

dr inż. Maria Kośmiej^{1*)}

ORCID: 0000-0001-6878-9595

dr hab. inż. Jerzy Paślawski, prof. PP¹⁾

ORCID: 0000-0002-5570-2363

Koszty zanieczyszczenia środowiska na drogach ekspresowych

Environmental pollution costs on expressways

DOI: 10.15199/33.2022.12.23

Streszczenie. W artykule omówiono koszty emisji spalin wynikające z ruchu kołowego na drodze ekspresowej. Podzielono je na koszty spowodowane zanieczyszczeniem środowiska oraz związane ze zmianami klimatu. Na przykładzie odcinka drogi o długości 10 km przedstawiono prognozę kosztów na 15 lat oraz zaproponowano rozwiązania, które w istotnym stopniu mogą zmniejszyć koszty emisji spalin.

Słowa kluczowe: koszty zanieczyszczeń środowiska; transport; zmiany klimatu.

Abstract. The article presents the costs of exhaust emissions resulting from road traffic on the expressway. These costs are divided into costs caused by environmental pollution and costs related to climate change. The cost forecast for 15 years was presented on the example of a 10-kilometer section also the results and conclusions were presented. In conclusion, solutions are proposed that can significantly reduce the costs of exhaust emissions.

Keywords: environmental pollution costs; transport; climate change.

Ochrona środowiska to jedno z najistotniejszych wyzwań współczesności. Szkodliwy wpływ działań gospodarczych człowieka stanowi źródło największych problemów XXI w. Dotyczy to nadmiernego wykorzystywania zasobów naturalnych, zanieczyszczenia powietrza, zmian klimatycznych, niszczenia naturalnego środowiska wielu gatunków roślin i zwierząt czy niebezpieczeństwa zniszczenia całych ekosystemów.

Należy podkreślić, że powiązania środowiskowe mają charakter systemowy, bez względu czy dotyczą obszarów lokalnych, regionalnych, krajowych czy międzynarodowych. Już w latach 90. ubiegłego wieku transport został uznany za jedną z najuciążliwszych branż. I nadal się to utrzymuje. Głównymi czynnikami w transporcie, które mają istotny wpływ na środowisko, jest zanieczyszczenie powietrza oraz oddziaływanie na zmiany klimatyczne. Odpowiedzią ze strony polityki społecznej jest stworzenie przez Unię Europejską dokumentów programowych przedstawiających koncepcję zrównoważonego rozwoju w skali całej gospodarki i w poszczególnych sektorach.

Takie działania zostały podjęte na skutek niepowodzeń polityki transportowej w drugiej połowie XX w. [1]. Niezrównoważony transport powoduje zanieczyszczenie środowiska naturalnego, pochłanianie ogromne ilości energii, a wzrost nakładów inwestowanych w tę sferę nie poprawia poziomu jakości świadczonych usług w oczekiwanim stopniu [2]. Celem artykułu jest pokazanie rocznych kosztów wpływających w bezpośredni sposób na środowisko naturalne. Zostały one podzielone ze względu na rodzaj transportu oraz ukazują roczne koszty społeczne na drogach ekspresowych. Wiedza na temat kosztów toksycznych spalin i ich wpływu na środowisko jest podstawą działań związanych z internalizacją tych kosztów i doбором właściwych instrumentów polityki transportowej.

Transport

Rozwój sektora transportowego jest bardzo ściśle powiązany z procesem rozwoju społeczno-gospodarczego na zasadzie sprzężeń zwrotnych. Transport zbliża do siebie rynki, umożliwia zwiększenie produkcji, aktywizuje regiony wokół infrastruktury, czyli jest sektorem gospodarki narodowej umożliwiającym pozostałym jej działom sprawne i efektywne funkcjonowanie [3]. Transport jest też źródłem wielu ne-

gatywnych dla społeczeństwa i gospodarki efektów zewnętrznych, co pociąga za sobą znaczne koszty społeczne. W związku z tym, że większość z nich to koszty zewnętrzne, nie mają one odzwierciedlenia w cenach rynkowych płaconych przez użytkowników transportu [4].

Chodzi o koszty środowiska, wypadków drogowych czy korków i zakłóceń ruchu. Transport zużywa bardzo duże obszary na rozbudowę, a co za tym idzie powoduje znaczne zanieczyszczenia powietrza, wody i gleby oraz ma negatywny wpływ na kształtowanie naturalnego krajobrazu, dewastując w ten sposób ekosystem. Ponadto niekorzystnie wpływa na organizm ludzki. Zgodnie z [5] można wyróżnić cztery obszary w transporcie, w których pojawiają się efekty zewnętrzne.

W przypadku społecznych kosztów transportu, często dotyczą one tylko budowy i utrzymania infrastruktury. Natomiast pomija się koszty związane z pośrednim działaniem transportu, takie jak: wyczerpywanie nieodnawialnych zasobów naturalnych; degradacja środowiska przyrodniczego, zagrożenie zdrowia i życia ludzi czy zanieczyszczenia powietrza i zmian klimatycznych. Wartość tej grupy kosztów jest zaniżana bądź pomijana ze względu na trudności w jej obliczeniu.

¹⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

^{*)} Adres do korespondencji: maria.kosmiej@put.poznan.pl

Emisja toksycznych składników spalin

Unia Europejska współfinansuje w państwach członkowskich różne przedsięwzięcia inwestycyjne, m.in. w sektorze transportu z funduszy strukturalnych oraz z Funduszu Spójności. W działaniach tych wymagane jest wiarygodne uzasadnianie wniosków o współfinansowanie inwestycji. Państwa członkowskie zobligowane są do składania analiz kosztów i korzyści wraz z informacjami o dużych projektach ubiegających się o współfinansowanie. Analiza kosztów powinna obejmować możliwie wszystkie koszty i korzyści, łącznie ze skwantyfikowanymi niepieniężnymi efektami, generowanymi przez przedsięwzięcie w okresie realizacji i eksploatacji, uzyskiwanymi zarówno przez inwestora, jak i innych beneficjentów. Ponadto analiza powinna dać odpowiedź na pytanie, czy realizacja przedsięwzięcia jest w interesie publicznym, dlatego też pomocne stały się wskazówki i wytyczne zawarte w opracowaniu dotyczącym oceny efektywności ekonomicznej, zalecaniej przez Komisję Europejską w tzw. Niebieskiej Księdze, która powstała w Polsce (podręcznik ten został przygotowany przez inicjatywę JASPERS w 2008 r. i zaktualizowany w 2015 r.).

Podczas badań kosztów ekonomicznych inwestycji drogowych [6] możemy wyróżnić dwa główne rodzaje kosztów, które mają wpływ na środowisko naturalne, a mianowicie: związane z oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza oraz zmian klimatycznych.

Koszty związane z oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza obejmują: stężenie pyłów, tlenków azotu, dwutlenku siarki, lotnych związków organicznych oraz ozonu, natomiast zmian klimatycznych – stężenie dwutlenku węgla i emisję gazów cieplarnianych,

Koszty związane z oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza. Oddziaływanie zanieczyszczenia powietrza w przypadku wszystkich opcji i wariantów projektu inwestycyjnego jest określane jako suma oddziaływań generowanych przez wszystkie środki transportu poruszające się na analizowanym obszarze w całym okresie odniesienia. Na koszty jednostkowe zanieczyszczenia powietrza składają się

koszty związane z oddziaływaniem transportu na środowisko naturalne, obejmujące [6]:

- ujemny wpływ na zdrowie ludzkie (schorzenia układu sercowo-naczyniowego oraz układu oddechowego);
- straty materialne (uszkodzenia budynków i obiektów) oraz szkody środowiskowe (negatywny wpływ na bioróżnorodność i ekosystemy).

Do najgroźniejszych zanieczyszczeń powietrza związanych ściśle z transportem należą: pyły (PM10, PM2.5); tlenek azotu (NOx); dwutlenek siarki (SO₂); lotne związki organiczne (VOCs); ozon (O₃). Do obliczania ich oddziaływania na środowisko naturalne w przypadku środków transportu drogowego zastosowano wzór [5]:

$$K_z = L \cdot \sum_{j=1}^2 k_{s,j}(V_{pdr,j}, T, S) \cdot SDR_j \cdot 365 \quad (1)$$

gdzie:

K_z – roczne koszty zanieczyszczeń powietrza przez pojazdy samochodowe [PLN];

j – kategoria pojazdów;

L – długość odcinka drogi [km];

$k_{s,j}(V_{pdr,j}, T, S)$ – jednostkowe koszty zanieczyszczeń powietrza pojazdów kategorii „j” w funkcji prędkości podróży „ $V_{pdr,j}$ ”, ukształtowania terenu „ T ” i stanu technicznego nawierzchni „ S ” [PLN/poj-km];

SDR_j – średnioroczne dobowe natężenia ruchu pojazdów samochodowych j [poj/dobę].

Koszty związane z oddziaływaniem zmian klimatycznych. Ocena oddziaływań zmian klimatycznych

Tabela 1. Prognoza ruchu [SDR] i prędkość podróży $[V_{pdr}]$ w przypadku 10 km odcinka drogi ekspresowej

Table 1. Traffic forecast [SDR] and journey speed $[V_{pdr}]$ for a 10 km section of an expressway

Rok	Prognoza ruchu, średnioroczny dobowy ruch SDR [poj./dobę]				Prędkość podróży V_{pdr} [km/h]		
	samochody osobowe	samochody dostawcze	samochody ciężarowe bez przyczep	z przyczepą	auto-busy	osobowe, dostawcze	ciężarowe, autobusy
2021	2837	478	156	201	49	90,3	73,1
2022	2914	490	160	206	51	90,2	73,1
2023	2992	504	164	212	52	90,2	73,1
2024	3073	517	169	217	54	90,2	72,9
2025	3156	531	173	223	55	90,2	72,9
2026	3241	546	178	229	56	90,2	72,9
2027	3329	560	183	235	58	90,2	72,9
2028	3419	576	188	242	60	90,2	72,9
2029	3511	591	193	248	61	90,2	72,9
2030	3606	607	198	255	63	90,2	72,9
2031	3696	622	203	261	64	90,2	72,9
2032	3789	638	208	268	66	90,2	72,9
2033	3883	654	213	275	68	90,2	72,9
2034	3980	670	218	281	69	90,2	72,9
2035	4080	687	224	288	71	90,2	72,9

Źródło: opracowanie własne

umożliwia określenie wartości ekonomicznej przyrostowych oddziaływań emisji gazów cieplarnianych na zmiany klimatyczne, generowanych przez wszystkie pojazdy wykorzystujące infrastrukturę transportową. Wykorzystywana metoda obliczeń jest zgodna z Carbon Footprint Methodology [7] i bazuje na szacunku oddziaływań wynikających z fazy eksploatacyjnej pojazdu. Emisja gazów cieplarnianych jest wyrażona jako ekwiwalent CO₂, a wszystkie koszty ekonomiczne emisji gazów cieplarnianych wynikają ze zużycia paliwa, a tym samym zależą od prędkości i kategorii pojazdów, a także stanu technicznego nawierzchni drogi i ukształtowania terenu. Całkowity koszt zmian klimatycznych stanowi zatem iloczyn ilości gazów cieplarnianych oraz współczynnika kosztu jednostkowego CO₂. Wzór obliczeniowy jest następujący [6]:

$$K_{ZK} = L \cdot \sum_{j=1}^2 k_{z,k,j}(V_{pdr,j}, T, S) \cdot SDR_j \cdot 365 \quad (2)$$

gdzie:

K_{ZK} – roczne koszty zmian klimatycznych [PLN];

j – kategoria pojazdów;

L – długość odcinka drogi [km];

$k_{z,k,j}(V_{pdr,j}, T, S)$ – jednostkowe koszty zmian klimatycznych pojazdów kategorii „j” w funkcji prędkości podróży „ $V_{pdr,j}$ ”, ukształtowania terenu „ T ” i stanu technicznego nawierzchni „ S ” [PLN/poj-km];

SDR_j – średnioroczne dobowe natężenia ruchu pojazdów samochodowych j [poj/dobę].

Przykład

W celu zobrazowania wielkości kosztów emisji toksycznych składników spalin przedstawimy analizę odcinka drogi ekspresowej długości 10 km na przestrzeni 15 lat eksploatacji. Tak długi okres szacunków wynika z długiego okresu życia obiektów infrastruktury. Z badań przeprowadzonych przez Wojewódzką-Król [7], drogi kołowe wykazują się żywotnością 15 – 30 lat. W celu prawidłowego określenia wielkości kosztów zanieczyszczeń środowiska należy najpierw oszacować prognozowany ruch oraz średnią prędkość podróży na tym odcinku (tabela 1). Koszty zanieczyszczeń powietrza oraz zmian klimatu w przypadku analizowanego odcinka drogi ekspresowej przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Struktura kosztów dotyczących zanieczyszczenia powietrza i zmiany klimatu wygląda podobnie. Aż 76,25% kosztów wynika z podróży samochodami osobowymi, a ponad 12% stanowią koszty generowane przez samochody dostawcze. Koszty podróży samochodów dostawczych z przyczepą i bez niej stanowią jedynie ok. 5% wszystkich kosztów, a najmniejsze koszty – ok. 1,33% wykazuje podróż autobusem.

Wnioski

Zrównoważony rozwój transportu powinien stanowić główny priorytet polityki transportowej nie tylko w Polsce, ale również na całym świecie. Jeszcze kilkanaście lat temu nie mieliśmy narzędzi i możliwości dokładnego wskazania uwarunkowań i działań wpływających na redukcję kosztów zanieczyszczeń środowiska, natomiast teraz pojawiło się wiele konkretnych założeń precyzyjnie je określających. Chcąc konstruować i wdrażać odpowiednie mechanizmy, należy mieć dostęp do wszystkich niezbędnych informacji, które pozwolą na poprawne określenie realiów i wskażą konkretne rozwiązania. Z tego powodu szacunek kosztów w polityce transportowej jest konieczny do prawidłowego jej rozwoju, gdyż wielkości te ukazują gałęzie sieci komunikacyjnej, w których należy podjąć dodatkowe działania.

Największe koszty generują podróże samochodami osobowymi. Stanowią one ponad 60% całkowitych kosztów

Tabela 2. Koszty zanieczyszczeń powietrza w przypadku 10 km odcinka drogi ekspresowej [PLN]
Table 3. Air pollution costs for a 10 km section of an expressway [PLN]

Rok	Samochody osobowe	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe		Autobusy	Razem
			bez przyczep	z przyczepą		
2021	994 146,09	167 352,30	54 560,00	70 298,46	17 312,31	1 303 669,15
2022	1 020 988,04	171 870,81	56 033,12	72 196,52	17 779,74	1 338 868,22
2023	1 048 554,72	176 511,32	57 546,01	74 145,82	18 259,79	1 375 017,66
2024	1 076 865,69	181 277,13	59 099,75	76 147,76	18 752,81	1 412 143,14
2025	1 105 941,07	186 171,61	60 695,45	78 203,75	19 259,13	1 450 271,00
2026	1 135 801,48	191 198,24	62 334,22	80 315,25	19 779,13	1 489 428,32
2027	1 166 468,12	196 360,60	64 017,25	82 483,76	20 313,17	1 529 642,89
2028	1 197 962,76	201 662,33	65 745,71	84 710,82	20 861,62	1 570 943,24
2029	1 230 307,75	207 107,21	67 520,85	86 998,02	21 424,88	1 613 358,71
2030	1 263 526,06	212 699,11	69 343,91	89 346,96	22 003,36	1 656 919,40
2031	1 295 114,21	218 016,59	71 077,51	91 580,64	22 553,44	1 698 342,38
2032	1 327 492,07	223 467,00	72 854,45	93 870,15	23 117,28	1 740 800,94
2033	1 360 679,37	229 053,68	74 675,81	96 216,91	23 695,21	1 784 320,96
2034	1 394 696,35	234 780,02	76 542,70	98 622,33	24 287,59	1 828 928,99
2035	1 429 563,76	240 649,52	78 456,27	101 087,89	24 894,78	1 874 652,21

Zródło: opracowanie własne

Tabela 3. Koszty zmian klimatu [PLN]

Table 3. Climate change costs [PLN]

Rok	Samochody osobowe	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe		Autobusy	Razem
			bez przyczep	z przyczepą		
2021	2 133,27	359,11	117,08	150,85	37,15	2 797,46
2022	2 190,87	368,81	120,24	154,92	38,15	2 872,99
2023	2 250,02	378,76	123,48	159,10	39,18	2 950,56
2024	2 310,77	388,99	126,82	163,40	40,24	3 030,22
2025	2 373,17	399,49	130,24	167,81	41,33	3 112,04
2026	2 437,24	410,28	133,76	172,34	42,44	3 196,06
2027	2 503,05	421,36	137,37	177,00	43,59	3 282,36
2028	2 570,63	432,73	141,08	181,78	44,77	3 370,98
2029	2 640,04	444,42	144,89	186,68	45,97	3 462,00
2030	2 711,32	456,42	148,80	191,72	47,22	3 555,47
2031	2 779,10	467,83	152,52	196,52	48,40	3 644,36
2032	2 848,58	479,52	156,33	201,43	49,61	3 735,47
2033	2 919,79	491,51	160,24	206,47	50,85	3 828,86
2034	2 992,79	503,80	164,25	211,63	52,12	3 924,58
2035	3 067,61	516,39	168,35	216,92	53,42	4 022,69

Zródło: opracowanie własne

transportu. Wynik ten prowadzi do wniosku, że rozwój nowych, ekologicznych technologii, takich jak samochody hybrydowe czy elektryczne oraz te z silnikiem wodorowym może obniżyć koszty emisji toksycznych spalin.

Literatura

- [1] Joint Assistance to Support Projects in European Regions, Niebieska księga. Infrastruktura drogowa. Ministerstwo Rozwoju Regionalnego. 2015.
- [2] Rothengater W. External Effects of Transport. W: Polak JB, Heertje A (red.), Analytical transport economics. An International Perspective. 2000: 79 – 116.
- [3] Koźlak A. Nowoczesny system transportowy jako czynnik rozwoju regionów w Polsce. Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2012.

[4] Bąk M, Pawłowska B. Koszty zewnętrzne transportu w Unii Europejskiej – od wizji politycznej do jednolitych metod kalkulacji. Przegląd Komunikacyjny. 2008; 7 – 8, 22 – 41.

[5] Pawłowska B. An overview of the progress towards sustainable transport development by using TERM indicators. W: Suchanek M (red.). Sustainable transport development innovation and technology. Proceedings of the 2016 Tran Sopot Conference (pp. 27 – 46). Springer. 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-51427-7_3 politycznej do jednolitych metod kalkulacji. Przegląd Komunikacyjny. 2008: 7 – 8, 22 – 41.

[6] Pawłowska B. Zrównoważony rozwój transportu na tle współczesnych problemów społeczno-gospodarczych. Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego. 2013.

[7] Wojewódzka-Król K (red.). Rozwój infrastruktury transportu, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1999.

Przyjęto do druku: 08.11.2022 r.