. Wyd. Pol. Pozn. serii rozprawy, nr 264. Poznań 1992, 214 stron.

[3] Kwaśnikowski J. - *Energetyczne i czasowe skutki ograniczeń prędkości dla pociągu prowadzonego lokomotywą EU07*. *Technika Transportu Szynowego*, 1994, nr 3, s.28-30.

[4] Kwaśnikowski J. - *Ograniczenia prędkości a forsowność jazdy pociągu*. *Problemy Eksploatacji*, vol. 44, 2002, nr 1, s. 155-162.

[5] Kwaśnikowski J., Gramza G., Gill A., *Ocena ilościowa wpływu opóźnień pociągu na jakość kolejowych pasażerskich usług przewozowych*. *Pr. Naukowe Polit. Warsz, Transport*, z. 70, 2009, str. 97-111