Economics and Organization of Logistics
11 (1), 2026, 33–55

DOI: 10.22630/EIOL.2026.11.1.2

Zgłoszono: 09.01.2026
Zaakceptowano: 26.04.2026

Grzegorz Dzieniszewski[1]✉, **Wiktoria Sasiela**[2], **Wiesław Piekarski**[2], **Dariusz Piekarski**[3], **Natalia Toboła**[4], **Zbigniew Kowalczyk**[4]

[1] Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Politechnika Rzeszowska

[2] Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu

[3] Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

[4] Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Ocena oddziaływania środków transportu i maszyn roboczych na środowisko przyrodnicze

Assessment of the environmental impact of transport vehicles and work machinery

Synopsis. Artykuł prezentuje wyniki oceny oddziaływania środków transportu i maszyn roboczych na środowisko przyrodnicze w pełnym cyklu ich istnienia – od wytworzenia, przez eksploatację, aż po procesy kasacji i recyklingu. Celem pracy jest identyfikacja głównych źródeł degradacji środowiska oraz przedstawienie metod umożliwiających ilościowe wartościowanie tych oddziaływań, ze szczególnym uwzględnieniem koncepcji ekobilansu, nakładów środowiskowych i sozoindeksu. W części metodologicznej omówiono hierarchiczny układ analizy oddziaływań, kategorie nakładów środowiskowych oraz wybrane metody oceny cyklu życia obiektów technicznych. Wyniki badań wskazują, że transport drogowy generuje największe obciążenia środowiskowe, zwłaszcza w zakresie emisji CO_2, NO_2, hałasu i zajęcia terenu, a także odpowiada za znaczną część kosztów społecznych związanych z wypadkami i zanieczyszczeniem powietrza. Wykazano również, że nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne, systemy oczyszczania spalin oraz rozwój paliw alternatywnych mogą istotnie ograniczać poziom emisji. Wnioski wskazują

✉ **Grzegorz Dzieniszewski** – Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Instytut Nauk Technicznych; Politechnika Rzeszowska, Wydział Mechaniczno-Technologiczny; e-mail:g.dzieniszewski@pansp.pl; https:/orcid.org/0000-0002-2712-1131

Wiktoria Sasiela – Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Instytut Nauk Technicznych; e-mail: w.sasiela@pansp.pl; https:/orcid.org/0009-0002-2915-8314

Wiesław Piekarski – Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Przemyślu, Instytut Nauk Technicznych; e-mail: w.piekarski@pansp.pl; https:/orcid.org/0000-0001-6218-3090

Dariusz Piekarski – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie; e-mail: dariusz.piekarski@up.edu.pl

Natalia Toboła – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; e-mail: tobolanatalia1@gmail.com

Zbigniew Kowalczyk – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; e-mail: zbigniew.kowalczyk@urk.edu.pl; https:/orcid.org/0000-0001-8001-2092

CC BY-NC

na konieczność dalszej modernizacji środków transportu, poprawy jakości infrastruktury oraz wdrażania technologii proekologicznych, które pozwolą zmniejszyć presję transportu i mechanizacji na środowisko przyrodnicze.

Słowa kluczowe: ekonomika transportu, koszty zewnętrzne, oddziaływanie środowiskowe

Abstract. The article presents an assessment of the environmental impact generated by transport means and working machinery throughout their entire life cycle, from production and operation to decommissioning and disposal. The aim of the study is to identify the main sources of environmental degradation and to outline methods enabling quantitative evaluation of these impacts, with particular emphasis on environmental load assessment, lifecycle analysis and the concept of the sozoindex. The methodological section discusses the hierarchical structure of environmental impact analysis, categories of environmental inputs, and selected approaches used in ecobalance assessment. The results indicate that road transport is responsible for the highest environmental burden, especially in terms of CO_2 and NO_2 emissions, noise, land use, and the generation of external costs related to accidents and air pollution. The study also shows that modern engineering solutions, advanced combustion control systems, and the development of alternative fuels can significantly reduce emission levels. The conclusions highlight the need for further modernization of transport systems, improvement of technical standards and wider implementation of proecological technologies to effectively limit the pressure exerted by transport and mechanization on the natural environment.

Keywords: transport economics, external costs, environmental impact

Kody JEL: Q53, R41, Q51

Wprowadzenie

Ochrona środowiska przyrodniczego w XXI wieku jest jednym z głównych problemów, przed jakimi stoi obecnie świat. Emisja szkodliwych związków chemicznych, powstających zarówno w fazie produkcji i eksploatacji, jak i podczas wycofywania pojazdów z ruchu i przedostających się do atmosfery, gleby i wody, doprowadziła do degradacji środowiska i ograniczenia zasobów naturalnych Ziemi.

Intensywna eksploatacja naturalnych (konwencjonalnych) źródeł energii i surowców powoduje ich systematyczne wyczerpywanie. Pomimo rozwoju technologii pozyskiwania nowych źródeł energii oraz eksploatacji środków transportu i ich przetwarzania środowisko nie jest chronione przed degradacją – emisją i imisją zanieczyszczeń, w tym spalin i pyłów, infrastrukturą drogową, odpadami motoryzacyjnymi, szkodami górniczymi, skażeniem chemicznym lub radiologicznym czy dewastacją krajobrazu.

Dzięki naukowemu podejściu do problemów środowiskowych można obecnie właściwie kształtować proporcje między wartością obiektów technicznych (środków transportu i maszyn roboczych) a niepowtarzalną wartością elementów środowiska przyrodniczego. Ochrona środowiska wymaga stosowania nowoczesnych metod już na etapie procesu wartościowania i projektowania oraz wytwarzania obiektów. Z tego powodu powszechne jest założenie, że istnienie każdego obiektu technicznego rozciąga się w sensie fizycznym

od fazy jego wytwarzania do fazy likwidacji. Analiza faz istnienia obiektów (cyklu życia) umożliwia minimalizację szkodliwych skutków ich destrukcyjnego oddziaływania na otoczenie i środowisko przyrodnicze oraz spełnienie wymagań i oczekiwań użytkowników.

Projektowanie nowoczesnych środków transportu i maszyn roboczych wymaga bezwzględnego przestrzegania zasad związanych z inżynierią środowiska. Istotną cechą systemu eksploatacji obiektów technicznych jest dążenie do minimalizacji zagrożeń dla zdrowia i życia ludzkiego, innych organizmów żywych i środowiska biologicznego (powietrza, wody, gleby). Minimalizacja zagrożeń związana jest szczególnie ze wzrostem bezpieczeństwa, jakości i efektywności systemów antropotechnicznych i socjotechnicznych.

Materiały i metody

W ramach pełniejszego i dokładniejszego określania nakładów środowiskowych, które uzależnione jest w dużej mierze od rozwoju wiedzy w zakresie rozpoznania efektów oddziaływania wytworów człowieka na środowisko, należy zwrócić uwagę na problem wyznaczania procedury nakładów środowiskowych. Charakter oddziaływania wszelkiego rodzaju czynników na środowisko przyrodnicze jest następujący [Piekarski 2024]:

- pobieranie surowców i materiałów ze środowiska,
- przekazywanie do środowiska zanieczyszczeń i odpadów (zagrożenie środowiska).

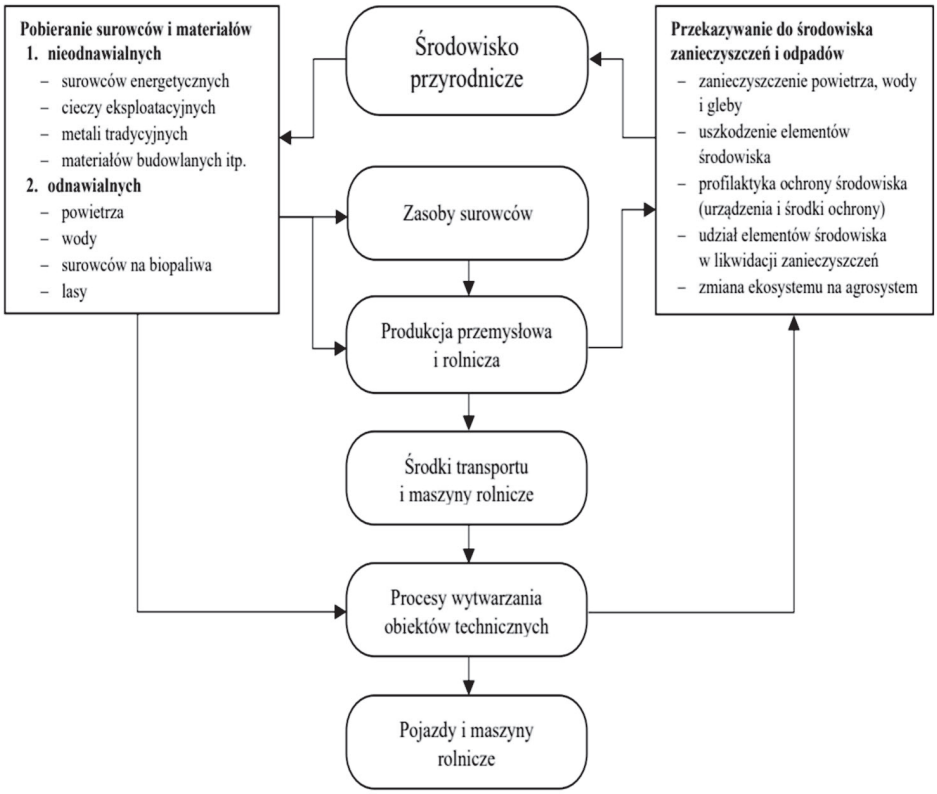
Na rysunku 1 przedstawiono próbę analizy oddziaływania różnych czynników na środowisko w postaci ekobilansu [Kellek i Zuber 1970; Methodik… 1990].

Problematyka oceny obejmującej wartościowanie (określanie ilościowe) wpływu obiektów technicznych na środowisko jest od kilku lat przedmiotem prac badawczych. Znacząca liczba obiektów technicznych (pojazdów, maszyn roboczych, ciągników itp.) obecnie użytkowanych i produkowanych uzasadnia celowość podjęcia tego problemu naukowego [Martelli i in. 2024]. Wiąże się z tym konieczność dokonania oceny oddziaływań obiektów na środowisko przyrodnicze przy wykorzystaniu szeregu metod ekobilansowania, które różnią się między sobą podejściem i przyjętą miarą oceny środowiskowego obciążenia [Tarnas 1997].

Do metod oceny ekobilansu należy zaliczyć:

- środowiskowe oszacowanie cyklu życia obiektów (ilościowe określenie środowiskowego obciążenia),
- analizę cyklu życia (etykietowanie obiektów znakiem „eko”),
- metodę ekobilansowania Feckera (tylko ekobilansowanie wymierne),
- metodę ekopunktową (współczynnik ekologiczny określający zasoby elementów środowiska),
- metodę sumarycznych nakładów środowiska (wyznaczanie nakładów środowiska i ocena).

Kryterium oceny socjologicznej jest istotnym elementem ekobilansu, dlatego przyjmuje się sumaryczne nakłady środowiskowe (SNS). Do wartościowania rozwiązań obiektów technicznych wykorzystywane są wskaźniki określające ich efektywność. W przypadku kryterium sozologicznego przyjmuje się ogólnie, że będzie to efektywność środowiskowa poniesionych nakładów, określana mianem nakładów środowiskowych [Klos 1995; Marczuk i in. 2015].



Rysunek 1. Charakter oddziaływania różnych czynników na środowisko przyrodnicze
Figure 1. The nature of the impact of various factors on the natural environment

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Na podstawie powyższego stwierdzenia jako zasadnicze kryterium sozologiczne dla obiektów technicznych przyjmowany jest stosunek sumarycznych nakładów środowiska do parametru charakteryzującego efekt użytkowy pracy obiektów. Otrzymuje się w ten sposób wskaźnik sozologiczny – sozoindeks (*SIS*):

$$SIS = \frac{SNS}{WPO} \tag{1}$$

gdzie:
SNS – sumaryczny nakład środowiskowy;
WPO – wolumen pracy obiektu technicznego, charakteryzujący jego kompleksowy efekt użytkowy.

Mimo tak różnej natury oddziaływań środowiskowych w praktyce dąży się do kwantyfikacji (wartościowania) otrzymanych wyników, nawet tych dotyczących oddziaływań „niematerialnych", których celem jest określenie oddziaływania sumarycznego. W celu umożliwienia prowadzenia kwantyfikacji oddziaływania obiektów (środków

transportu, maszyn roboczych i urządzeń oraz cieczy eksploatacyjnych) na środowisko wprowadzono pojęcie nakładu środowiskowego (*NS*). Jest nim każdy pobrany lub przekazany do środowiska element (np. surowiec mineralny, zanieczyszczenie, odpady poprodukcyjne) odniesiony do wielkości charakteryzującej zasób środowiska w danej kategorii nakładów. W przypadku surowców nieodnawialnych (np. kopalin typu węgiel czy ropa naftowa) wartość poniesionego nakładu środowiskowego charakteryzuje następująca relacja:

$$NS = \frac{Ilość\ pobranego\ surowca\ [\text{Mg lub kg}]}{Udokumentowana\ ilość\ zasobów\ tego\ surowca\ [\text{Mg lub kg}]} \tag{2}$$

Analizując różne formy oddziaływania na środowisko, można wyróżnić wiele kategorii nakładów, takich jak:

- materiały i surowce,
- nośniki energii,
- zasoby pracy ludzkiej,
- oddziaływanie antropopresyjne.

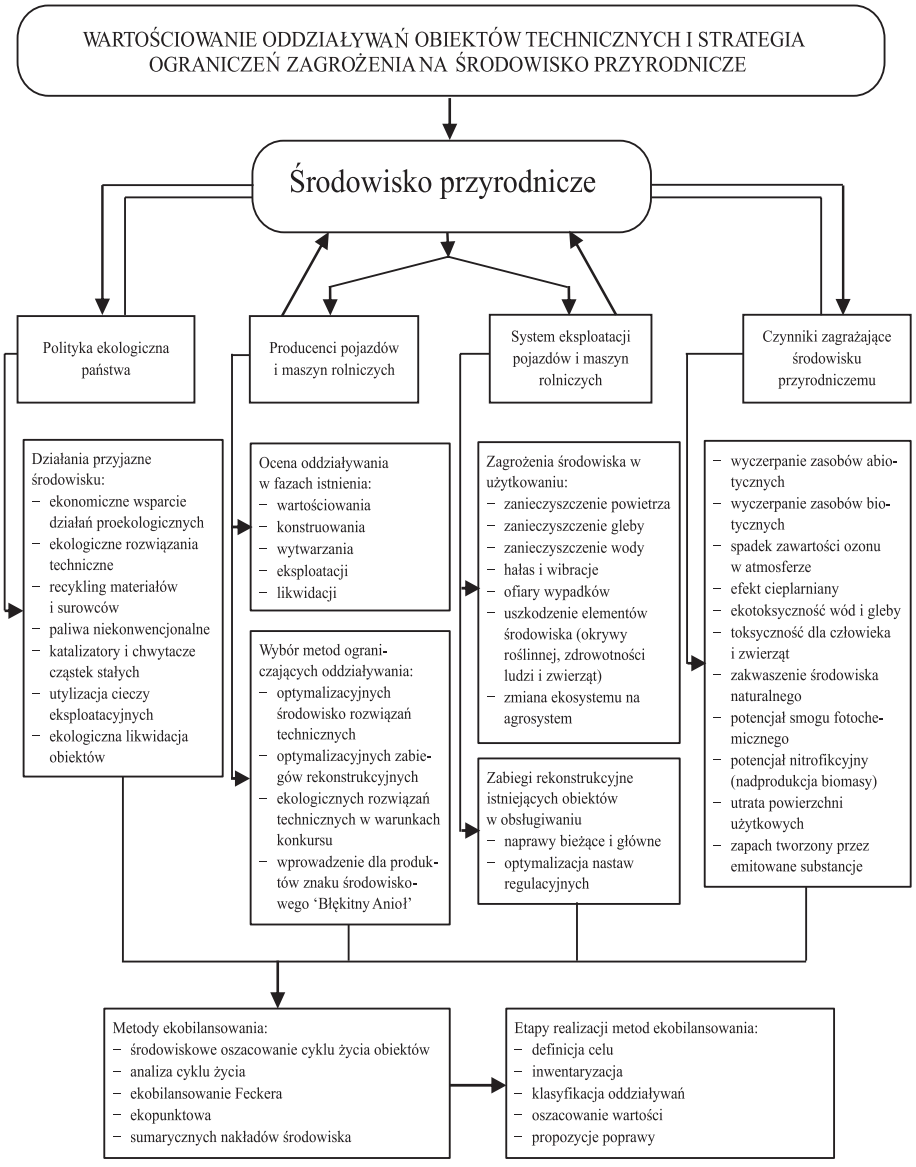
Przy sporządzaniu bilansu oddziaływań obiektów technicznych na środowisko należy posłużyć się układem hierarchicznym stworzonym ze względu na naturę oddziaływań lub ich istotność. Głównym wyznacznikiem istotności jest siła oddziaływania na środowisko, ujawniająca się głębokością zmian w nim zachodzących. Spójny system hierarchiczny należy zdekomponować do postaci podsystemów i zajmować się nimi odrębnie. Ułatwia to znacznie procedurę analizy i pozwala dokładniej wyznaczyć składowe bilansu oddziaływań [Bojarski 1984].

Należy zaznaczyć, że powstaje w ten sposób niezwykle trudna do oceny grupa oddziaływań natury psychofizycznej. Olbrzymia liczba obiektów technicznych – środków transportu, maszyn roboczych, urządzeń oddziałujących na środowisko itp. – obecnie użytkowanych i ustawicznie produkowanych uzasadnia celowość podjęcia tego zagadnienia. Zasadnicze problemy związane z oceną i wyborem kryteriów wartościowania oddziaływań obiektów na środowisko zostały zaprezentowane na rysunku 2.

Motoryzacja i mechanizacja rolnictwa oraz środowisko przyrodnicze tworzą system, w którym jeden czynnik oddziałuje na drugi: środki techniczne zanieczyszczają środowisko, a konieczność ochrony środowiska nakłada na motoryzację ograniczenia w postaci norm określających dopuszczalną emisję spalin i pyłów, poziom biodegradacji paliw, olejów i płynów eksploatacyjnych oraz ich toksyczność (rys. 2). Analizując proces eksploatacji obiektów technicznych, należy wziąć pod uwagę całkowity cykl ich „życia", od uruchomienia produkcji aż po złomowanie, co ma istotne znaczenie w aspekcie oszczędności energii i ochrony środowiska przyrodniczego. Procesy produkcji i kasacji (przetop metali, złomowanie, utylizacja cieczy eksploatacyjnych itp.) również wiążą się z powstawaniem wielu substancji zanieczyszczających środowisko [Bereś i Ciołkowska 1994].

Dla zarysowania całości zagadnienia celowe jest przedstawienie obszarów, w których należy poszukiwać zagrożeń dla środowiska wynikających z różnych oddziaływań urządzeń technicznych. Analizując etapy istnienia obiektów technicznych w aspekcie oddziaływania na środowisko, należy wyróżnić przede wszystkim eksploatację i wytwarzanie oraz likwidację będącą odrębnym etapem istnienia obiektów. Obecnie zwraca się szczególną uwagę na „przyjazność" urządzeń technicznych dla środowiska

przyrodniczego. Oddziaływanie obiektów technicznych w fazie wytwarzania, eksploatacji i kasacji może występować praktycznie we wszystkich elementach środowiska [Piekarski i in. 2016].



Rysunek 2. Wartościowanie i ocena oddziaływania czynników w aspekcie dewastacji biośrodowiska
Figure 2. Valuation and impact assessment of factors in the context of bioenvironment degradation

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]

Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

Do degradacji środowiska dochodzi zarówno w czasie eksploatacji różnego rodzaju środków transportu, maszyn roboczych i urządzeń (tab. 1), jak też w procesie utylizacji cieczy eksploatacyjnych (głównie olejów i smarów). Paliwa, oleje, smary itp. zanieczyszczają środowisko praktycznie na wszystkich etapach ich stosowania: w czasie transportu do użytkowników, długiego magazynowania, podczas pracy pojazdów i maszyn, a także przy zbiórce i utylizacji [Gutowski 1992].

Tabela 1. Szacunkowa emisja substancji szkodliwych ze wszystkich środków transportu i maszyn roboczych

Table 1. Estimated emissions of harmful substances from all means of transport and work machinery

Emisja substancji szkodliwych	**CO**	**CO_2**	**CH**	**NO_2**	**Pb**	**SCh**
Emisja [tys. ton]	1040	13 350	270	290	1,0	54
Udział procentowy:						
pojazdy samochodowe	38	94	76	35	45	44
ciągniki i maszyny rolnicze	8	21	6	20	–	31
kolej	1	2	2	6	–	8
żegluga	1	1	1	4	–	4

Źródło: opracowanie własne

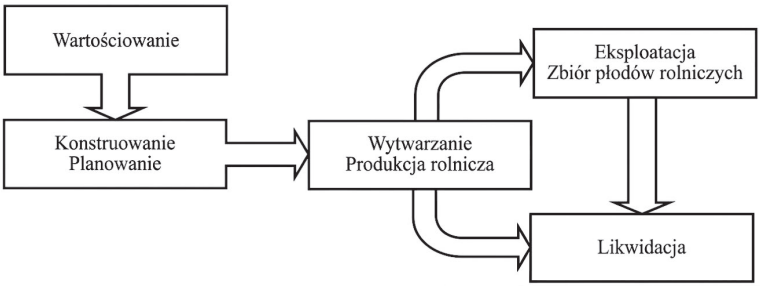
Source: own elaboration

Jak wspomniano wcześniej, dzięki coraz powszechniejszemu zrozumieniu problematyki środowiskowej na pierwszy plan wysuwają się obecnie zagadnienia właściwego kształtowania proporcji między wartością obiektów (urządzeń technicznych) a niepowtarzalną wartością elementów środowiska. Z tego powodu celowe jest wysunięcie propozycji szerszego niż dotychczas analizowania etapów życia obiektów. W aktualnej sytuacji środowiskowej podejście tego typu wydaje się celowe, szczególnie gdy chodzi o wyroby wytwarzane w dużych ilościach (wielkoseryjnie).

W wartościowaniu bardzo istotne jest pozyskiwanie informacji dla celów projektowych, produkcyjnych czy też eksploatacyjnych danego typu obiektu technicznego. Do wartościowania rozwiązań technicznych coraz częściej używa się wskaźników określających ich efektywność [Lončarević i in. 2023]. W przypadku kryterium sozologicznego będzie to, ogólnie mówiąc, efektywność środowiskowa poniesionych nakładów, określanych mianem nakładów środowiskowych.

W fazie wartościowania ekologicznego pojazdów i maszyn ich konstruktorzy i producenci wykorzystują najnowsze osiągnięcia techniki i mechatroniki, a także doświadczenia z dotychczasowej eksploatacji badań eksploatacyjnych i diagnostycznych prowadzonych we wszystkich fazach istnienia obiektów.

Rozważając ekologiczne aspekty obiektów produkcji rolniczej, należy zwrócić uwagę na powstawanie nakładów środowiskowych w różnych fazach istnienia obiektów. Z zasad ekorozwoju procesów zachodzących w produkcji rolniczej wynika, że powinny się one charakteryzować wysoką sozologicznością, której miernikiem jest sozoindeks. Im sozoindeks jest mniejszy, tym sozologiczność obiektu jest większa, i odwrotnie. Analizę i ocenę sozologiczności obiektów i procesów rolniczych możemy przeprowadzać w różnych fazach ich istnienia, co zostało przedstawione na rysunku 3 – w wytwarzaniu (produkcja przemysłowa i rolnicza) i eksploatacji (transport surowców i produktów).



Rysunek 3. Fazy powstawania nakładów środowiskowych
Figure 3. Stages of environmental cost formation
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

Należy zaznaczyć, że wpływ motoryzacji i mechanizacji rolnictwa na środowisko jest bardzo różny, głównie ze względu na zróżnicowanie środków transportu, warunki ich eksploatacji, użytkowania i obsługiwania, ale również system powiązań transportu ze wszystkimi dziedzinami gospodarki krajowej i międzynarodowej. Główne czynniki związane z motoryzacją i mechanizacją prac oddziałujące na środowisko przyrodnicze przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Oddziaływanie motoryzacji i maszyn roboczych na środowisko
Figure 4. Entities affected by the environmental impact of motor vehicles and work machinery
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

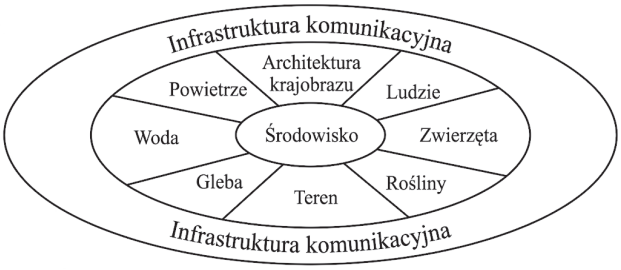
Można zauważyć znaczne różnice poziomu i składu emitowanych produktów spalania przez środki transportu i maszyny robocze w zależności od ich konstrukcji i rodzaju silnika. Zastosowanie kompleksowych rozwiązań w postaci głowicy czterozaworowej, regulowanych nastaw układu dolotowego, regulowanych nastaw faz otwarcia zaworów dolotowych i wylotowych, zwiększenia ciśnienia wtrysku paliwa, optymalizacji procesu wtrysku i zapłonu paliwa, recyrkulacji spalin itp. może się przyczynić do ponad 30% oszczędności zużycia paliwa, co w konsekwencji powoduje zmniejszenie poziomu emisji spalin.

Paliwa, materiały i ciecze stanowią duże zagrożenie dla wszystkich elementów środowiska na każdym etapie eksploatacji. Szczególnie niebezpieczne są trudne do oceny

sytuacje awaryjne (katastrofy) podczas produkcji i dystrybucji. Proces globalizacji w tej dziedzinie jest z jednej strony korzystny – powoduje wzrost jakości i zmniejszenie kosztów produkcji, a z drugiej strony niesie ogromne zagrożenia dla środowiska.

Materiały eksploatacyjne, tj. paliwa i ciecze, odgrywają podstawową rolę w zanieczyszczeniu środowiska. Powstające produkty ich spalania w silnikach stanowią obecnie 70–80% zanieczyszczeń w dużych aglomeracjach miejskich. Emisja przez środki transportu substancji szkodliwych dla organizmów żywych (szkodliwych składników spalin, pyłów i metali) wraz z nadmierną emisją CO_2 sprzyja powstawaniu efektu cieplarnianego w atmosferze.

Oddziaływanie środków transportu (motoryzacji i mechanizacji) powoduje również zmianę procesów naturalnych w środowisku przyrodniczym i otoczeniu człowieka, co przedstawiono na rysunku 5 [Piekarski 2024].



Rysunek 5. Oddziaływanie motoryzacji i mechanizacji prac na elementy środowiska przyrodniczego
Figure 5. Impact of motorization and work mechanization on components of the natural environment
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

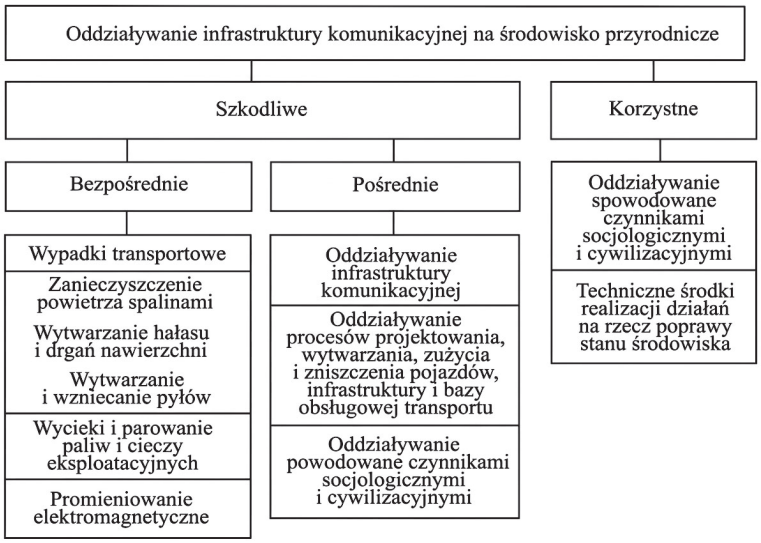
Zanieczyszczenia powietrza, gleby, wód powierzchniowych i głębinowych (zanieczyszczenia ropopochodne) powodowane przez oddziaływanie infrastruktury komunikacyjnej może niekiedy prowadzić do zmian ekosystemu na skalę globalną (np. niszczenie ekosystemu).



Rysunek 6. Działania związane z transportem wpływające na środowisko
Figure 6. Transport-related activities affecting the environment
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Piekarski 1997]
Source: own elaboration based on [Piekarski 1997]

Infrastruktura komunikacyjna i zakłady przemysłowe, a przede wszystkim mosty, wiadukty i stacje paliw oraz składowiska odpadów w znacznej części związanych z motoryzacją, mogą stanowić poważne zagrożenie dla krajobrazu. Do działań związanych z motoryzacją, które mają istotny wpływ na środowisko, zaliczyć można m.in. społeczne zapotrzebowanie na dany obiekt techniczny, projektowanie, produkcję, dystrybucję czy obsługę posprzedażową (rys. 6).

Transport i mechanizację rolnictwa należy jednak postrzegać nie tylko jako szkodliwe oddziaływanie na środowisko, ale upatrywać w niej także czynników korzystnych, które zazwyczaj nie są wyraźnie zauważane (rys. 7). Szkodliwe oddziaływanie motoryzacji na środowisko można natomiast podzielić na bezpośrednie i pośrednie.



Rysunek 7. Przykład oddziaływania motoryzacji na środowisko
Figure 7. An example of the environmental impact of motorization
Źródło: [Piekarski 2005; Chłopek 2002]
Source: [Piekarski 2005; Chłopek 2002]

Wyniki badań i dyskusja

Transport drogowy a degradacja środowiska przyrodniczego

Zagrożenia dla środowiska powstają na etapach produkcji, eksploatacji środków transportu oraz pozyskiwania i przetwarzania surowców na paliwa. Dużym problemem związanym z olbrzymią masą odpadów pochodzących z transportu, przemysłu i działalności komunalnej jest ich składowanie, odzysk i utylizacja. Zmiany środowiska naturalnego oddziałują na szereg powiązanych zjawisk, takich jak:

- choroby nowotworowe,
- kwaśne deszcze,
- wymieranie lasów,

- zanik warstwy ozonowej w stratosferze,
- efekt cieplarniany,
- zmiany klimatyczne i wiele innych.

Dynamiczny rozwój transportu drogowego zanieczyszczającego środowisko stanowi poważne zagrożenie dla równowagi ekologicznej, zarówno w skali całego świata, jak i poszczególnych regionów [Sarna 1997]. Nowe dyrektywy UE, a w ślad za nimi przepisy krajowe wyraźnie wskazują, że transport ma być maksymalnie bezpieczny, wydajny, wygodny i płynny, a także zorientowany na nowoczesną strategię rozwoju i ograniczenie wzrostu liczby jego zadań (zrównoważony rozwój).

Negatywny wpływ transportu na środowisko naturalne powoduje jego degradację, co pociąga za sobą znaczne koszty, zarówno pośrednie (pojawiają się w procesie projektowania, wytwarzania, eksploatacji i kasacji środków transportu oraz infrastruktury), jak i bezpośrednie (kolizje drogowe, zanieczyszczenia powietrza, hałas i drgania, wycieki paliwa itd.).

Bezpośrednie skutki oddziaływania transportu na środowisko są najczęściej mało wymierne, jednak coraz częściej podejmuje się próby ich oszacowania. Procentowy udział poszczególnych gałęzi transportu w ogólnych kosztach zewnętrznych oddziaływania na środowisko przedstawiono w tabeli 2.

Priorytetowa strategia rozwoju gospodarczego w wyniku znacznego wzrostu udziału transportu w degradacji środowiska wymusza podjęcie działań mających na celu ograniczenie tego niekorzystnego oddziaływania. Stopień niekorzystnego oddziaływania transportu na środowisko zależy od wielu czynników, m.in.:

- technologii transportu,
- natężenia i płynności ruchu,
- struktury gałęziowej systemu transportowego,
- poziomu technicznego i technologicznego środków transportu itp.

Tabela 2. Udział procentowy poszczególnych gałęzi transportu w ogólnych kosztach zewnętrznych
Table 2. Percentage share of each transport mode in total external costs

Udział poszczególnych gałęzi	Transport lotniczy	Kolej	Żegluga	Transport samochodowy	Razem
Zanieczyszczenie powietrza	2	4	3	91	100
Hałas	26	10	0	64	100
Zajmowanie terenu	1	7	1	91	100
Koszty budowy i utrzymania	2	37	5	56	100
Kolizje	1	1	0	98	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Pośrednie szkodliwe oddziaływanie na środowisko związane z działalnością transportową wynika głównie z: pozyskiwania i wytwarzania surowców i materiałów, zagospodarowania zużytych środków i materiałów oraz produkcji środków transportu.

Degradacja środowiska przez transport:

1. wywołuje szereg lokalnych negatywnych skutków związanych z warunkami życia, pracy i wypoczynku (hałas, miejscowe zanieczyszczenie powietrza),

2. generuje skutki o zasięgu międzynarodowym, takie jak kwaśne deszcze (emisja NO_x) czy zanieczyszczenie wód morskich,
3. przyczynia się do powstawania globalnych problemów środowiskowych, takich jak dziury ozonowe, globalne ocieplenie itp.

Charakterystyka i skala oddziaływania różnych gałęzi transportu na środowisko zostały zaprezentowane w tabeli 3. Wzrost liczby środków transportu i zwiększenie zadań transportowych niosą za sobą zwiększenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery, co przyczynia się do tak istotnych zagrożeń dla ludzkości jak globalne ocieplenie czy zanikanie warstwy ozonowej. Kolejne Szczyty Ziemi i konferencje klimatyczne pozwoliły nagłośnić problemy, przed jakimi stoją społeczeństwa na początku XXI wieku. Unia Europejska, w tym Polska, podjęła wiele działań w ramach polityki proekologicznej, takich jak dofinansowanie badań, wprowadzanie podatków produktowych czy obniżenie podatku w przypadku paliw ekologicznych, co zwiększa ich popularność.

Tabela 3. Charakterystyka oddziaływania środków transportu na środowisko przyrodnicze
Table 3. Characteristics of the impact of transport on the natural environment

Charakterystyka oddziaływania				
Wpływ na środowisko	Zanieczyszczenie powietrza	Zanieczyszczenie wody gruntowej	Tereny leśne	Zdrowie i bezpieczeństwo
Stały wpływ			Zajęcie terenu, zanieczyszczenie krajobrazu	
Wpływ w czasie eksploatacji	Emisja CO_2 i innych gazów wywołujących efekt cieplarniany	Rozprzestrzenianie sie zanieczyszczeń	Kwaśne deszcze	Wypadki, hałas, wibracje
Ryzyko w czasie przeładunku	Rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznych	Rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznych	Rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznych, ryzyko pożaru	Toksyczne wycieki, ryzyko pożaru i eksplozji
Ranga oddziaływania wg elementów środowiska i gałęzi transportu				
Transport samochodowy	***	*	***	***
Transport kolejowy	**		**	*
Transport wodny	*	**[A]	*	
Transport lotniczy[B]	*		*	*

Poziom oddziaływania na środowisko: * – słaby, ** – istotny, *** – bardzo duży.

[A] – wpływ może być znaczny, gdy dojdzie do wypadku; [B] – wpływ nie jest dobrze rozpoznany.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Środki transportu i maszyny robocze a emisja toksycznych składników spalin

Podstawowym problemem związanym z transportem jest zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego (głównie powietrza i gleby), które wiąże się ściśle ze zużyciem energii (paliwa). Wzrost udziału transportu w konsumpcji nośników energii wynika przede

wszystkim z dynamicznego rozwoju rynku pracy, co jest z kolei wynikiem intensywnego rozwoju transportu, głównie drogowego i lotniczego – gałęzi, które charakteryzują się największym zużyciem paliwa.

W krajach o rozwiniętej motoryzacji i mechanizacji prac globalna emisja tlenku węgla (CO_2) wynosi od 70 do 90% – pochodzi on przede wszystkim z silników spalinowych. Najwięcej dwutlenku węgla pod względem masy (ponad 2 mld ton) emituje transport, to ok. 25% całkowitej światowej emisji tego gazu. Szkodliwość toksyn emitowanych ze spalinami przez infrastrukturę drogową ma charakter wielowymiarowy, oddziałuje bowiem w sposób bezpośredni na środowisko (powietrze, wodę, glebę), ale i na całe życie biologiczne. Poważny problem środowiskowy stanowi również emisja pyłów związana ze zużyciem elementów pojazdu (opony, sprzęgła, hamulce itp.) [Stoma i in. 2015].

Negatywnymi wyróżnikami krajowego parku pojazdów samochodowych są: stan techniczny (wycieki i wyziewy), nadmierne zużycie energii (masa spalin), jakość procesu przygotowania i spalania oraz katalizatory i filtry cząstek stałych itp.

Wysoki poziom emisji zanieczyszczeń przez pojazdy i maszyny robocze jest powodowany przez:

- wysoki średni wiek pojazdów (wpływający na pogorszenie ich stanu technicznego),
- import używanych pojazdów (często nieekologicznych),
- niewłaściwą jakość systemu kontroli technicznej pojazdów,
- nieuzasadniony system oszczędności na kosztach eksploatacji (przeglądy techniczne, wymiany zużytych części zespołów, np. opon, nastawy regulacyjne, jakość napraw).

Główne kierunki działań zmierzające do zmniejszenia skażenia środowiska to:

- wdrażanie zaostrzonych standardów homologacyjnych,
- wdrażanie zaostrzonych standardów ekologicznych dla pojazdów (Euro 3, 4, 5 i 6),
- montowanie w samochodach czujników AdBlue,
- poprawa poziomu obsługi i kontroli technicznej pojazdów,
- poprawa jakości paliw, smarów i cieczy eksploatacyjnych,
- poprawa infrastruktury drogowej i płynności ruchu.

Największym zagrożeniem dla środowiska naturalnego jest szybki, szczególnie dynamiczny rozwój transportu drogowego [Zabłocki 1996]. W samochodowym transporcie drogowym poziom emisji i skład zanieczyszczeń zależą głównie od rodzaju zastosowanego silnika spalinowego. Środki transportu z silnikiem o napędzie iskrowym emitują ponad trzykrotnie więcej CO_2, natomiast pojazdy z zapłonem samoczynnym (diesel) emitują znaczne ilości cząstek stałych (na których osadzają się duże ilości szkodliwych węglowodorowych składników spalin). Należy zaznaczyć, że mimo znaczącego wzrostu liczby środków transportu i maszyn roboczych poziom emisji szkodliwych składników spalin nie uległ istotnemu wzrostowi, głównie dzięki innowacyjnym rozwiązaniom w konstrukcji silników spalinowych, układów napędowych i źródeł napędu (hybrydowe i elektryczne) [Dzieniszewski 2015]. Producenci wprowadzili ponadto szereg rozwiązań ograniczających szkodliwe emisje spalin: systemy EGR, filtry cząstek stałych (DPF), katalizatory utleniające i redukujące oraz system AdBlue (czysty mocznik) redukujący tlenki azotu itp. [Nazimek i in. 2015].

W krajach europejskich źródła mobilne są odpowiedzialne za emisję ponad 70% całkowitej emisji tlenku węgla i prawie 60% tlenków azotu. W Polsce środki transportu mają wyraźną tendencję wzrostową w emisji zanieczyszczeń ze względu na ich coraz

większą liczbę, ale nadal wysoki jest udział przemysłu energetycznego pomimo wprowadzania nowych energooszczędnych technologii produkcji (dlatego kierunkiem działań jest ograniczanie spalania, głównie węgla) [EC Commission 1992a, 1992b].

Przykładowe wielkości najważniejszych zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery w Polsce z podziałem na podstawowe grupy źródeł ich pochodzenia przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Całkowita emisja głównych zanieczyszczeń powietrza według rodzajów działalności w Polsce w 2023 r.

Table 4. Total emissions of major air pollutants by type of activity in Poland in 2023

Źródło	Emisja gazów [tys. Mg]		
	SO_2	CO_2	NO_2
Procesy spalania (energetyka, przemysł, ciepłownictwo)	1800	2700	700
Procesy produkcyjne	40	60	30
Transport drogowy	70	1300 (24,90%)	350 (23,81%)
Inne pojazdy i źródła mobilne	30	260 (4,64%)	140 (9,52%)
Zagospodarowanie odpadów	20	900	250
Ogółem	1960	5220	1470

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

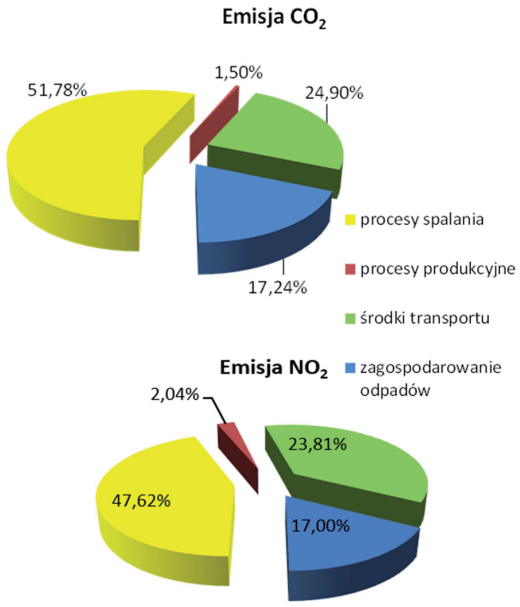
Z analizy danych dotyczących CO_2 przedstawionych na rysunku 8 wynika, że transport drogowy emituje 24,90% tego gazu, a inne pojazdy i źródła mobilne 4,64%; w przypadku NO_2 jest to odpowiednio 23,81% i 9,52%.

Środki transportu w Polsce wykorzystują jako źródło energii paliwa konwencjonalne, które mają znaczący udział w zanieczyszczaniu atmosfery: tlenkami azotu NO_x, węglowodorami C_nH_m, cząstkami stałymi PM i emisją CO_2. Dynamiczny wzrost przewozów towarów i osób w ostatnich latach przyczynił się do zwiększonego zużycia paliw, co prowadzi do większej emisji poszczególnych składników zanieczyszczeń.

Należy zaznaczyć, że emisja NO_2 (w przeliczeniu na jednego mieszkańca) osiągnęła w Polsce poziom europejski [Piekarski i Kuranc 2017]. Obniżenie całkowitej emisji tlenków azotu wynika głównie ze spadku udziału przemysłu (upadek wielu firm, nowe technologie produkcji, systemy oczyszczania spalin itp.) oraz wprowadzenia palników niskoemisyjnych w źródłach stacjonarnych.

Dominujący wpływ na poziom zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu w kraju ma wzrost emisji ze źródeł mobilnych (duża dynamika wzrostu liczby pojazdów). Tendencję tę można ograniczyć dzięki stopniowej wymianie pojazdów na nowe, stosowaniu lepszego jakościowo paliwa i smarów oraz systemów redukcji NO_x w spalinach. Obecnie w pojazdach samochodowych powszechnie montowane są czujniki sterujące systemem dozowania paliwa AdBlue, które znacząco ograniczają emisję NO_2 przy jednoczesnym sterowaniu parametrami procesu spalania w silniku [Bednarek i in. 1997].

W katalizatorze zachodzi reakcja łączenia się AdBlue z postacią gazową tlenku azotu, dzięki czemu szkodliwe gazy przekształcane są w parę wodną i azot. Technologia dopalania stosowana w katalizatorze SCR sprawia, że silniki są tuningowane aż do osiągnięcia opty-



Rysunek 8. Całkowita emisja głównych zanieczyszczeń powietrza według rodzajów działalności w Polsce w 2023 r.

Figure 8. Total emissions of major air pollutants by type of activity in Poland in 2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

malnego ustawienia, dzięki czemu z oleju napędowego pozyskiwana jest maksymalna energia przy jego minimalnym zużyciu. Zmniejszenie zużycia paliwa wynosi średnio 5–8% przy jednoczesnym ograniczeniu emisji spalin.

Producenci samochodów ciężarowych wybrali metodę oczyszczania spalin w technologii SCR ze względu na jej liczne zalety:

- metoda jest prosta i niezawodna,
- obniża koszty eksploatacji samochodu,
- wydłuża okres serwisowania katalizatora SCR/AdBlue,
- spełnia wymagania przyszłościowych norm dotyczących emisji gazów.

Od kilku już lat w Polsce i Europie obowiązują przepisy prawne określające m.in. parametry emisyjne stawiane pojazdom, które znacząco ograniczyły poziom emisji do środowiska szkodliwych składników spalin [OECD 1991; Council… 1993].

Emisja hałasu przez środki transportu – czynnik groźny dla środowiska przyrodniczego

Emisja hałasu jest jednym z najczęstszych niepożądanych zjawisk towarzyszących obecnie rozwojowi cywilizacji. Mimo że dla środowiska stanowi czynnik uciążliwy, poświęca się jej znacznie mniej uwagi niż innym zagrożeniom (np. emisji spalin). Poziom hałasu ustawicznie rośnie, a skutki jego oddziaływania będą widoczne dopiero po bardzo długim czasie i mogą być niestety nieodwracalne [Cimek 1995].

Liczba osób cierpiących na schorzenia spowodowane hałasem przyrasta lawinowo, szczególnie dotyczy to aglomeracji miejskich. Szacuje się, że transport drogowy jest aktualnie odpowiedzialny za 80% wszystkich zagrożeń akustycznych środowiska.

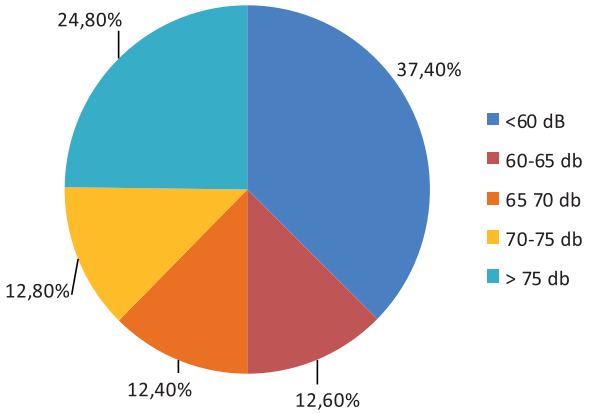
Na poziom hałasu drogowego wpływa szereg elementów, takich jak:

- stan techniczny środków transportu,
- charakterystyka ciągów komunikacyjnych (stan nawierzchni itd.),
- organizacja ruchu (natężenie, płynność i prędkość ruchu itd.),
- rodzaj stosowanych środków transportu (rodzaj silnika, nowoczesność rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych zespołów itp.).

W Polsce hałasem drogowym powyżej 60 dB(A) zagrożone jest blisko 35% powierzchni kraju i 15 mln ludzi (szczególnie mieszkańców miast). Zjawisko to zwiększają następujące czynniki:

- niewłaściwy stan nawierzchni drogowych,
- brak obwodnic miejskich i bezkolizyjnych skrzyżowań,
- nadmierna hałaśliwość pojazdów o przestarzałej konstrukcji i złym stanie technicznym,
- niewłaściwy stan techniczny wielu pojazdów.

Podstawowym wskaźnikiem poziomu hałasu w środowisku jest tzw. równoważny poziom hałasu – LA_{eq} – wyrażany w decybelach [dB]. Badania prowadzone w Polsce wykazały, że na obszarach miejskich w ciągu dnia średni równoważny poziom hałasu wynosi ok. 72 dB. Natomiast hałas drogowy w bezpośrednim sąsiedztwie jego źródeł jest rzędu 65–75 dB, z tendencją do znacznej zmienności w ciągu doby i w zależności od pory roku (rys. 9).



Rysunek 9. Przykładowa emisja hałasu drogowego w ciągu doby (dane dotyczą polskich aglomeracji miejskich)

Figure 9. Example of daily road noise emission frequency (data for polish urban agglomerations)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Hałas spowodowany ruchem pojazdów można znacznie zredukować dzięki optymalizacji infrastruktury transportowej, polegającej na:

- poprowadzeniu drogi tunelem lub w wykopie,
- prowadzeniu drogi z dala od obszarów zagrożonych hałasem,
- stosowaniu ekranów biologicznych (pokrycie roślinnością terenu wzdłuż drogi),
- stosowaniu ekranów dźwiękochłonnych.

Środki transportowe podczas przemieszczania generują drgania mechaniczne, które powstają na styku kół z nawierzchnią (przekładnia drogowa). Zależą one od jakości nawierzchni, układu zawieszenia, ogumienia itp. oraz prędkości pojazdów i mogą być nawet kilkakrotnie większe podczas ruchu pojazdów po nierównościach. Drgania te prze-

noszone są bezpośrednio przez podłoże i oddziałują zarówno na ludzi, jak i na budynki (np. rysowanie się tynków) oraz znajdujące się w nich urządzenia i aparaturę, a dodatkowo emitują hałas.

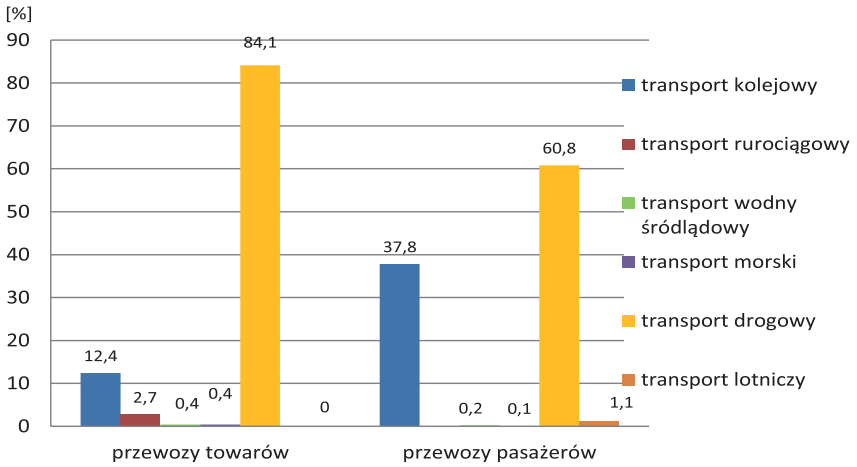
Podejmowane są działania ograniczające drgania, takie jak:

- projektowanie podbudowy nawierzchni o wyższej wytrzymałości (jakość stabilizacji),
- stosowanie odpowiedniej warstwy materiałów (w tym pale wapienne i piaskowe),
- poprawa jakości nawierzchni (w tym utrzymanie równej nawierzchni),
- ekranowanie (najczęściej pod postacią pustych szczelin i rowów).

Całkowity koszt społeczny wykorzystania transportu w środowisku

Negatywne oddziaływanie transportu na środowisko naturalne generuje w Polsce ogromne koszty [Dzieniszewski i Kuboń 2017]. Na całkowity koszt społeczny transportu składają się koszty zewnętrzne oraz koszty, które ponoszą zarówno użytkownicy transportu, jak i państwo. Do kosztów zewnętrznych transportu należy zaliczyć: zanieczyszczenie powietrza, emisję hałasu, zajęcie obszarów ziemi oraz koszty kolizji i wypadków, które ponosi całe społeczeństwo, mimo że nie bierze bezpośredniego udziału w ich powstawaniu (poza przewoźnikami i nabywcami usług transportowych) [Juściński i in. 2024].

Ograniczenie kosztów transportu ponoszonych przez społeczeństwo jest jednym z kluczowych problemów i celów krajowej i międzynarodowej polityki transportowej. Szczególnie dotyczy to transportu drogowego, na który przypada najwięcej przewożonych towarów i osób (rys. 10).

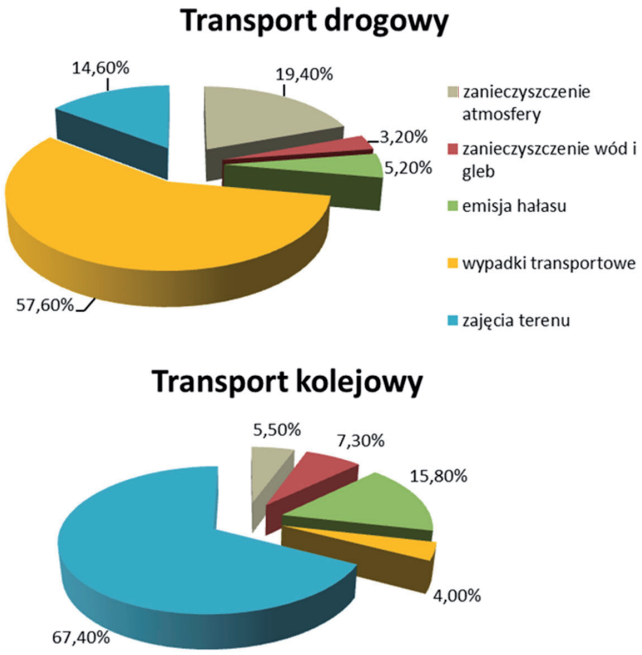


Rysunek 10. Struktura gałęziowa udziału transportu w przewozach towarów i osób w Polsce w 2024 roku

Figure 10. Branch structure of transport's share in freight and passenger transport in Poland in 2024

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]



Rysunek 11. Przykład struktury strat środowiskowych i ludzkich w polskim transporcie drogowym i kolejowym (2021)

Figure 11. Example of the structure of environmental and human losses in Polish road and rail transport (2021)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

Tabela 5. Szacunkowe wielkości strat środowiskowych i ludzkich w Polsce (dane dotyczą transportu drogowego i kolejowego w 2021 r.)

Table 5. Estimated magnitude of environmental and human losses in Poland (data for road and rail transport in 2021)

Rodzaj strat	Transport drogowy		Transport kolejowy	
	Kwota [mln PLN]	Struktura [%]	Kwota [mln PLN]	Struktura [%]
Zanieczyszczenie atmosfery	34,46	19,4	4,12	5,5
Zanieczyszczenie wód i gleb	61,71	3,2	5,48	7,3
Emisja hałasu	103,46	5,2	11,88	15,8
Wypadki transportowe	1142,91	57,6	3,09	4,0
Zajęcie terenu	288,58	14,6	50,96	67,4

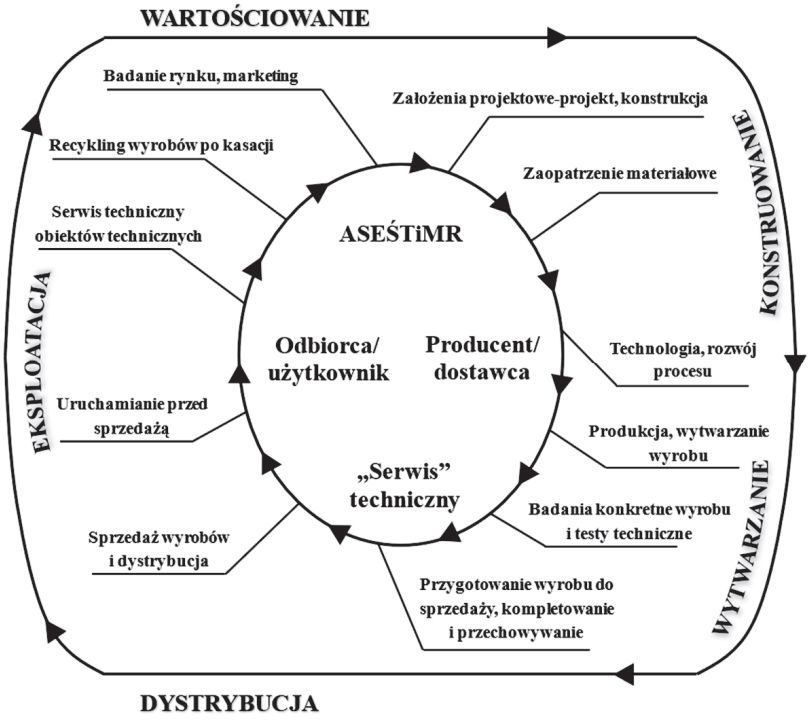
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Materiały… 2004]

Source: own elaboration based on [Materiały… 2004]

W Polsce na przełomie 2020 i 2021 roku prowadzone były badania dotyczące strat środowiskowych i ludzkich wiążących się z poszczególnymi gałęziami transportu. Z analizy tych badań wynika, że największe straty powoduje transport drogowy. Ponieważ w Polsce dominującymi gałęziami transportu, zarówno pasażerów, jak i towarów, są transport drogowy i kolejowy, relacje dotyczące wielkości strat środowiskowych i ludzkich przedstawione zostały w odniesieniu do tych gałęzi (rys. 11, tab. 5).

Etapy istnienia obiektów technicznych i usług w pętli jakości

Aktualnie zarówno w kraju, jak i na świecie zauważalny jest dynamiczny rozwój techniki, który charakteryzuje się gwałtownym nasyceniem gospodarki nowoczesnymi, wysoko wydajnymi i specjalistycznymi środkami transportu i maszyn roboczych. Z tego powodu następuje szybka instrumentalizacja czynności wykonywanych przez operatora maszyn. Procesowi temu winien towarzyszyć równie szybki wzrost umiejętności człowieka w racjonalnym i efektywnym wykorzystaniu coraz bardziej złożonych i skomplikowanych obiektów technicznych. Efektywność gospodarki zależy nie tylko od liczby posiadanych środków technicznych, lecz także od racjonalnego gospodarowania nimi.



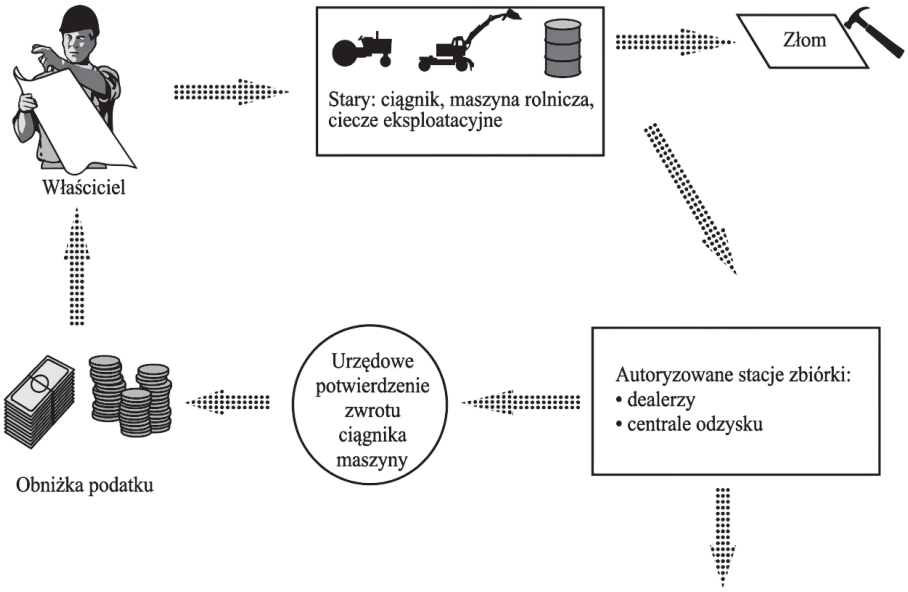
Rysunek 12. Autorski system eksploatacji środków transportu i maszyn roboczych
Figure 12. Authors's system for the operation of transport vehicles and work machinery
Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Zmiany zachodzące na rynku usług zmuszają producentów środków transportu i maszyn roboczych do gwarantowania ich jakości. Konkurencja na rynku i ochrona środowiska przyrodniczego sprawiają, że to producenci będą dążyli do prowadzenia określonej strategii eksploatacji swoich wyrobów poprzez sieć dealerów (serwis), jak to zostało pokazane na pętli jakości (rys. 12). Maksymalnej efektywności obiektów technicznych powinien towarzyszyć postęp w zakresie projektowania i wytwarzania oraz szczególnie eksploatacji. Zapewnienie ekonomicznie uzasadnionej jakości wyrobów i usług zgodnie z normami serii EN 29000 i EN 45000 obejmuje identyfikację potrzeb i formułowanie wymagań jakościowych, a także systemowe zagospodarowanie jakości w całym cyklu życia obiektu.

Kasacja pojazdów i maszyn roboczych a ochrona środowiska przyrodniczego

Swego rodzaju łagodzeniem degradacji środowiska przy recyklingu środków transportu i maszyn roboczych jest odzyskiwanie części materiałów złomowanych obiektów technicznych i ich ponowne wykorzystanie. Należy zaznaczyć (patrz rys. 13), że do zanieczyszczenia środowiska przez spaliny, oleje i inne płyny eksploatacyjne przyczynia się nie tylko eksploatacja środków transportu i maszyn, ale także ich wytwarzanie i kasacja (złomowanie, przetop metali, utylizacja cieczy i płynów eksploatacyjnych itp.) [Piekarski i Dzieniszewski 2015].

W wielu krajach prowadzone są od wielu lat intensywne badania, które mają na celu doskonalenie procesów spalania, budowę urządzeń ograniczających emisję toksyn, utylizację cieczy eksploatacyjnych oraz przemysłowe wykorzystanie odpadów i przepracowa-



Rysunek 13. Przykładowy proces recyklingu eksploatowanych obiektów technicznych
Figure 13. Example of the recycling process of technical objects in operation

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

nych olejów. Ułatwienie demontażu i skrócenie czasu jego trwania wymagało rezygnacji z wielu technologii trwałego łączenia tworzyw sztucznych ze sobą lub z metalami.

W wielu krajach zachodnich funkcjonują już przewoźne rozdrabniacze tworzyw (shreddery) na podwoziach naczepowych, przemieszczane pomiędzy punktami (ośrodkami) zbiórki zużytych pojazdów i maszyn. Rozdrabniają one tworzywo na granulki, jednak koszt takich urządzeń jest bardzo wysoki, a użytkownicy liczą na gratyfikację finansową za dostarczenie obiektu technicznego.

Umożliwienie recyklingu środków transportu i maszyn roboczych to ogromny problem organizacyjny, techniczny, a przede wszystkim finansowy [Kostecka 2023]. Prowadzenie zbiórki i demontażu wyeksploatowanych obiektów technicznych wymaga specjalistycznych urządzeń ułatwiających demontaż. Proces recyklingu zużytych środków transportu i maszyn roboczych został zaprezentowany na rysunku 13.

Podsumowanie i wnioski

Po przemianach społeczno-gospodarczych zapoczątkowanych w Polsce w 1989 roku odnotowano dynamiczny rozwój motoryzacji oraz znaczący wzrost natężenia ruchu drogowego przy jednoczesnym niskim stopniu rozwoju i jakości infrastruktury transportowej. Członkostwo Polski w Unii Europejskiej wiąże się m.in. z koniecznością respektowania ustaleń konferencji Szczyt Ziemi odbywających się cyklicznie w różnych krajach i wprowadzających do przepisów nowe regulacje dotyczące ochrony środowiska.

Spełnienie wymagań ekologicznych XXI wieku nakłada na konstruktorów i producentów środków transportu oraz maszyn roboczych obowiązek doskonalenia ich konstrukcji, a także opracowywania skutecznych systemów oczyszczania spalin i redukcji hałasu. Stosowane obecnie technologie opierają się na projektowaniu obiektów technicznych „przyjaznych środowisku", co obejmuje: wykorzystanie nowoczesnej inżynierii materiałowej, recykling materiałów i surowców, zwiększanie trwałości i niezawodności podzespołów oraz części zamiennych, a także wdrażanie paliw niekonwencjonalnych.

Całkowite wyeliminowanie negatywnego wpływu motoryzacji i mechanizacji prac na środowisko będzie trudne do osiągnięcia w najbliższym czasie. Z tego względu podejmowane są działania ukierunkowane na redukcję emisji szkodliwych związków chemicznych, a także ograniczenie hałasu i wibracji, co ma prowadzić do zmniejszenia degradacji terenów rolniczych i leśnych.

Realizacja tych celów jest możliwa dzięki wprowadzaniu usprawnień technicznych i organizacyjnych, takich jak: projektowanie ekologicznych konstrukcji, rozwój systemów optymalnego sterowania parametrami pracy, instalacja katalizatorów, filtrów cząstek stałych i systemów AdBlue, przechodzenie na spalanie katalityczne (bezpłomieniowe) oraz stosowanie ekologicznych paliw i odnawialnych źródeł energii.

Dodatkowe korzyści można uzyskać poprzez zwiększenie niezawodności podzespołów i elementów środków transportu oraz maszyn roboczych, wprowadzanie ograniczeń prędkości, zaostrzanie limitów dopuszczalnych emisji zanieczyszczeń, rozwój systemów kontrolnych, a także modernizację infrastruktury transportowej oraz organizacji przestrzennej produkcji przemysłowej i rolniczej.

Bibliografia

Ahbe S., Braunschweig A., Müller-Wenk R., 1990: Methodik für Oekobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung, BUWAL, Bern.

Bednarek E., Małyska J., Kossowicz L., 1997: Wykorzystanie alkoholu etylowego w paliwach silnikowych reformułowanych, Przemysł Chemiczny 3, 85–86.

Bereś R., Ciołkowska L. (red.), 1994: Zanieczyszczenie powietrza w Polsce w 1993 roku, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Państwowa Inspekcja Sanitarna, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Bojarski W., 1984: Podstawy analizy i inżynierii systemów, PWN, Warszawa.

Cimek L., 1995: Hałas i wibracje – czynniki środowiska stworzone przez człowieka, Las Polski 2.

Council of the Baltic Sea States, 1993: Transport and the environment in the Baltic Sea area, Conference of the Ministers of Transport of Baltic Sea area countries, Helsinki.

Czarnowska K., Gworek B., 1984: Liście lipy (*Tilia euchlora*) jako biowskaźniki zanieczyszczeń środowiska miejskiego. [w:] Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, III Krajowe Sympozjum, Kórnik, 24–26 maja, 377–384.

Duszkiewicz S., Zabłocki M., 1979: Niektóre własności szybkobieżnych silników wysokoprężnych zasilanych dwupaliwowo metanolem i olejem napędowym, Silniki Spalinowe 2.

Dzieniszewski G., 2015: Ekologiczne problemy biopaliw, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture 62(3/I), 87–96.

Dzieniszewski G., Kuboń M. (red.), 2017: Aktualne problemy transportu. Tom 2, Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, Urząd Marszałkowski Województwa Podkarpackiego, Przemyśl––Rzeszów.

EC Commission, 1992a: A community strategy for sustainable mobility. Green paper on the impact of transport on the environment, COM92 (46) final, 20 February.

EC Commission, 1992b: The future development of the common transport policy. A global approach to the construction of a Community framework for sustainable mobility, COM92 (494) final, 2 December.

Gutowski J., 1992: Wpływ środków eksploatacyjnych na środowisko naturalne, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 10.

Juściński S., Piekarski W., Piekarski D., Rybak P., 2024: Rozwój eco-transportu w aspekcie logistyki dystrybucji rowerów przez sklepy internetowe, [w:] Technika i ekonomia w procesach transportowych, G. Dzieniszewski, M. Kuboń (red.), Wydawnictwo Inżynieria Rolnicza, Kraków, 169–197.

Kellek T., Zuber R., 1970: Über die Bleiaufnahme und die Bleiverteilung in jungen Fichten, Forstwissenschaftliches Centralblatt 80, 20–26.

Kłos Z., 1995: Podstawy ekobilansowania maszyn i urządzeń, Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych 2, 23–27.

Kostecka J., 2023: Ekologiczne uwarunkowania zrównoważonego rozwoju w kontekście gospodarowania zasobami środowiska, Polish Journal for Sustainable Development 27(1), 45–54.

Lončarević Š., Ilinčić P., Šagi G., Lulić Z., 2023: Development of a Spatial Tier 2 Emission Inventory for Agricultural Tractors by Combining Two Large-Scale Datasets, Sustainability 15(17), 13020, https://doi.org/10.3390/su151713020

Marczuk A., Misztal W., Słowik T., Piekarski W., Bojanowska M., Jackowska I., 2015: Chemiczne uwarunkowania zagospodarowania elementów pojazdów poddanych recyklingowi, Przemysł Chemiczny 94(10), 1860–1871, DOI 10.15199/62.2015.10.46

Martelli S., Martini V., Mocera F., Soma' A., 2024: Life Cycle Assessment Comparison of Orchard Tractors Powered by Diesel and Hydrogen Fuel Cell, Energies 17(18), 4599, https://doi.org/10.3390/en17184599

Materiały szkoleniowe z kursu: Specjalista do spraw transportu i spedycji, 2004: Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.

Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, 1992: Polityka ekologiczna państwa, Warszawa.

Nazimek D., Zając G., Słowik T. i in., 2015: Badania kinetyki konwersji bioetanolu do eteru dimetylowego na katalizatorach zeolitowych zawierających miedź, Przemysł Chemiczny 10, 1778–1782, DOI 10.15199/62.2015.10.25

Tarnas M. (red.), 1997: Ochrona i stan środowiska w województwie chełmskim. Informator 1995––1996, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Chełm, 126.

OECD, 1991: Integrating transport and environmental policies: perspectives for a sustainable mobility, Berlin.

Piekarski W., 1997a: Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze – rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin.

Piekarski W., 1997b: Destrukcyjność ekologiczna środków technicznych w rolnictwie, [w:] Inżynieria systemów bioagrotechnicznych, Materiały V Sympozjum, Płock, 5, 175–180.

Piekarski W., Dudziak A., Stoma M., Andrejko D., Ślaska-Grzywna B., 2016: Model Assumptions and Analysis of Ecological Awareness and Behaviour: an Empirical Study, Polish Journal of Environmental Studies 25(3), 1187–1195, https://doi.org/10.15244/pjoes/61776

Piekarski W., Dzieniszewski G., 2015: Wybrane problemy logistyczne i techniczne utylizacji zużytych pojazdów na przykładzie Województwa Podkarpackiego, Logistyka 5, 121–128.

Piekarski W., Kuranc A., 2017: Exhaust emissions and fuel consumption in a chassis dynamometer load test in the aspect of modification of an engine controlling system, Combustion Engines 171(4), 11–16.

Piekarski W., Dzieniszewski G., Piekarski D., Spodar G., Pasławska J., 2024: Gospodarka odpadami komunalnymi z wykorzystaniem innowacyjnych technologii, [w:] Technika i ekonomia w procesach transportowych: monografia naukowa, G. Dzieniszewski, M. Kuboń (red.), materiały VII Konferencji Naukowej „Logistyka dziś i jutro", Przemyśl – Kraków, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, 343–353.

Sarna S., 1997: Płatna autostrada A-2 w aglomeracji warszawskiej. Problemy z ustaleniem przebiegu, Transport Miejski 2, 15.

Schűtt P., Lang K.J., Margait D., 1970: Ein Schnelltest zur Ermittlung der individuellen SO_2 – Empfindlichkeit bei Kiefern, Forstwissenschaftliches Centralblatt 3, 153–161.

Stoma M., Maj G., Dudziak A., Ślaska-Grzywna B., Piekarski W., Andrejko D., 2015: Obrót produktami chemicznymi zgodnie z Systemem Badania Bezpieczeństwa i Jakości SQAS, Przemysł Chemiczny 11, 1883–1886, https://doi.org/10.15199/62.2015.11.1

Zabłocki M., Ekert K., 1996: Podstawowe problemy ekologicznego rozwoju silników spalinowych, materiały III Sympozjum Naukowego EKODIESEL'96, ILOT, Warszawa.