

Jolanta Żak<sup>1</sup>, Michał Kłodawski<sup>2</sup>, Konrad Lewczuk<sup>3</sup>, Piotr Gołębiowski<sup>4</sup>  
Wydział Transportu, Politechnika Warszawska  
Ilona Jacyna-Gołda<sup>5</sup>  
Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska

## Wybrane aspekty szacowania kosztów zewnętrznych w transporcie

### 1. WPROWADZENIE

Jeśli w wyniku działalności gospodarczej w otoczeniu analizowanego systemu powstają zmiany których koszty nie mają odzwierciedlenia w transakcjach rynkowych czy cenach zewnętrznych mówimy wówczas o tzw. efektach zewnętrznych. Efekty zewnętrzne mogą być pozytywne lub negatywne – negatywne skutkują ograniczoną użytecznością podmiotów nimi dotkniętych, natomiast pozytywne zwiększają tę użyteczność.

Zapotrzebowanie na transport jest ściśle powiązane z rozwojem ekonomicznym. Sprostanie rosnącym potrzebom przewozowym implikuje ich wzrost, niosąc ze sobą również niepożądane efekty uboczne. Bardzo duże natężenie ruchu pojazdów niekorzystnie wpływa na sprawność systemu transportowego, m.in. z powodu wydłużenie czasu podróży oraz zwiększenia zużycia paliwa. W efekcie wzrasta rola szkodliwych efektów transportu, tj. jego znaczący udział we wzroście zanieczyszczenia atmosfery, efektu cieplarnianego oraz kongestii. Powstają koszty zewnętrzne wynikające z:

- zanieczyszczenia powietrza,
- zmian klimatycznych,
- hałasu,
- zmian w ekosystemach,
- przeciążeniu ruchem,
- wypadków drogowych skutkujących obrażeniami a w skrajnych przypadkach utratą życia.
- w wyniku wypadków drogowych.

Niestety w przypadku działalności transportowej koszty zewnętrzne są głównie ponoszone przez środowisko naturalne oraz społeczeństwo, a nie przez producentów i konsumentów usług transportowych i dotyczą. Jednym ze sposobów walki z tą sytuacją jest stosowanie idei zrównoważonego transportu tj. takiego, który:

- „zapewnia dostępność celów komunikacyjnych w sposób bezpieczny, niezagrażający zdrowiu ludzi i środowisku w sposób równy dla obecnej i następnych generacji;
- pozwala funkcjonować efektywnie, oferować możliwość wyboru środka transportowego i podtrzymać gospodarkę oraz rozwój regionalny;
- ogranicza emisje i odpady w ramach możliwości zaabsorbowania ich przez ziemię, zużywa odnawialne zasoby w ilościach możliwych do ich odtworzenia, zużywa nieodnawialne zasoby w ilościach możliwych do ich zastąpienia przez odnawialne substytuty, przy minimalizowaniu zajęcia terenu i hałasu.” [12]

W artykule podano analizie koszty zewnętrzne transportu najczęściej wykorzystywanych do przewozu w Polsce gałęzi transportu.

<sup>1</sup> j.zak@wt.pw.edu.pl

<sup>2</sup> mkloda@wt.pw.edu.pl

<sup>3</sup> kle@wt.pw.edu.pl

<sup>4</sup> pgolebiowski@wt.pw.edu.pl

<sup>5</sup> jacyna.golda@gmail.com

## 2. PODZIAŁ KOSZTÓW ZEWNĘTRZNYCH

Wśród podstawowych efektów generujących koszty zewnętrzne należy wymienić: zatory komunikacyjne, koszty środowiskowe i wypadki. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe rodzaje efektów i czynniki mające na nie wpływ. Liczba i skutki wypadków w transporcie zależą od wielu czynników różnych dla różnych rodzajów transportu. W przypadku dominującego na terenie Polski transportu drogowego czynnikami są:

- typy pojazdów uczestniczących w wypadku,
- cechy pojazdów,
- utrzymanie pojazdów,
- prędkość jazdy pojazdu,
- natężenie ruchu,
- pora dnia,
- warunki pogodowe w chwili wypadku,
- rozmieszczenie infrastruktury, a także technologia jej wykonania oraz utrzymanie.

Tabela. 1. Podstawowe rodzaje efektów zewnętrznych transportu i ich skutki

L.p.	Efekt zewnętrzny	Podstawowe skutki generujące koszty
1.	Wypadki	Szkody materialne Postępowania administracyjne Leczenie i rehabilitacja Straty produkcyjne
2.	Zanieczyszczenie powietrza	Leczenie i rehabilitacja Szkody materialne Straty w plonach
3.	Zmiany klimatu	Działania zapobiegające i ograniczające zmiany klimatu. Szkody spowodowanych efektem cieplarnianym.
4.	Kongestia	Zatory komunikacyjne Opóźnienia Straty utraconych możliwości.
5.	Hałas	Uciążliwość Leczenie i rehabilitacja
6.	Przyroda i krajobraz	Utrata i fragmentacja siedlisk. Zalesianie. Rekultywacja

*Źródło: opracowanie na podstawie [12].*

Drugim pod względem wielkości przewozu w Polsce rodzajem transportu jest transport kolejowy. Czynniki wpływającymi na wielkość i liczbę wypadków w tym przypadku są:

- rodzaj taboru kolejowego,
- cechy taboru kolejowego,
- utrzymanie taboru kolejowego,
- poziom utrzymania infrastruktury.
- poziom wyszkolenia maszynistów.

Wielkość kosztów wynikających z przeciwdziałania zanieczyszczeniu powietrza zależy od: gęstości zaludnienia i zasiedlenia, wrażliwość obszaru, poziom emisji (według różnych rodzajów transportu). Natomiast koszty związane ze zmianą klimatu (efektem cieplarnianym) zależą od rodzaju pojazdu i jego wyposażenia, prędkości, stylu jazdy, zużycia paliwa oraz zawartość węgla w paliwie. Wysokość kosztów kongestii wynika z przepustowości infrastruktury oraz poziom ruchu i uzależnione przede wszystkim od pory dnia, miejsca wypadków czy też rodzaju infrastruktury. Uwzględniając powyżej wymienione czynniki można stwierdzić, że zależą one od rodzaju transportu (zarówno pasażerskiego, jak i towarowego) cech

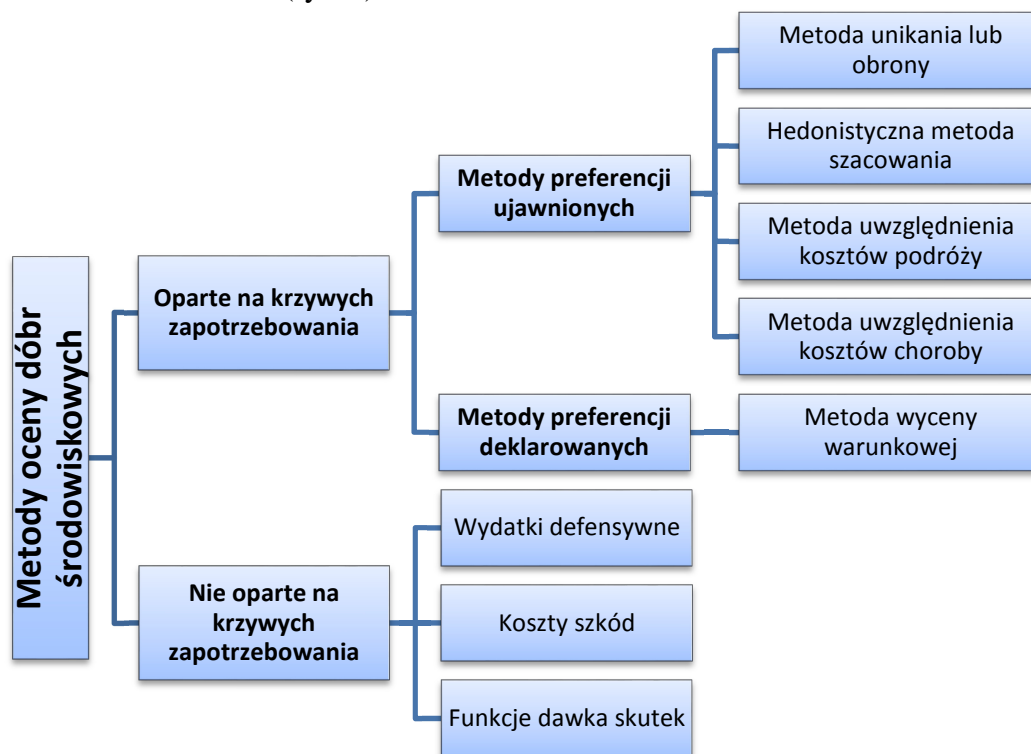
charakterystycznych pojazdu (np. wielkość, technologia) oraz czasu i miejsca, w którym odbywa się transport. Zatem parametry te należy uwzględnić podczas wyznaczania wielkości kosztów zewnętrznych.

### 3. METODY SZACOWANIA KOSZTÓW ZEWNĘTRZNYCH

W celu ilościowego wyznaczenia kosztów zewnętrznych rezultat działalności określa się w kategoriach ekonomicznych. Ponieważ zazwyczaj dotyczą one wielkości, które nie mają porównywalnej wartości rynkowej (czyste powietrze, zdrowie i inne). W takich przypadkach do ich oszacowania stosuje się dwie metody:

- **WTP** (ang. Willingness to Pay) – polegającą na wyznaczeniu kwoty, którą skłonna byłaby wydać jednostka w celu otrzymania danego dobra w taki sposób, że zachowałaby ona taki sam poziom dobrobytu, jak w sytuacji, gdyby nie posiadała dobra, ale pieniądze.
- **WTA** (ang. Willingness to Accept) – polegającą na wyznaczeniu kwoty, która trzeba by zapłacić jednostce za odstąpienie dobra, tak aby jednostka zachowała taki sam poziom dobrobytu, jak w sytuacji, gdyby zatrzymała dobro i nie otrzymała pieniędzy.

Zatem w przypadku działalności transportowej należy zamiast mierników transportu tj. pojazdokilometrów (vkm), pasażerokilometrów, tonokilometrów zastosować mierniki ekonomiczne. W literaturze przedmiotu można znaleźć dwa typy metod szacowania kosztów zewnętrznych: oparte na krzywych zapotrzebowania lub nie (rys. 1).



Rys. 1. Przegląd podstawowych metod wyceny dóbr środowiskowych

Źródło: opracowanie na podstawie [12].

Wśród metod opartych na krzywych zapotrzebowania wyróżniamy:

- **preferencje ujawnione** tj. metody które powstały jako wynik obserwacji zachowania się pojazdów tj.:
  - metodę unikania /obrony (polegającą na wykorzystaniu funkcji zależności zachowań kierowców na zmiany jakości środowiska, zdrowia lub bezpieczeństwa),
  - hedonistyczną metodę szacowania cen (stosowana jest w aglomeracjach miejskich i uwzględnia zależność kosztów zewnętrznych od ceny płaconej lokal mieszkalny),
  - metodę uwzględnienia kosztów podróży (wyznaczającą zależność pomiędzy korzyściami wynikającymi z wyjazdu a wartością ekonomiczną oraz czasem poświęconym na podróż),

- metodę uwzględnienia kosztów choroby (polegającą na oszacowaniu kosztów rynkowych wynikających ze zmiany w zapadalności na daną chorobę uwzględnia tylko koszty bezpośredni (np. leczenie, rehabilitacja). Koszty te przyjmuje się za dolną granicę szacowanej WTP.
- **preferencje deklarowane** tj. metody, które powstały jako wynik gromadzenia informacji na podstawie wywiadów wśród próbnej populacji. Powszechnie stosowane do oszacowania czasu oraz cech jakościowych, takich jak rzetelność.

Metody te można stosować jako uzupełniające się lecz nie wymiennie. Wśród metod nie uwzględniających krzywych zapotrzebowania są wydatki defensywne, funkcje dawka–skutek oraz koszty szkód. Koszty szkód stosuje się na przykład do szacowania kosztów zewnętrznych związanych ze zmianami klimatu.

W rachunku kosztów zewnętrznych stosuje się ich dwa typy: średnie i krańcowe. Te pierwsze równają się łącznym kosztom w danym okresie, podzielonym przez wielkość (wynik) wytworzoną/zużytą w tym okresie, natomiast te drugie to koszty związane z niewielkim wzrostem ilości (np. dodatkowo przejechanym przez pojazd kilometrem).

$$\forall t \in T \quad Ks(s, x_t) = \frac{\sum_{s \in S} kz(s, x_t)}{x_t} \quad (1)$$

gdzie:

$t$  – numer okresu, w którym przeprowadzano badania,  $T$ -zbiór numerów okresów badawczych  $t \in T$

$s$  – numer rodzaju efektu zewnętrznego,  $S$ -zbiór numerów efektów zewnętrznych,  $s \in S$ ,

$kz(s, x_t)$  – wielkość kosztu zewnętrznego powstałego na skutek wytworzenia (zużycia) wielkości  $x_t$  w  $t$ -tym okresie w efekcie działania  $s$ -tego efektu zewnętrznego,

$Ks(s, x_t)$  – koszt średni,

$x_t$  – wielkość wytworzona/zużyta w  $t$ -tym okresie.

Koszty krańcowe precyzyjne opisują jak zmieniają się koszty całkowite w zależności od małych zmian (np. rodzaju transportu czy też typu pojazdu). W związku z powyższym uważa się je za właściwe do ustalania cen.

$$\forall t \in T \quad Kk(s, x_t) = \frac{d(kz(s, x_t))}{d(x_t)} \quad (2)$$

gdzie:

$Kk(s, x_t)$  – koszt krańcowy.

pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1.

Wśród metod określania zewnętrznych kosztów transportu wyróżnia się tzw.: podejście odgórne i oddolne. Podejście odgórne stosowane jest zazwyczaj do wyznaczenia kosztów średnich. Natomiast podejście oddolne umożliwia oszacowanie kosztów krańcowych. W badaniach zazwyczaj stosowane jest podejście oddolne, polegające na analizie fizycznej drogi, jaką odbywa konkretny pojazd co umożliwia ocenę różnych rodzajów efektów negatywnych i związanych z nimi zagrożeń.

## 4. RODZAJE KOSZTÓW ZEWNĘTRZNYCH

### 4.1. Wypadki

Zgodnie z definicją wypadek to nieoczekiwane zdarzenie zewnętrzne, zachodzące w określonym czasie i miejscu, bez wyraźnej czy zamierzonej przyczyny, ale z wyraźnym skutkiem. Koszty zewnętrzne wypadków transportowych częściowo ponoszą użytkownicy pojazdów, ale również osoby nie uczestniczące w transporcie (piesi). Koszt ten może być pośredni lub bezpośredni oraz związany ze zdrowiem osób będących uczestnikami wypadku lub ze szkodami materialnymi spowodowanymi przez sam wypadek.

Na koszty wypadków składają się wydatki jakie poniosły służby operacyjne (policja, straż pożarna) oraz służby medyczne udzielające pomocy w miejscu wypadku, a następnie w szpitalach, w których leczono pacjentów rannych w wypadkach. Pozostałe koszty dotyczą pochówków ofiar, prowadzenia procesów karnych i utrzymania skazanych w więzieniach, oraz z wypłat rent i odszkodowań ofiarom wypadków i ich rodzinom. Do kosztów globalnych wypadków drogowych zaliczane są również straty jakie ponoszą pracodawcy ofiar oraz cała gospodarka krajowa, bowiem za ofiarą wypadku kryją się również ubytki w budżecie państwa wynikające ze zmniejszenia produkcji i spadku konsumpcji. Ostatnim składnikiem kosztów jest naprawa szkód w pojazdach uczestniczących w wypadkach.

W przypadku wypadków część kosztów pokrywana jest przez ubezpieczyciela. W związku z czym jedynie część kosztów (nieobjętą ubezpieczeniem) uznaje się za koszty zewnętrzne. Zatem w przypadku wypadków komunikacyjnych koszty zewnętrzne stanowią różnicę łącznych kosztami wypadku i kosztów pokrywanych ze składek ubezpieczeniowych.

$$\forall s \in SW \quad Kw(s) = \sum_{i \in I} kz(s, i) - \sum_{j \in J} ku(s, j) \quad (3)$$

gdzie:

- $i$  – numer elementu efektu zewnętrznego generującego koszty powstałe podczas wypadku (zniszczenie elementów karoserii, itp.),
- $I$  – zbiór numerów elementów kosztu zewnętrznego powstałego podczas wypadku  $i \in I$ ,
- $j$  – numer elementu kosztu pokrywanego przez ubezpieczyciela w przypadku wypadku (wymiana błotników, itp.),
- $J$  – zbiór numerów elementów kosztów pokrywanych przez ubezpieczycieli w przypadku wypadku  $j \in J$ ,
- $s$  – numer rodzaju efektu zewnętrznego (w analizowanym wzorze numer wypadku),
- $S$  – zbiór numerów efektów zewnętrznych  $s \in SW \quad SW \subset S$ ,
- $kz(s, i)$  – wielkość  $i$ -tego elementu kosztu zewnętrznego powstałego na skutek  $s$ -tego wypadku,
- $ku(s, j)$  – wielkość  $j$ -tego elementu kosztu pokrywanego przez ubezpieczyciela w przypadku  $s$ -tego wypadku,
- $Kw(s)$  – koszt zewnętrzny wypadku.

Wyznaczając koszty zewnętrzne wypadków dla całego sektora transportu najczęściej stosuje się metodę oddolną, ponieważ wyniki dla poszczególnych rodzajów wypadków zależą od miejsca, w którym doszło do wypadku. Wysokość zewnętrznych kosztów wypadków zależy od przyjętych ram oddziaływania skutków wypadku tj. czasu i obszaru. W związku z tym koszty ( $kz(s, i)$ ) można podzielić na bezpośrednie koszty ekonomiczne widoczne aktualnie lub w przyszłości (koszty leczenia i rehabilitacji, obsługi prawnej, służb ratunkowych i szkód majątkowych) oraz pośrednie koszty ekonomiczne (koszt utraty zdolności produkcyjnej dla gospodarki wskutek przedwczesnej śmierci lub ograniczonej zdolności do pracy w wyniku wypadku). W przypadku kosztów zewnętrznych metoda WTP polega na wyznaczeniu kwoty, jaka ludzie są w stanie zapłacić, by zmniejszyć ryzyko śmierci. Innym podejściem stosowanym podczas wyznaczania kosztów wypadków jest uwzględnienie w nich kosztów szkód, a tym samym założenie, że koszty wypadków zostały w większości zinternalizowane poprzez ubezpieczenia.

W Unii Europejskiej od lat 70. ubiegłego wieku liczba śmiertelnych ofiar wypadków drogowych spadła o 25 procent. Szacuje się, że nadal jedna osoba na 80 mieszkańców UE jest narażona na utratę życia w wieku poniżej 40 lat, a jedna osoba na 3 mieszkańców potrzebuje leczenia szpitalnego w związku z ranami odniesionymi w wypadku drogowym. W szacuje się, że średnio rocznie w wypadkach drogowych zginęło 4,5 tys. osób, natomiast ponad dziesięć razy więcej osób zostało rannych.

Koszty wypadków drogowych stanowią największą składową ogółu kosztów transportu drogowego. Dla Koszty wynikające z hałasu komunikacyjnego stanowią około 5 procent, a skażenia środowiska naturalnego około 22 %. Szacuje się, że koszt ludzkiego bólu i cierpienia związanego ze śmiercią w wyniku wypadku, stanowią aż 75% pozostała część stanowią koszty ponoszone związane z niemożnością wykonywania pracy i leczenia. Straty ponoszone przez gospodarkę sięgają nawet do 4% PKB.

Łączne koszty wypadków drogowych, które miały miejsce w 2012 roku w Polsce, wyniosły 29,37 mln zł. Dla transportu samochodowego szacuje się, że w zależności od wielkości pojazdu koszt wypadku wynosi w mieście od 4,12 do 10,5 EUR/vkm, w przypadku wypadku pozamiejskiego od 1,5 do 2,7 EUR/vkm. W przypadku transportu kolejowego koszty krańcowe wypadków szacuje się jako wielkość z przedziału  $\langle 0,08; 0,30 \rangle$  EUR/pociągokilometr w zależności od badań [12]. Zakres wartości wynika z obszaru badań dla jakiego przeprowadzono badania. W przypadku transportu lotniczego obliczeń dokonuje się przez przeniesienie wartości z EUR/pkm na EUR/LTO oraz przez wykorzystanie średnich wartości pkm pozyskanych z bazy danych TRENDS i danych ICAO. Według badań INFRAS/IWW wartości wahają się od 12 do 309 EUR/LTO, i zależą od rodzaju i technologii wykonania statków powietrznych oraz różnych wartości parytetu siły nabywczej stosowanych w odniesieniu do tych statków [12].

#### 4.2. Zanieczyszczenie powietrza

Według Raportu Światowej Organizacji Zdrowia za rok 2012 zanieczyszczenie powietrza stało się najczęstszą przyczyną przedwczesnych zgonów ludzi związana ze środowiskiem, wyprzedzając złe warunki sanitarne czy też brak czystej wody pitnej. W większości krajów OECD, liczba ofiar śmiertelnych z powodu chorób serca i płuc wywołanych zanieczyszczeniem powietrza jest znacznie wyższa od tej, z wypadków drogowych.

Badania dotyczące zanieczyszczenia powietrza pochodzącego od różnych gałęzi transportu w skali krajowej są prowadzone już od lat 70. XX w. Wykorzystywane metody zostały od tego czasu udoskonalone i rozwinięte, zależnie od liczby, typu i jakości dostępnych danych. Obecnie używa się trzech podstawowych metod, które różnią się sposobem uwzględnienia zależności pomiędzy pracą pojazdu, a odpowiadającą jej emisją. Najdłużej stosowana z tych metod wykorzystuje fakt, że średnia emisja zanieczyszczeń zmienia się w zależności od prędkości jazdy pojazdu. Zanieczyszczenie powietrza mierzy się za pomocą emisji i stężenia poszczególnych zanieczyszczeń pierwotnych, które obejmują tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ), dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ), dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ), ołów (Pb) i wreszcie pył zawieszony ( $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2,5}$ ), jak kurz i sadzę. Zanieczyszczenia te powodują zagrożenie zarówno dla zdrowia i życia ludzi jak i upraw rolnych i lasów oraz infrastruktury, w tym drogowej (kwaśne deszcze). Zanieczyszczenie powietrza przez pojazdy zależy: składu paliwa, cech silnika i jego utrzymania, rodzaj pojazdu, infrastruktury, prędkości jazdy, sytuacji na drodze i innych. Na rysunkach 2. i 3. przedstawiono poziom emisji poszczególnych zanieczyszczeń powietrza w Polsce oraz Unii Europejskiej w latach 2001-2012.

Zazwyczaj koszt dotyczące zanieczyszczenia powietrza analizowano z zastosowaniem podejścia oddolnego. Podstawowymi składnikami kosztu zanieczyszczenia powietrza spowodowanego działalnością transportową są:

- koszty dotyczące utraty zdrowia, czyli negatywne skutki dla zdrowia ludzkiego (umieralność i zachorowalność) wynikające z wdychania zanieczyszczeń powietrza (w straconych latach życia),
- szkody materialne, czyli negatywne skutki dla budynków związane z degradacją materiałów konstrukcyjnych, z których te budynki są wykonane,
- straty w plonach, czyli negatywne skutki dla ekosystemów (upraw, gleby, lasów, cieków wodnych, wód podziemnych, dróg wodnych itd.) spowodowane zanieczyszczeniem, zakwaszeniem i eutrofizacją ciężkimi metalami.

$$\forall s \in SP \quad KZP(s) = Kz(s) + Km(s) + Kp(s) \quad (4)$$

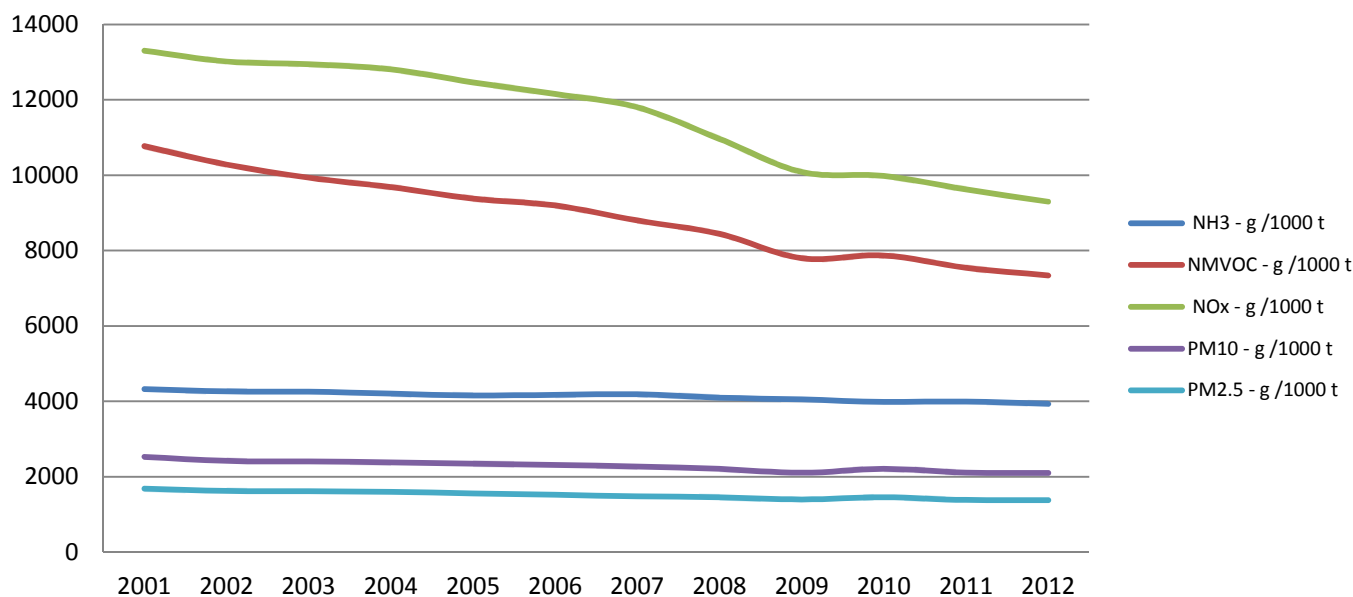
gdzie:

- $s$  – numer rodzaju efektu zewnętrznego (w analizowanym wzorze numer zanieczyszczenia),
- $S$  – zbiór numerów efektów zewnętrznych  $s \in SP \quad SP \subset S$ ,
- $Kz(s)$  – wielkość kosztu utraty zdrowia powstałego na skutek  $s$ -tego zanieczyszczenia,
- $Km(s)$  – wielkość kosztu strat materialnych powstałych na skutek  $s$ -tego zanieczyszczenia,
- $Kp(s)$  – wielkość kosztu strat plonów powstałych na skutek  $s$ -tego zanieczyszczenia,
- $KZP(s)$  – koszt zewnętrzny powstały na skutek  $s$ -tego zanieczyszczenia.

Ocena skutków zanieczyszczenia powietrza zależy od:

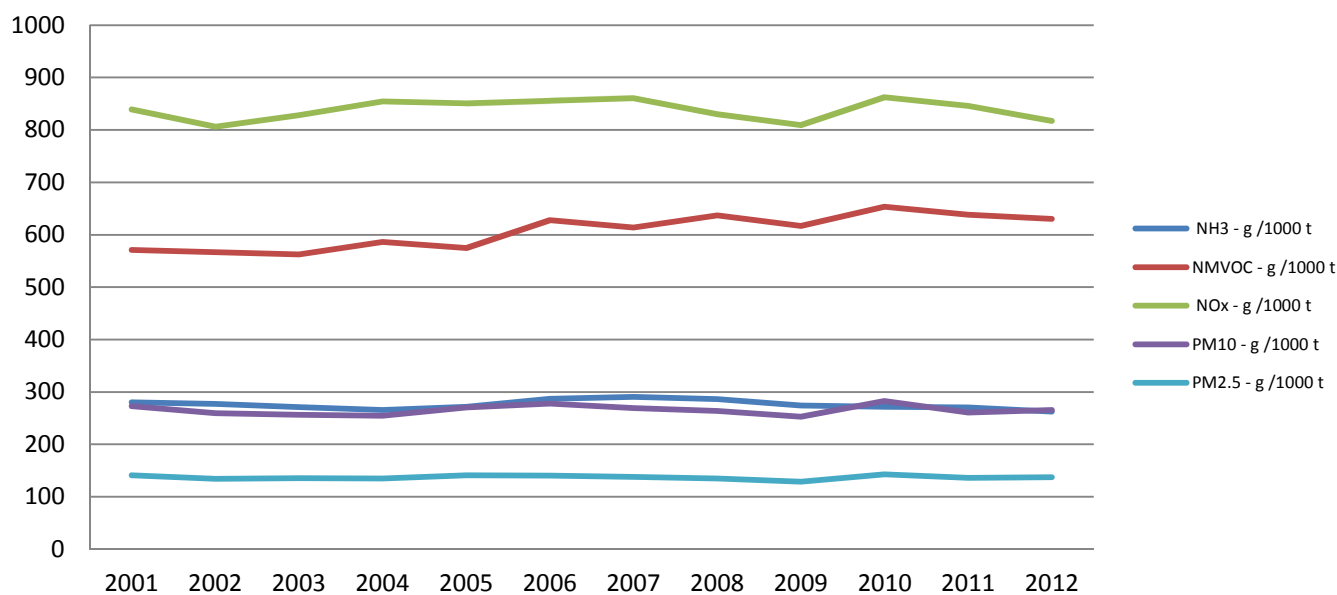
- lokalizacji w tym gęstości zaludnienia,
- wrażliwości terenu (obszary cenne przyrodniczo),
- poziom emisji (według różnych rodzajów transportu).

Aktualnie za najgroźniejsze dla zdrowia i życia uważa zanieczyszczenia cząstkami PM<sub>2,5</sub> i P<sub>10</sub>.



Rys. 2. Poziom emisji poszczególnych zanieczyszczeń powietrza w Unii Europejskiej w latach 2001-2012

Źródło: opracowanie na podstawie [17].



Rys. 3. Poziom emisji poszczególnych zanieczyszczeń powietrza w Polsce w latach 2001-2012

Źródło: opracowanie na podstawie [17].

Zewnętrzne koszty krańcowe transportu w przypadku zanieczyszczenia powietrza różnią się w zależności od gałęzi transportu. W transporcie samochodowym szacuje się je w zależności od rodzaju stosowanego paliwa na 0,17 EUR/vkm w przypadku pojazdów benzynowych i od 1,53 do 10,6 EUR/vkm w zależności od wielkości w przypadku pojazdów z silnikiem o zapłonie samoczynnym. Koszty związane z emisją zanieczyszczeń powietrza przez transport kolejowy są zróżnicowane co wynika z zastosowania różnego rodzaju lokomotyw: dla elektrycznych 0 EUR /pkm, spalinowe od 1,4 do 3,7 EUR /pkm.

W przypadku transportu lotniczego koszty mieszczą się w przedziale <20, 60> EUR/LTO w przypadku lotów krótkodystansowych i <153, 431> dla lotów długodystansowych W przypadku transportu morskiego

i żeglugi śródlądowej występują różnice między transportem masowym - 0,3 eurocenta /tonokilometr, transportem kontenerowym - 0,5 eurocenta/tonokilometr a transportem w technologii roro - 3,2 eurocenta/tonokilometr.

Jeśli chodzi o oszacowanie kosztu dla transportu drogowego to jest ono zależne od typu środka transportowego. Szacuje się, że transport drogowy jest w ponad 40% odpowiedzialny za zanieczyszczenie powietrza w miastach. Zanieczyszczenie powietrza przez same pojazdy ciężarowe kosztuje państwa członkowskie Agencji około 45 mld EUR rocznie, co stanowi prawie połowę kosztów zanieczyszczenia powietrza przez transport drogowy, wynoszących około 100 mld EUR[18].

#### 4.3. Kongestia

Kongestią zgodnie z definicją podaną w [7] nazywamy sytuację powodującą straty czasu przejazdu. Wynikają one ze wspólnego użytkowania elementów infrastruktury przez wiele pojazdów wynikające z ograniczenia pojemności infrastruktury drogowej w przypadku większego natężenia ruchu. W przypadku transportu lotniczego i kolejowego koszty kongestii wynikają ze straty możliwości użytkowania przestrzeni przez innego operatora. Kongestia negatywnie wpływa na działanie systemu transportowego:

- generując opóźnienia w podróży,
- zmniejszając jakość podróży (tłok),
- pogarszając warunki kierowania pojazdem.

Koszty zewnętrzne związane z kongestią stanowią sumę kosztów opóźnień.

$$\forall s \in SK \quad Ksk(s) = \sum_{p \in P} ko(s, p) \quad (5)$$

gdzie:

$p$  – numer pojazdu generującego koszty kongestii,  
 $P$  – zbiór numerów pojazdów uczestniczących w zdarzeniu generującym zatory komunikacyjne  
 $p \in P$ ,

$s$  – numer rodzaju efektu zewnętrznego (w analizowanym wzorze numer zdarzenia generującego zator komunikacyjny),

$SK$  – zbiór numerów efektów zewnętrznych  $s \in SK \quad SK \subset S$ ,

$ko(s, p)$  – koszt opóźnienia  $p$ -tego pojazdu powstałego na skutek  $s$ -tego wypadku,

$Ksk(s)$  – koszt zewnętrzny kongestii.

Kongestię w transporcie drogowym dostrzega się przez coraz większe wzajemne zakłócenia, ograniczoną możliwość manewru i w rezultacie – przez malejącą prędkość pojazdów. W transporcie planowym planuje się przydział przestrzeni lub torów, natomiast zatory pojawiają się z powodu odchyień w planowanym rozkładzie.

#### 4.4. Hałas

Koszty dotyczące hałasu komunikacyjnego są trudne do określenia. Występujące różnice w poziomie hałasu, zarówno jeśli chodzi o zasięg geograficzny, jak i porę dnia, znacznie utrudniają jednoznaczne określenie poziomu hałasu, na który narażona jest ludność zamieszkująca dany teren. Hałas komunikacyjny, swoim zasięgiem miejsca zamieszkania, pracy i poruszania się kilkunastu milionów mieszkańców Polski

Hałas wywiera negatywny wpływ na zdrowie (np. uszkodzenia słuchu i nadpobudliwość, nerwowość) a nawet życie (jedna z przyczyn powodujących zawał serca) ludzi. Efekty zewnętrzne hałasu to przede wszystkim.:

- straty produktywności ludzi z powodu dekoncentracji, zmęczenia, braku snu, wypoczynku - niższa wydajność, pogorszenie jakości pracy;
- leczenie i rehabilitacja.

W tabeli 2 przedstawiono wysokość kosztów zewnętrznych generowanych przez hałas dla poszczególnych rodzajów transportu



Tabela 2. Wykaz wysokość kosztów zewnętrznych generowanych przez hałas [EUR/vkm]

Rodzaj transportu	Emisja hałasu	
	min	max
Transport samochodowy	0,008	0,034
Transport kolejowy	0,017	0,052
Transport lotniczy	1,5	12

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3].

## 5. WNIOSKI

Ciągły wzrost liczby przewozów pasażerskich i towarowych niweczy skutki podejmowanych przeciwdziałań szkodom wywołanym przez transport. Jednocześnie wciąż utrzymuje się niekorzystna struktura długości przewozu. Ponad połowa przejazdów w Europie to przewozy na odległość do 5 km, czyli takie dla których ilość emitowanych do atmosfery szkodliwych substancji jest najwyższa.

Koszty zewnętrzne wynikające z działalności transportowej zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju powinny być ponoszone przez ich wytwórców („zanieczyszczający płaci”). Jedną z metod osiągnięcia tego jest ich internalizacja czy przerzucenie kosztów z otoczenia i społeczeństwa na przewoźników. Obecnie nie wszystkie rodzaje transportu są obciążone tymi kosztami.

*Praca naukowa zrealizowana w ramach projektu badawczego pt. „Kształtowanie proekologicznego systemu transportowego” (EMITRANSYS) finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.*

### Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienie kosztów zewnętrznych ze szczególnym uwzględnieniem roli transportu w ich generowaniu. Zaprezentowano podział efektów zewnętrznych i ich skutki generujące koszty. Opisano podstawowe metody szacowania kosztów zewnętrznych. Przedstawiono w postaci formalnej wzory różnych rodzajów kosztów zewnętrznych. Określono wysokości kosztów w przeliczeniu na pojazdokilometr w przypadku zanieczyszczenia powietrza czy też wypadków.

Słowa kluczowe: transport, efekty zewnętrzne, koszty zewnętrzne.

### Selected aspects of estimating external costs of transport

#### Abstract

Article presents the problem of external costs with particular attention paid to role of transport in their generating. The classification of external effects as well as their effects influencing costs is presented. The basic methods of external costs estimation are presented and discussed. The formal description of different aspects of external costs is given. The costs per vehicle-km of pollution and accidents are estimated on the example.

Key words: transport, external effects, external costs.

### LITERATURA

- [1] Ambroziak, T., Gołębiowski, P., Pyza, D., Jacyna-Gołda, I., Merkiśz-Guranowska, A.: Identification and Analysis of Parameters for the Areas of the Highest Harmful Exhaust Emissions in the Model EMITRANSYS. Journal of KONES Powertrain and Transport, 2013, cz. 20, nr 3.
- [2] Burdzik R., Śmigalski G.: Uproszczona metodyka naliczania kosztów hałasu komunikacyjnego jako finansowe narzędzie refundacji oddziaływania społecznego, Studia Ekonomiczne / Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach 2014 | nr 165.
- [3] Danklefsen N. (red): Obliczanie kosztów zewnętrznych w sektorze transportu, Parlament Europejski, Bruksela, 2009.
- [4] European Transport Forum 25th, Annual Meeting: Transportation planning methods, vol. I. II Proceedings of Seminar, Brunel University, England, 1997.

- [5] [http://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/doc/2008\\_costs\\_handbook.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/doc/2008_costs_handbook.pdf).
- [6] <http://edroga.pl/inzynieria-ruchu/brd/9255-koszty-wypadkow-drogowych-w-polsce-w-2012-r>.
- [7] Jacyna M.: Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych, Wydawnictwo Oficyny Wydawniczej Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [8] Jacyna-Gołda I., Lewczuk K., Pyza D, Żak J.: Capacitated vehicle routing problem with CO<sub>2</sub> rates for urban transport, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 97, Warszawa 2013.
- [9] Logistyka transportu towarowego w Europie – klucz do zrównoważonej mobilności, Komunikat Komisji Wspólnot Europejskich do Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów z dnia 28.6.2006 r.
- [10] Magnanti T. L., Wong R. T.: Network Design and Transportation Planning: Model and Algorithm Transportation Science, 18, 1984.
- [11] Merkisz J., Merkisz-Guranowska A, Pielecha J, Fuc P, Jacyna M.: Emisje na drodze wydechowe z samochodów osobowych przy użyciu przenośnego systemu pomiaru Emisji (PEMS) Annual International Conference on Architecture & Civil Engineer, 2013.
- [12] Obliczanie kosztów zewnętrznych w sektorze transportu. Analiza porównawcza ostatnich badań w związku z ekologicznym pakietem transportowym Komisji Europejskiej. [www.europarl.europa.eu/](http://www.europarl.europa.eu/).
- [13] Pigou, A. C.: Economics of Welfare. Macmillan Company, London 1952.
- [14] Poskrobko B., Poskrobko T.: Zarządzanie środowiskiem w Polsce, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2014.
- [15] Polityka Transportowa Państwa na lata 2005-2020, Rynek Kolejowy, Październik, 2004.
- [16] World Transport Policy & Practice Volume 8, Number 2, 2002 ISSN 1352-7614.
- [17] [www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/air-emissions-viewer-lrtap](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/air-emissions-viewer-lrtap).
- [18] [www.eea.europa.eu/pl/pressroom/newsreleases/zmniejszenie-kosztow-zdrowotnych-blisko-45](http://www.eea.europa.eu/pl/pressroom/newsreleases/zmniejszenie-kosztow-zdrowotnych-blisko-45).