

Organizatorzy:



Polski Kongres Drogowy



Stare Sady, 17-19.09.2023

## IX Warmińsko-Mazurskie Forum Drogowe

**Nowoczesna i bezpieczna  
infrastruktura drogowa**





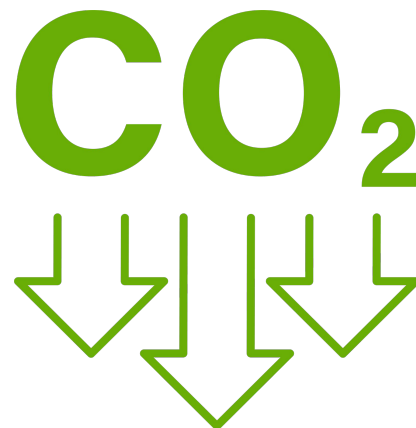
# Dekarbonizacja drogownictwa – szanse i wyzwania

*dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz, prof. PK*



## Dekarbonizacja drogownictwa

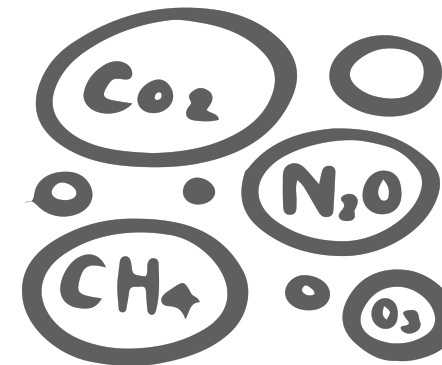
to proces zmniejszania lub eliminowania emisji dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych generowanych przez sektor transportu i infrastrukturę drogową poprzez działania w całym jej cyklu życia w celu minimalizowania zmian klimatu



# GHG – CO<sub>2</sub> – ślad węglowy

**Gazy cieplarniane (GHG – Greenhouse Gases) to gazy, które:**

- przepuszczają promieniowanie słoneczne, ale pochłaniają promieniowanie podczerwone odbijane przez powierzchnię Ziemi,
- mają wpływ na efekt cieplarniany, który mierzy się przez GWP (współczynnik globalnego ocieplenia),
- wg Protokołu z Kioto (1997 - 2015) GHG stanowi sześć głównych gazów:
  - CO<sub>2</sub> (dwutlenek węgla),
  - CH<sub>4</sub> (metan),
  - N<sub>2</sub>O (podtlenek azotu),
  - HFC (fluorowęglowodory),
  - PFC (perfluorowęglowodory),
  - SF<sub>6</sub> (sześćfluorek siarki).



# GHG – CO<sub>2</sub> – ślad węglowy

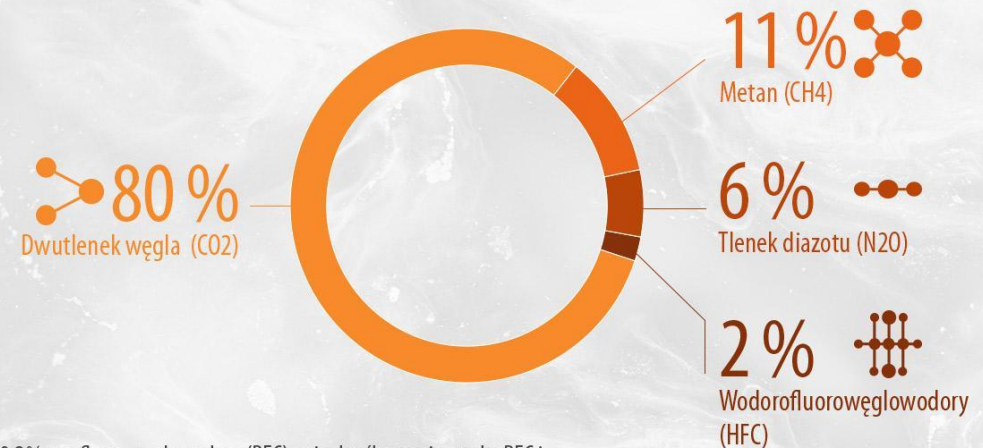
Ilość  
(obfitość)



Symboliczna  
rola  
(reprezentant)

## Emisje gazów cieplarnianych na świecie wg substancji\*

2019



<0,2%: perfluorowęglowodory (PFC), nieokreślona mieszanka PFC i HFC, heksafluorek siarki (SF<sub>6</sub>) i trójfluorek azotu (NF<sub>3</sub>)

Z powodu zaokrągleń wartości nie sumują się do 100%

\* Całkowite emisje gazów cieplarnianych z wyłączeniem użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa (LULUCF)

Źródło: Europejska Agencja Środowiska (EEA)



**Ślad węglowy (carbon footprint)** jest miarą emisji gazów cieplarnianych, które wpływają na efekt cieplarniany i zmiany klimatyczne.

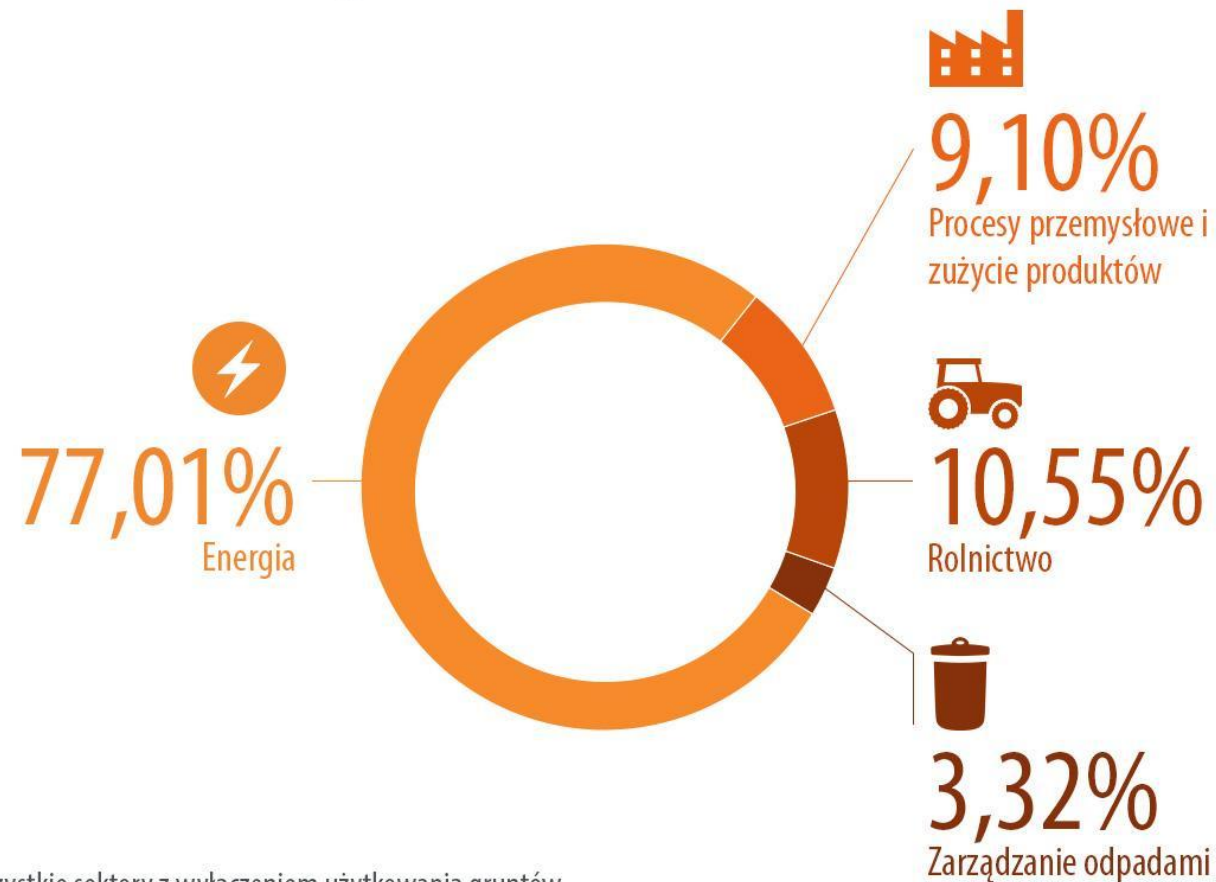
Wyrażany w jednostkach równoważnika dwutlenku węgla (CO<sub>2e</sub>) na rok.



**Bezpośredni ślad węglowy:** obejmuje emisje pochodzące z bezpośrednich działań, jak np. spalanie paliwa przez pojazdy (użytkownicy dróg, zarządcy dróg, pojazdy budowy).

**Pośredni ślad węglowy:** obejmuje emisje powstałe w wyniku produkcji materiałów, towarów i usług, które są konsumowane (żywność ma ślad węglowy, który obejmuje emisje związane z jej produkcją, transportem, a także przechowywaniem).

# Emisje gazów cieplarnianych w UE wg sektora\* w 2019



\* Wszystkie sektory z wyłączeniem użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa (LULUCF)  
Z powodu zaokrągleń wartości nie sumują się do 100%

Źródło: Europejska Agencja Środowiska (EEA)

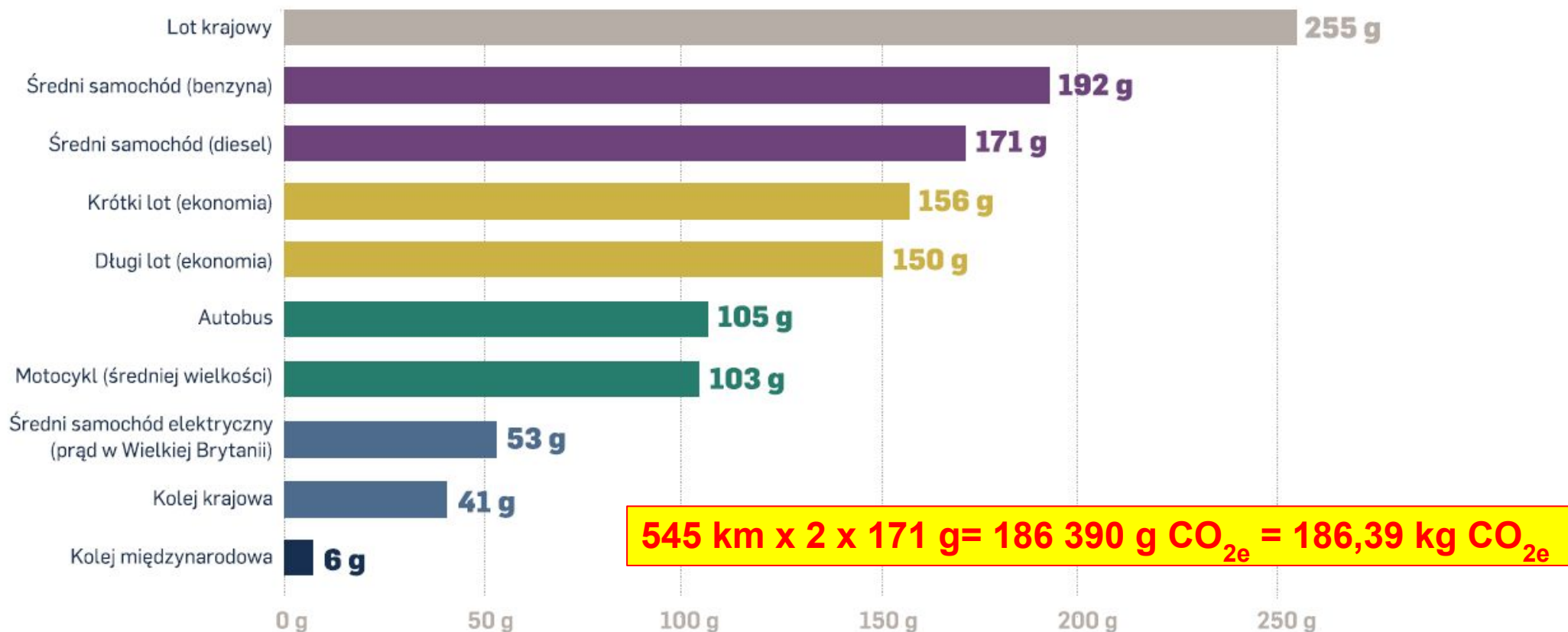


© EU/EP

# Ślad węglowy środków transportu

## Ślad węglowy podróży w przeliczeniu na kilometr

Ślad węglowy podróży mierzony w gramach ekwiwatentu CO<sub>2</sub> na pasażero-kilometr (w 2018 r.)  
Wliczono w niego efekt cieplarniany związany z wysokością emisji w lotnictwie



Note: Data is based on official conversion factors used in UK reporting. These factors may vary slightly depending on the country, and assumed occupancy of public transport such as buses and trains.

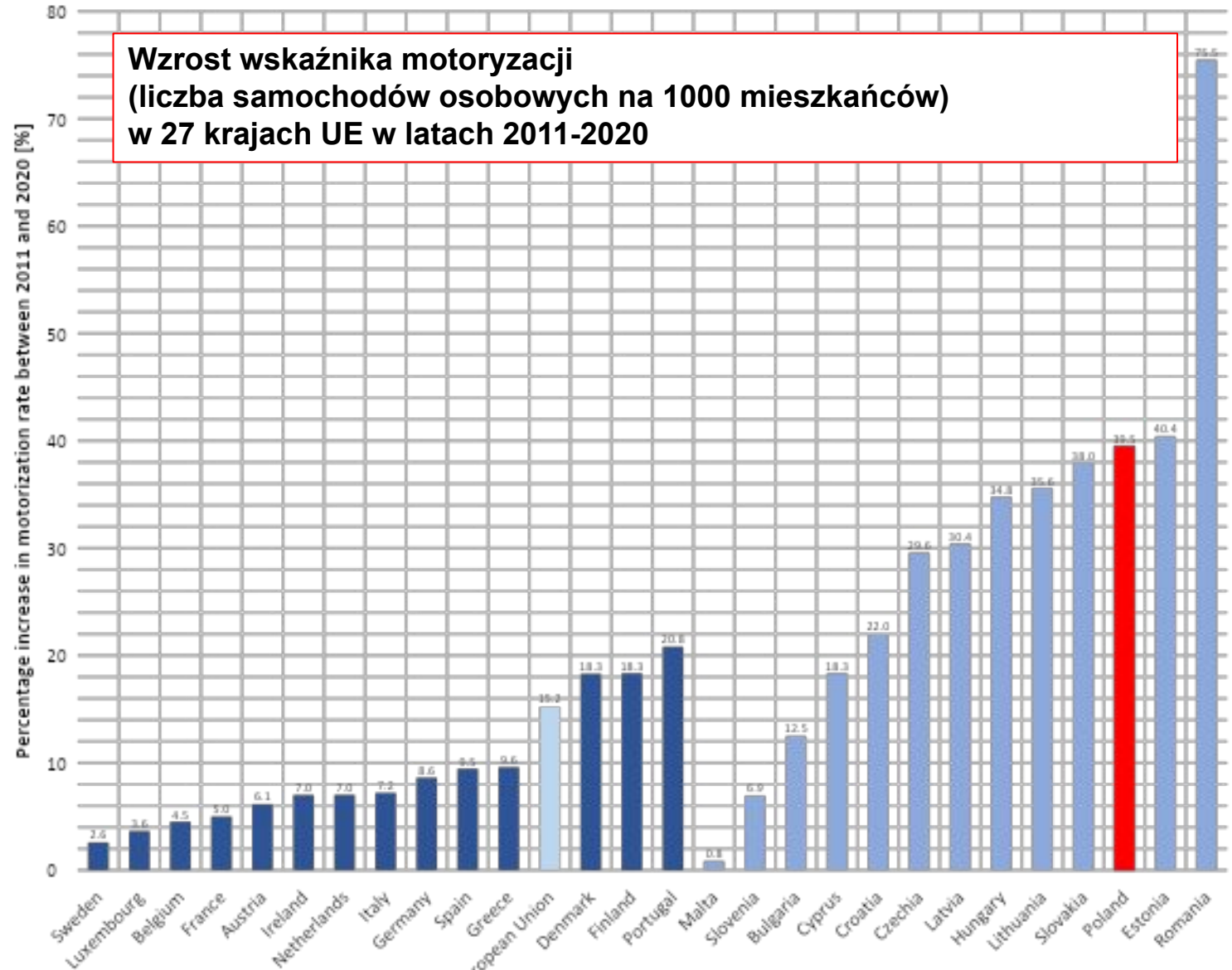
Źródło: UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Greenhouse gas reporting: conversion factors 2019.



# Co dodatkowo wpływa na emisję pojazdów?

Najmłodsze samochody osobowe są w Luksemburgu (6,5) i Austrii (8,3), a najstarsze na Litwie w Estonii i Rumunii (ponad 16)

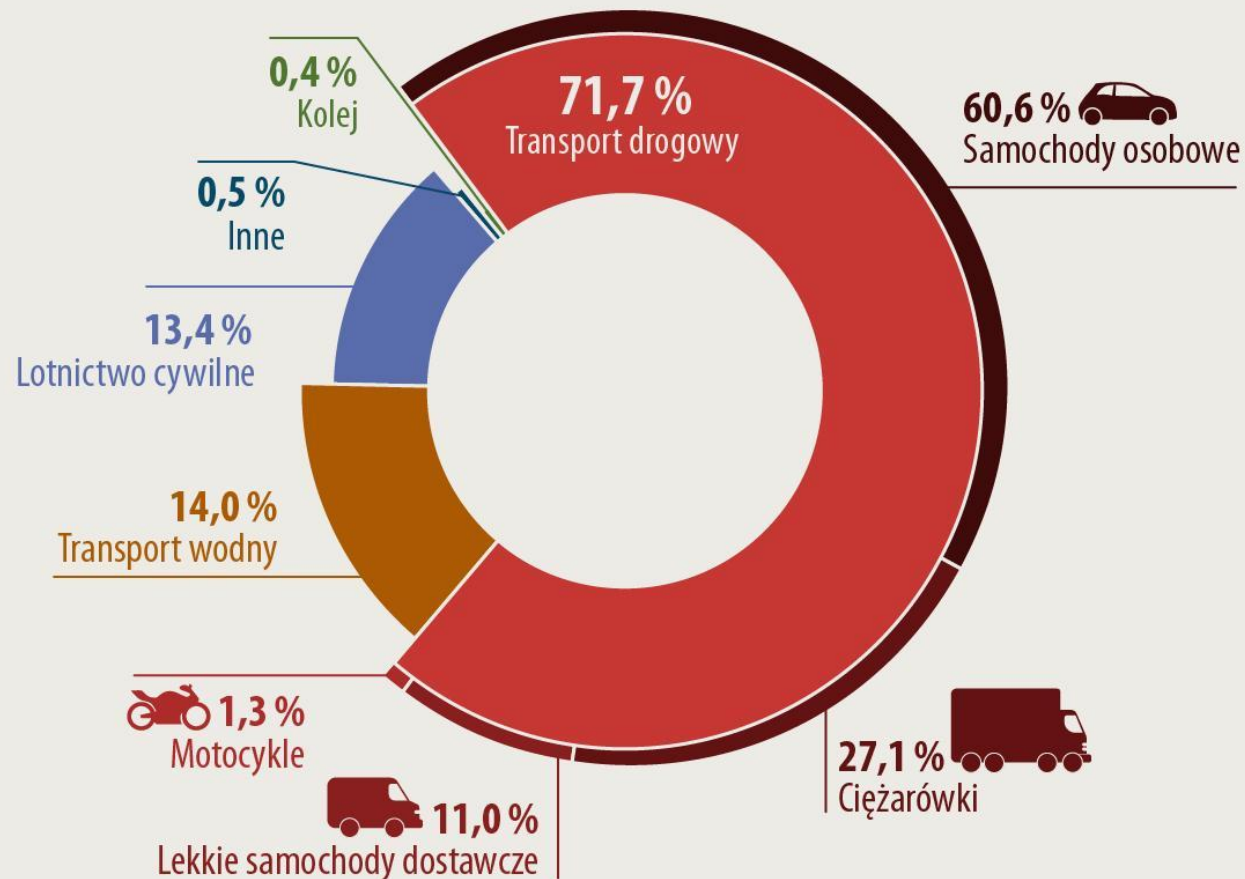
Najmłodsza flota samochodów ciężarowych znajduje się w Austrii (6,4), a najstarsza w Grecji (21)



J. Bohatkiewicz, E. van de Bosh, T. Nicholson. Low Emission Zones – Planning and Implementation. TC 3.4. World Road Association (PIARC). Paris, 2023. (w druku)

# EMISJE W TRANSPORCIE W UE

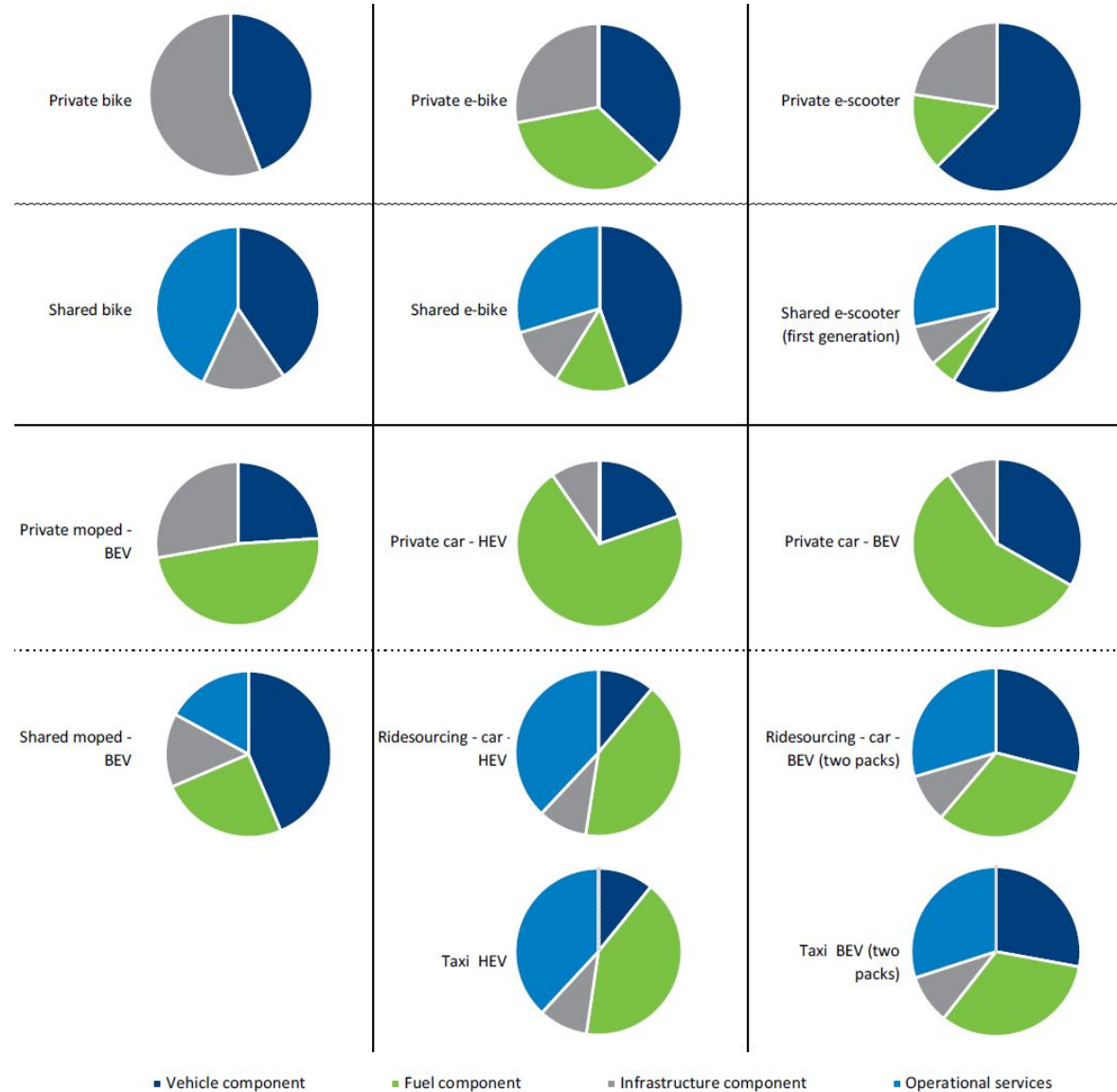
Podział emisji wg rodzaju transportu (2019)



Źródło: Europejska Agencja Środowiska, 2022



# Udziały emisji z różnych komponentów wybranych rodzajów transportu w cyklu życia

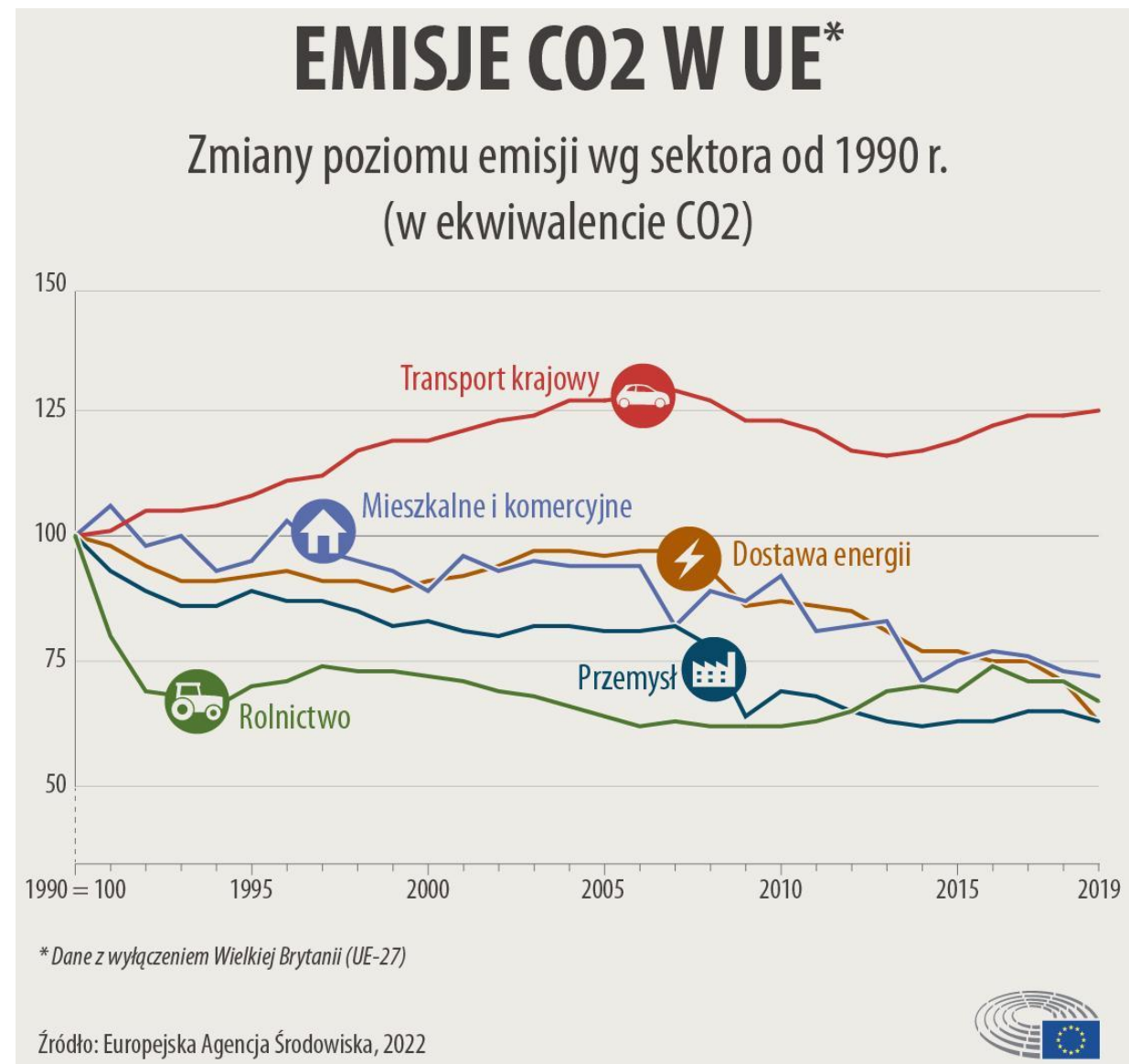


Good to go? Assessing the environmental performance of new mobility © OECD/ITF 2020

# Zmiany w kształtowaniu się emisji CO<sub>2</sub>

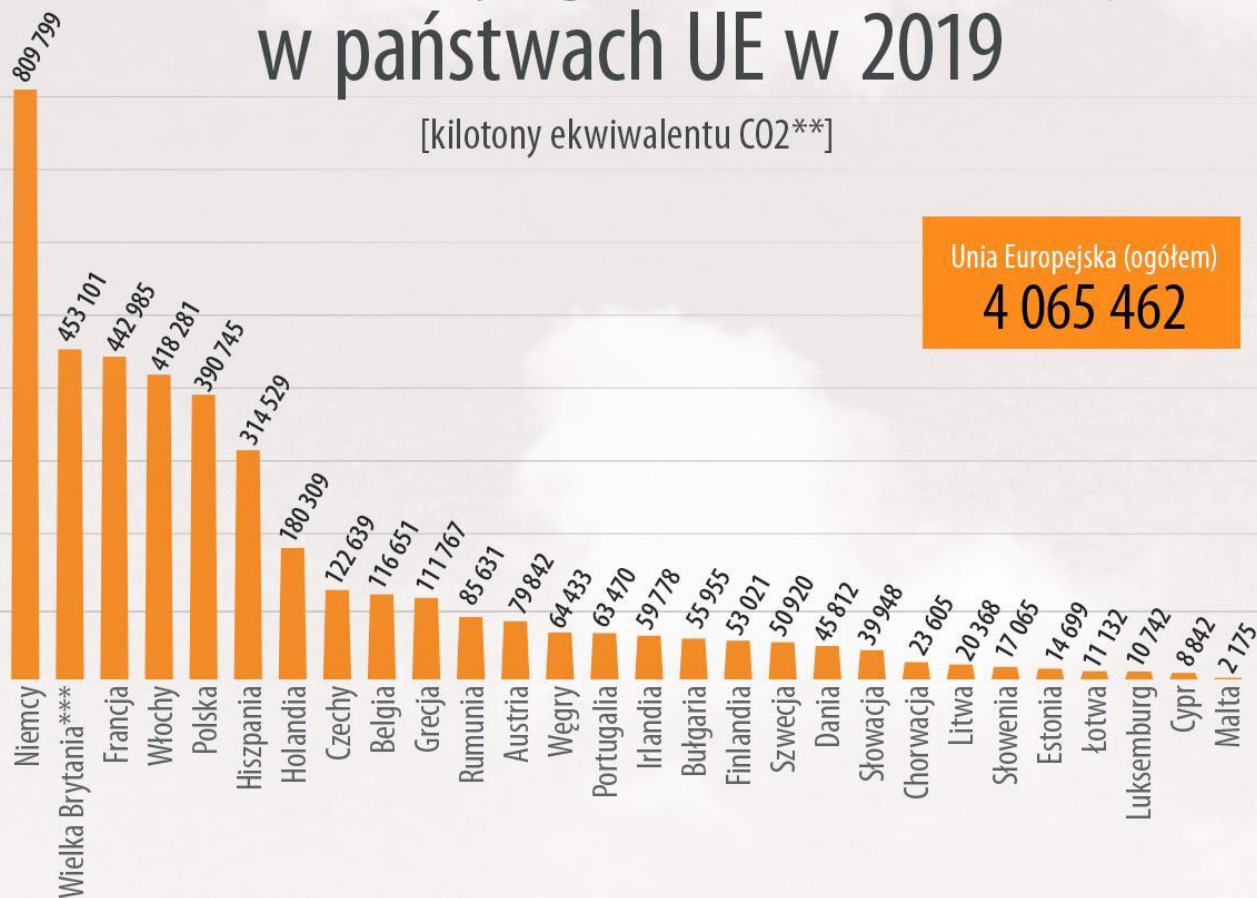
Według Europejskiej Agencji Środowiska ok. 1/4 całkowitej emisji CO<sub>2</sub> w UE w 2019 r. pochodziło z sektora transportu, z czego 71,7% z transportu drogowego.

**W ramach działań mających na celu redukcję emisji CO<sub>2</sub> i aby osiągnąć neutralność klimatyczną do 2050 r., zgodnie z Europejskim Zielonym Ładem, do 2050 r. musimy ograniczyć emisje gazów cieplarnianych o 90%, w porównaniu z poziomami z 1990 roku.**



# Całkowite emisje gazów cieplarnianych\* w państwach UE w 2019

[kilotony ekwiwalentu CO2\*\*]



\* Wszystkie sektory z wyłączeniem użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa (LULUCF)

\*\* CO2 oraz N2O, CH4, HFC, PFC, SF6, NF3 wyrażone w ekwiwalencie CO2

\*\*\*W 2019 r. Wielka Brytania była nadal częścią UE.

Źródło: Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC)

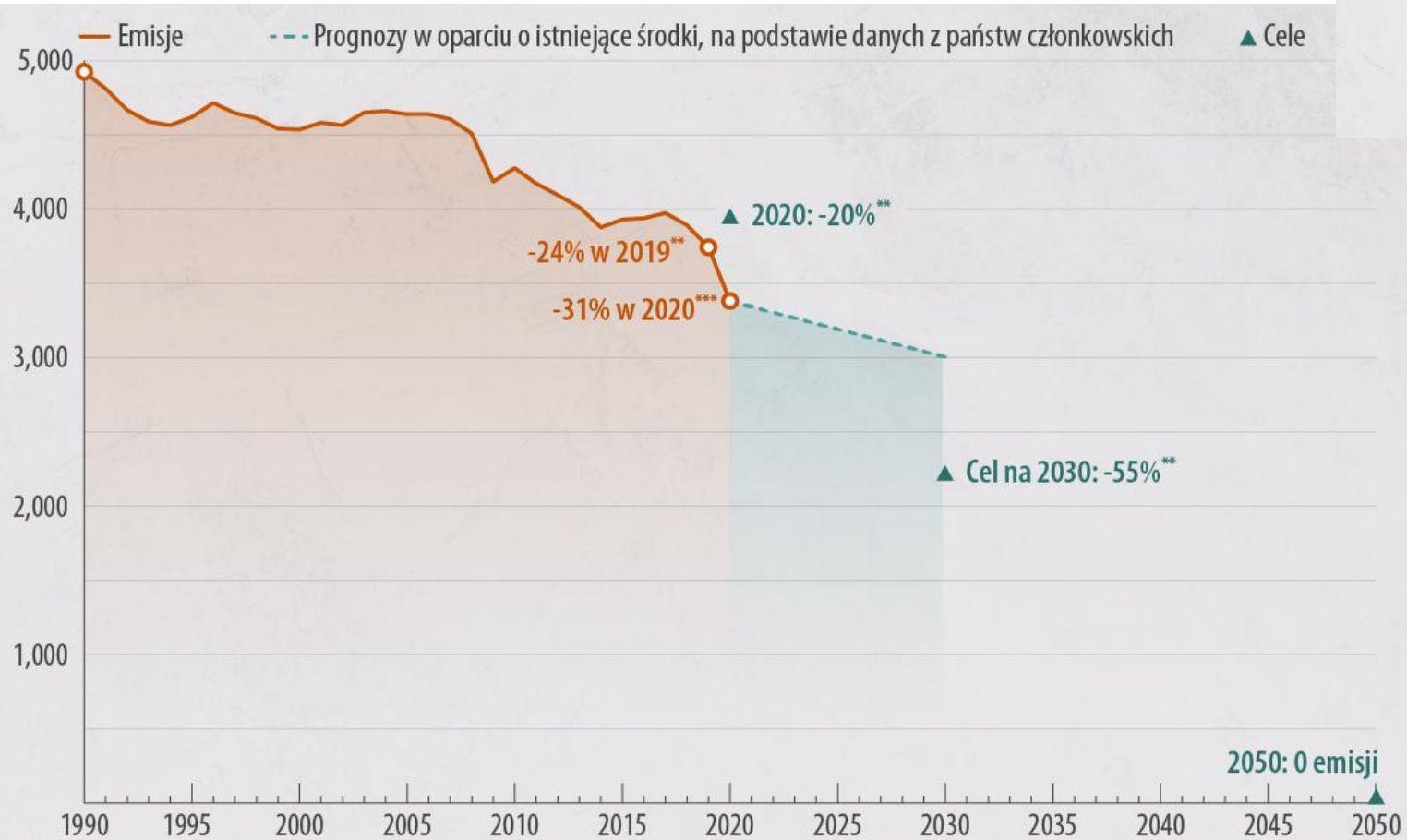


© EU/EP

# Tendencje w zakresie emisji gazów cieplarnianych

## Emisje, prognozy i cele UE

[mln ton ekwiwalentu dwutlenku węgla\*]



\* Emisja gazów cieplarnianych bez użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa, włączając lotnictwo, z wyłączeniem Zjednoczonego Królestwa

\*\* w porównaniu z poziomami z 1990 r. | \*\*\*Oszacowane

Źródło: Europejska Aencja Środowiska (2021)

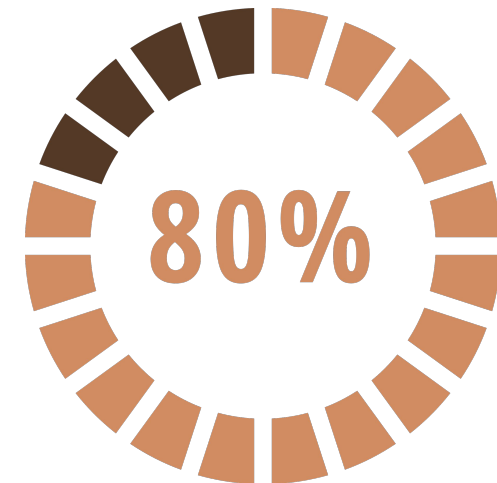


# Cele UE w zakresie redukcji emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego



Nowe przepisy UE zmierzają do zerowej emisji CO<sub>2</sub> dla nowych samochodów osobowych i lekkich samochodów dostawczych do 2035 roku (???)

Pośrednie cele redukcji emisji do 2030 r. określono na poziomie 55% dla samochodów osobowych i 50% dla samochodów dostawczych.



# Cele Polski w zakresie redukcji emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego

Tab. Architektura KPO

CEL GŁÓWNY KPO		
ODBUDOWA POTENCJAŁU ROZWOJOWEGO GOSPODARKI UTRACONEGO W WYNIKU PANDEMII (RECOVERY) ORAZ WSPARCIE BUDOWY TRWAŁEJ KONKURENCYJNOŚCI GOSPODARKI I WZROST POZIOMU ŻYCIA SPOŁECZEŃSTWA W DŁUŻSZYM HORYZONCIE CZASOWYM (RESILIENCE)		
CELE SZCZEGÓŁOWE KPO	KOMPONENTY KPO	CELE KOMPONENTÓW KPO
I. Jakościowy, innowacyjny rozwój gospodarki prowadzący do zwiększenia jej produktywności, uwzględniający transformację cyfrową kraju i społeczeństwa  II. Zielona transformacja gospodarki oraz rozwój zielonej, inteligentnej mobilności  III. Wzrost kapitału społecznego i jakości życia, w szczególności poprzez zapewnienie poprawy stanu zdrowia obywateli oraz wyższej jakości edukacji i kompetencji dostosowanych do potrzeb nowoczesnej gospodarki	A. Odporność i konkurencyjność gospodarki  C. Transformacja cyfrowa	Zapewnienie odporności gospodarki na kryzysy oraz tworzenia wysokiej jakości miejsc pracy  Wzmocnienie przemian cyfrowych w sektorze publicznym, społeczeństwie i gospodarce
	B. Zielona energia i zmniejszenie energochłonności  E. Zielona, inteligentna mobilność	Ograniczenie negatywnego oddziaływania gospodarki na środowisko, przy jednoczesnym zapewnieniu konkurencyjności i bezpieczeństwa energetycznego oraz ekologicznego kraju  Rozwój zrównoważonego, bezpiecznego i odpornego systemu transportowego, zapewniającego odpowiednią obsługę potrzeb gospodarki i społeczeństwa
	D. Efektywność, dostępność i jakość systemu ochrony zdrowia	Sprawne funkcjonowanie systemu ochrony zdrowia oraz poprawa efektywności, dostępności oraz jakości świadczeń zdrowotnych
	Realizację celu szczegółowego III wspierać będą także interwencje w ramach Komponentu A (kadry dla nowoczesnej gospodarki, efektywne instytucje na rzecz rynku pracy) oraz Komponentu C (e-kompetencje)	
	<b>CEL HORYZONTALNY: Wzmacnianie spójności społecznej i terytorialnej kraju</b>	

II. Zielona transformacja gospodarki oraz rozwój zielonej, inteligentnej mobilności

Krajowy Plan  
Odbudowy i Zwiększania  
Odporności

Projekt

WARSZAWA, luty 2021 r.

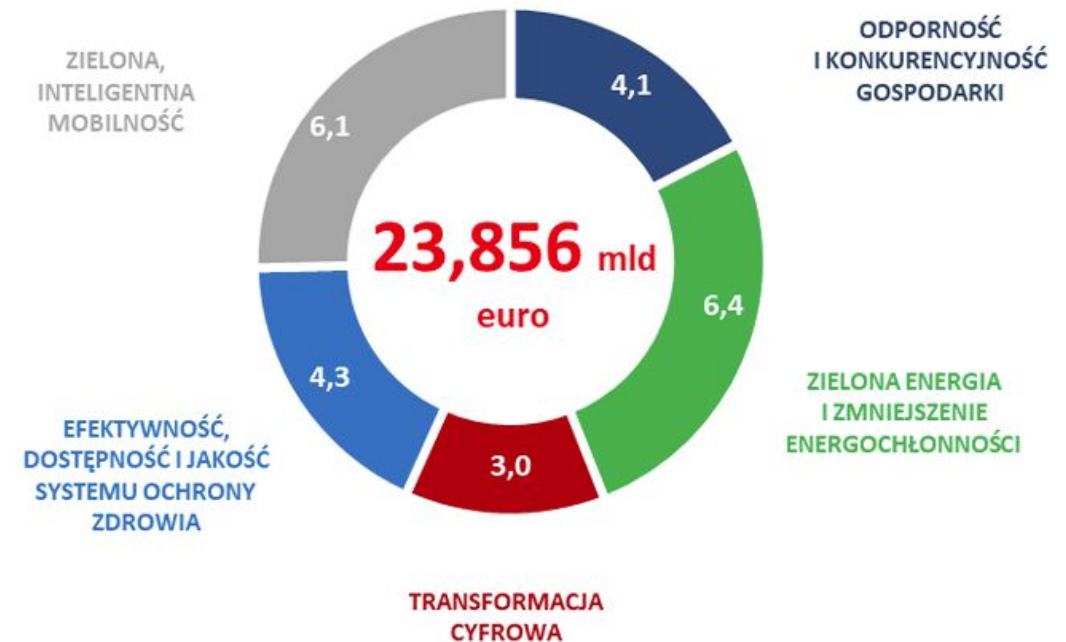
<https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/krajowy-plan-odbudowy--programujemy-fundusze-unijne-dla-polski>



# Cele Polski w zakresie redukcji emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego

W wymiarze globalnym działania podejmowane na rzecz zielonej transformacji gospodarki w ramach KPO w powiązaniu z planowanymi działaniami w ramach polityki energetycznej ... przyczynią się w znacznym stopniu do ograniczenia niekorzystnych zjawisk środowiskowych oraz zdrowotnych.

**Pozwoli to na wkład Polski do osiągnięcia następujących celów UE w zakresie *Green Deal*: ograniczenia emisji o co najmniej 55 proc. do 2030 r., osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r.**



<https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/krajowy-plan-odbudowy--programujemy-fundusze-unijne-dla-polski>

# Zielone zamówienia publiczne w nowej perspektywie



# Zielone kryteria dotyczące projektowania, budowy i utrzymania dróg

**Kolejność kryteriów (od największej do najmniejszej złożoności):**

**1. Ocena cyklu życia (LCA).**

*Oferenci muszą dokonać oceny wpływu głównych elementów drogi przez cały cykl jej życia.*

**2. Ślad węglowy – analiza śladu węglowego.**

*Oferenci muszą dokonać oceny współczynnika ocieplenia globalnego głównych elementów drogi w całym cyklu jej życia.*

**3. Wymóg dotyczący zawartości materiałów z recyklingu i ponownie wykorzystanych.**

*Oferenci muszą dostarczyć materiały, spełniając minimalny wymóg dotyczący zawartości materiałów z recyklingu i ponownie wykorzystanych na potrzeby głównych elementów drogi.*

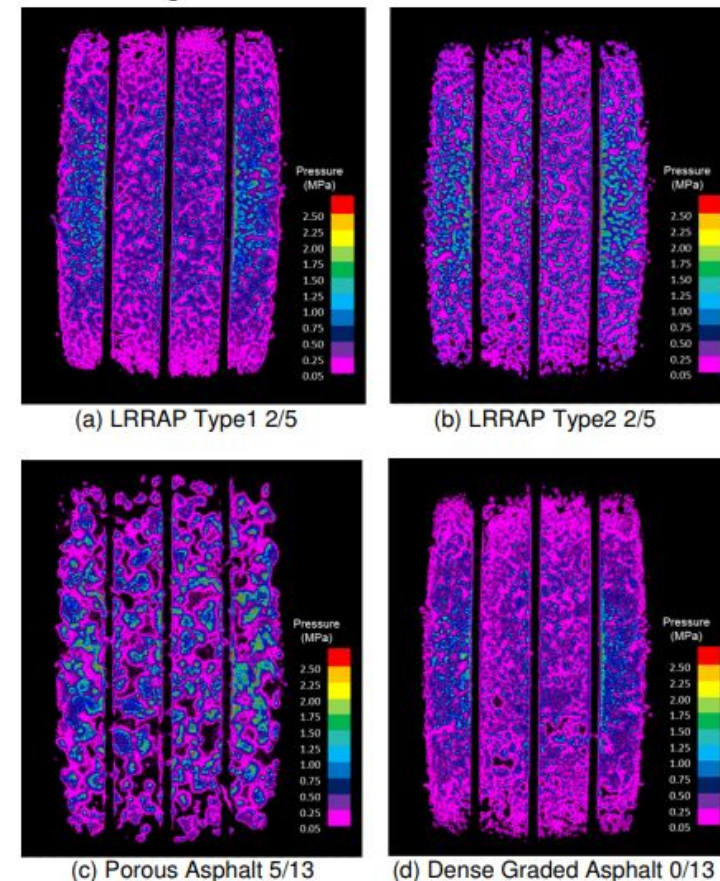
**4. Wymóg obniżenia emisji z transportu materiałów ciężkich.**

*Oferenci premiowane mają niskie poziomy emisji ekwiwalentu dwutlenku węgla z transportu kruszyw wykorzystywanych na potrzeby głównych elementów drogi.*

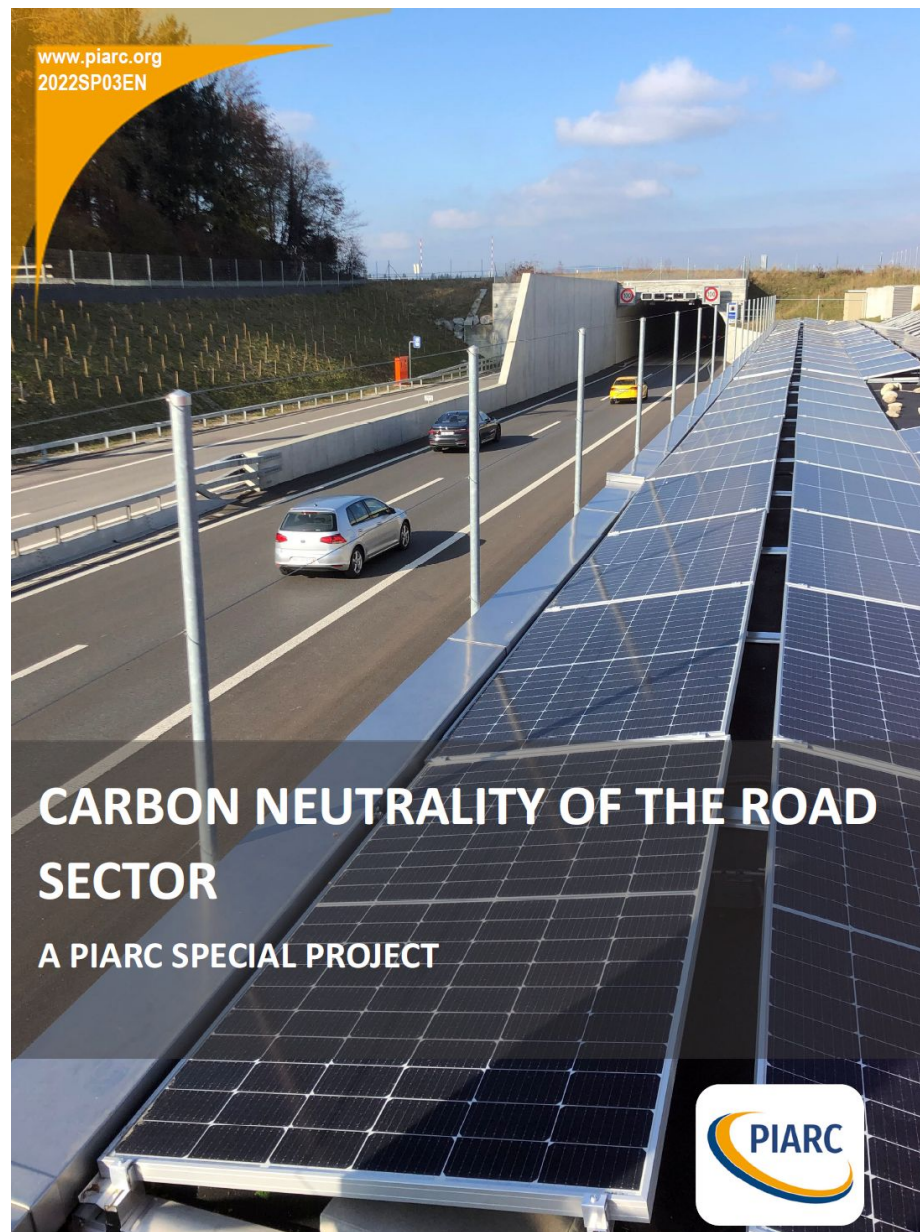
# Zielone kryteria dotyczące projektowania, budowy i utrzymania dróg

Największy wpływ na emisje ma ruch drogowy (zużycie paliwa przez samochody i ciężkie samochody ciężarowe) na etapie użytkowania drogi przy czym:

- **drogi o dużym natężeniu ruchu i gęstości ruchu** – Opory toczenia i zatłoczenie (zatory), które mają największy wpływ na zużycie energii i emisje. Produkcja materiałów i transport są drugorzędnym zagadnieniem.  
*zmniejszenie oporu toczenia o 10% może doprowadzić do obniżenia zużycia paliwa o 1–2%*
- **drogi o małych natężeniach ruchu** (< 2000 P/d wg stand. AASHTO) – ważniejsze są produkcja materiałów i transport (odl. większe niż 25 km) niż opory toczenia i ruch drogowy.



# Wspomaganie przez PIARC procesu dekarbonizacji drogownictwa



## CARBON NEUTRALITY OF THE ROAD SECTOR

A PIARC SPECIAL PROJECT



# Kierunki dekarbonizacji w drogownictwie

- **Zerowa emisja dwutlenku węgla netto (Net Zero Carbon)** – oznacza redukcję emisji dwutlenku węgla do poziomu jak najbardziej zbliżonego do zera.

Wszelkie niewielkie ilości pozostałych emisji są następnie równoważone przez absorpcję w naturalnych pochłaniaczach dwutlenku węgla, takich jak lasy, wody lub przy użyciu nowych technologii, takich jak wychwytywanie dwutlenku węgla.



- **Neutralność węglowa (Carbon Neutrality)** – oznacza równoważenie emisji dwutlenku węgla poprzez "offset", tj. oddzielne usuwanie węgla w atmosferze w celu zrównoważenia tego, co jest emitowane.

***Terminy te nie mogą być używane zamiennie!***

W raporcie PIARC 83% respondentów podało, że w ich kraju obowiązują cele zerowe netto.

*Niezależnie od tego, czy istnieją cele, przyjmuje się szereg strategii mających na celu ograniczenie emisji dwutlenku węgla*

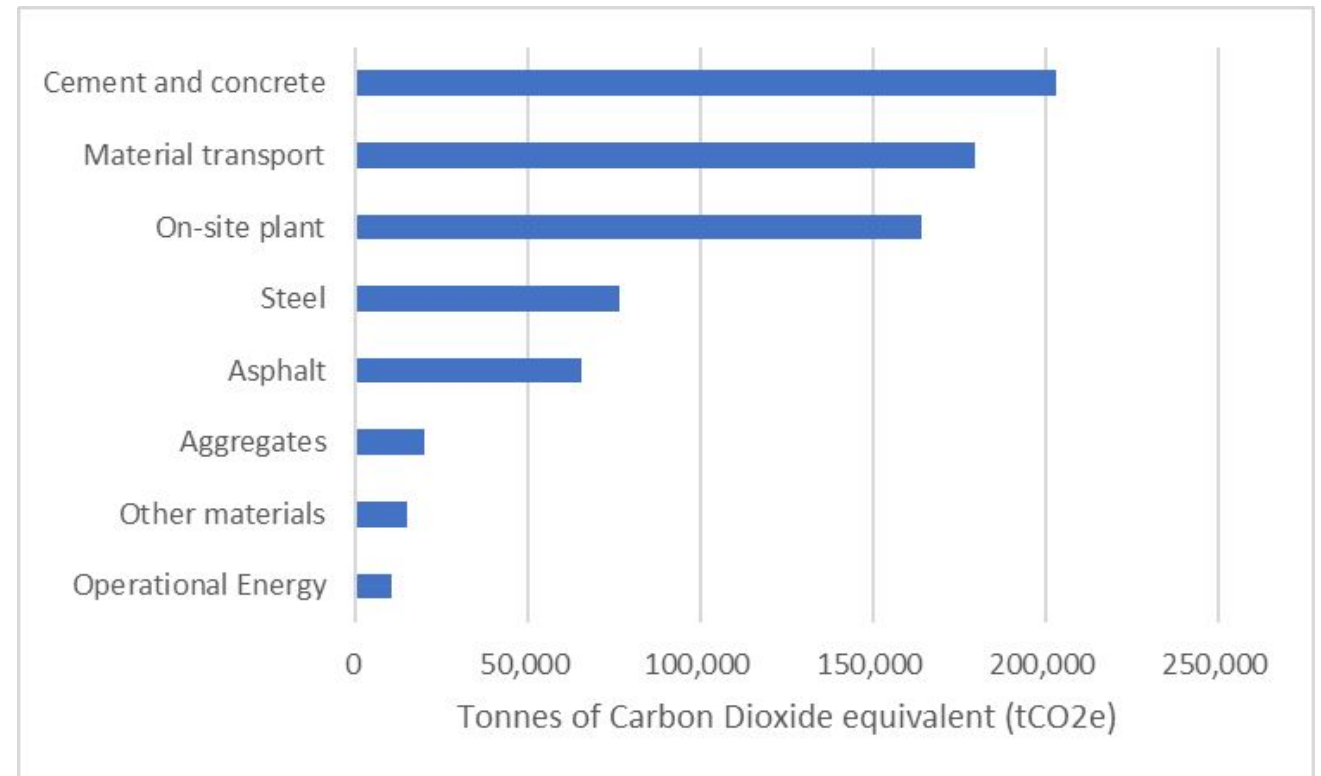
Net Zero Policy / Target Years					
Already Carbon Negative (takes more GHG from atmosphere than emitted)					
		Suriname	Bhutan		
In law	In policy document		Declaration/Pledge	Proposed/in discussion	
2045 - 2060	2030-2060		2050-2070	2030-2050	
2045	2030	2053	2050	2030	2045
Germany	Maldives	Turkey	UAE	Bangladesh	Nepal
Sweden	2035	2060	Israel	Mauritania	
Portugal	Finland	China	Estonia	Guinea-Bissau	
2050	2040	Ukraine	Andorra	2050	
Japan	Iceland	Sri Lanka	Brazil	Switzerland	The Bahamas
France	Antigua & Barbuda		Thailand	Slovakia	Nauru
UK	2050		Argentina	Cyprus	Seychelles
S Korea	USA		Malaysia	Trinidad and Tobago	Niue
Canada	Italy		Vietnam	Mexico	Mauritius
Spain	Belgium		Colombia	Pakistan	Namibia
Ireland	Austria		S Africa	Peru	Togo
Denmark	Chile		Kazakhstan	Ethiopia	Somalia
Hungary	Greece		Malawi	Myanmar	Sierra-Leone
New Zealand	Panama		Cape Verde	Dominican Republic	Burundi
Luxemburg	Croatia		2060	Sudan	The Zambia
EU	Uruguay		Saudi Arabia	Bulgaria	Lesotho
Australia	Latvia		Bahrain	Tanzania	Central African Reublic
Fiji	Malta		Nigeria	Lebanon	Tomor-Leste
2060	Slovenia		2070	Afghanistan	Solomon Islands
Russian Federation	St Kitts & Nevis		India	Zambia	Granada
	Monaco			Senegal	Comoros
	Singapore			Burkina-Faso	Samoa
	Lithuania			Mozambique	Sao Tome and Principe
	Costa Rica			Papua New Guinea	Vanuatu
	Marshall Islands			Guinea	Tonga
	Belize			Nicaragua	Micronesia
	Romania			Haiti	Palau
	Laos			Niger	Kiribati
	Ecuador			Rwanda	Tuvalu
	Liberia			Jamaica	Eritrea
				Chad	Yemen
				Saint Vincent & The Grenadines	
HIC				2060	
LMIC				Indonesia	

# Rozwiązania techniczne w dekarbonizacji drogownictwa

- **Budowa i utrzymanie infrastruktury drogowej** –
  - analiza zasadności potrzeby budowy nowych obiektów oraz skuteczne utrzymanie istniejących aktywów,
  - planowanie prac mających na celu ograniczenie emisji,
  - zmniejszanie oporu toczenia oraz dróg stosowanie materiałów niskoemisyjnych i dekarbonizacja firm budowlanych.

*Podstawa do sporządzenia strategii ograniczania emisji to bilans źródła emisji dwutlenku węgla z budowy i utrzymania autostrad – Australia, 2020 r.*

*Emisja 734 000 tCO<sub>2</sub>e*





# Rozwiązania techniczne w dekarbonizacji drogownictwa

- Dekarbonizacja pojazdów użytkowników dróg:
  - zależy od polityki krajowej, która może być wspierana przez krajowe organy regulacyjne,
  - stosowanie biopaliw
  - elektryczne pojazdy osobowe i lekkie dostawcze – w przypadku pojazdów ciężkich analizowane są różne opcje, w tym magazyny energii, elektryczne systemy drogowe i wodór.

*Próbny odcinek elektrycznej drogi szybkiego ruchu na autostradzie E15 w Szwecji „eHighway”*



# Rozwiązania techniczne w dekarbonizacji drogownictwa

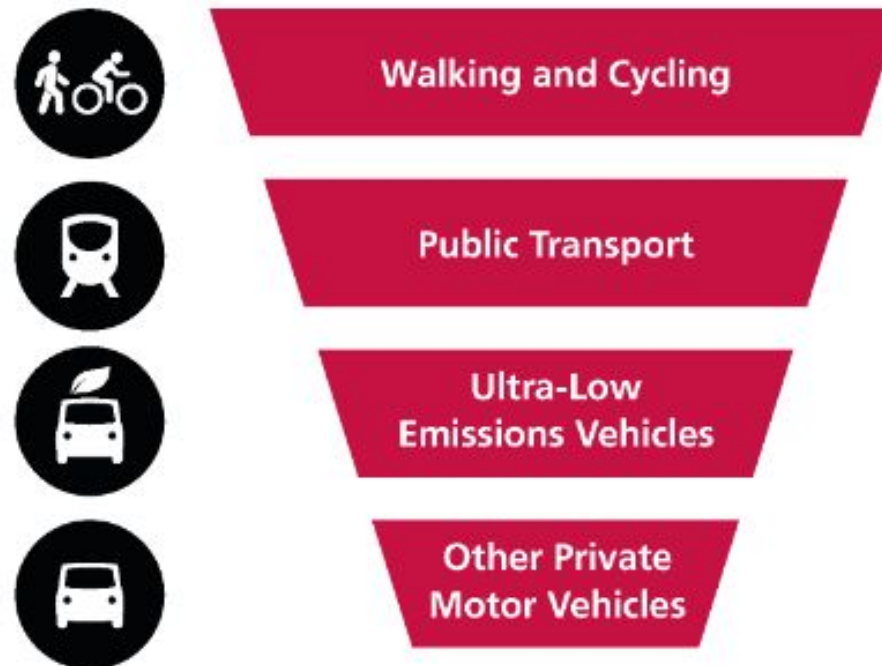
- **Operacje na sieci drogowej i infrastruktura towarzysząca:**
  - oświetlenie (w tym znaki i sygnały drogowe),
  - ograniczenie wpływu dużej floty pojazdów przez zarządców dróg (pojazdy służbowe, ratownicze, piaskarki i pługi śnieżne).

*Na całym świecie istnieje około 363 miliony latarni ulicznych.*

*Szacuje się, że zastępując dodatkowe 10% z nich technologią LED, można osiągnąć globalne roczne zmniejszenie emisji o 2,5-16,5 MtCO<sub>2</sub>*

# Rozwiązania techniczne w dekarbonizacji drogownictwa

- **Wybór dróg przez użytkowników:**
  - zdrowa alternatywa dla krótkich podróży samochodem,
  - transport publiczny skoncentrowany na pasażerach stanowi alternatywę dla korzystania z pojazdów prywatnych,
  - systemy zachęt i kar, aby zachęcić do zmiany rodzaju transportu.

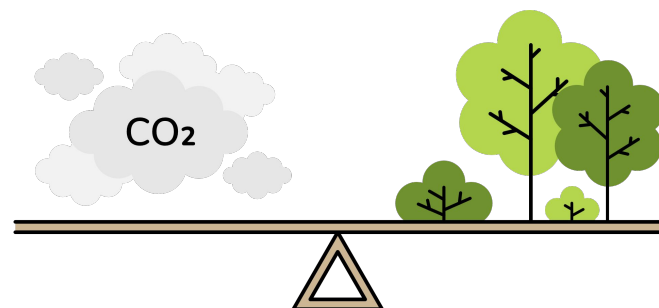


# Rozwiązania techniczne w dekarbonizacji drogownictwa

- **Kompensacja emisji dwutlenku węgla** (usuwanie węgla z atmosfery lub unikania jego uwalniania):
  - wspieranie różnorodności biologicznej,
  - sadzenie drzew i utrzymanie dobrej jakości gleb,
  - stosowanie certyfikowanych systemów pochłaniania.

*Kompensacja emisji dwutlenku węgla prawdopodobnie nie będzie skuteczną drogą do osiągnięcia neutralności pod względem emisji dwutlenku węgla, bez jednoczesnego osiągnięcia znacznych redukcji emisji dwutlenku węgla*

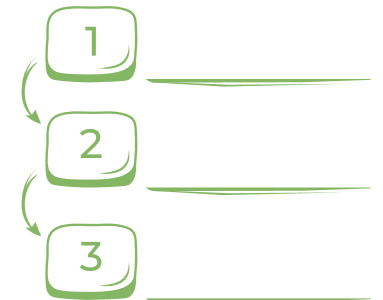
*Kompensacja emisji powinna być ostatnim elementem strategii, a kluczowym działaniem jest redukcja emisji*



# Kierunki prac TC 4.5 – Decarbonization of road construction and maintenance (2024-2027)



1. Poprawa logistycznej i technologicznej wydajności dekarbonizacji projektów w zakresie budowy i utrzymania dróg
2. Nowe technologie pomiaru i kontroli dekarbonizacji dróg.
3. Dekarbonizacja w logistyce (projektów) budowy dróg.
4. Dekarbonizacja sprzętu budowlanego i utrzymaniowego.
5. Kalkulatory śladu węglowego (emisji CO<sub>2</sub>)



# Przykład analizy śladu węglowego – przebudowa mostu



Most jednoprzęsłowy, żelbetowy – ruszt oparty na dwóch żelbetowych przyczółkach.  
Jezdnię asfaltowa, z dwoma pasami ruchu oraz obustronne chodniki.



Podstawowe parametry geometryczne mostu:

- rozpiętość przęsła w świetle podpór 8,43 m
- długość całkowita 14,50 m
- szerokość całkowita 9,63 m
- szerokość jezdni na obiekcie 6,64 m
- szerokość chodnika 2 x 1,5 m

D. Matysek. Badania i analizy śladu węglowego dla wybranych rozwiązań drogowych. Politechnika Lubelska, 2019.

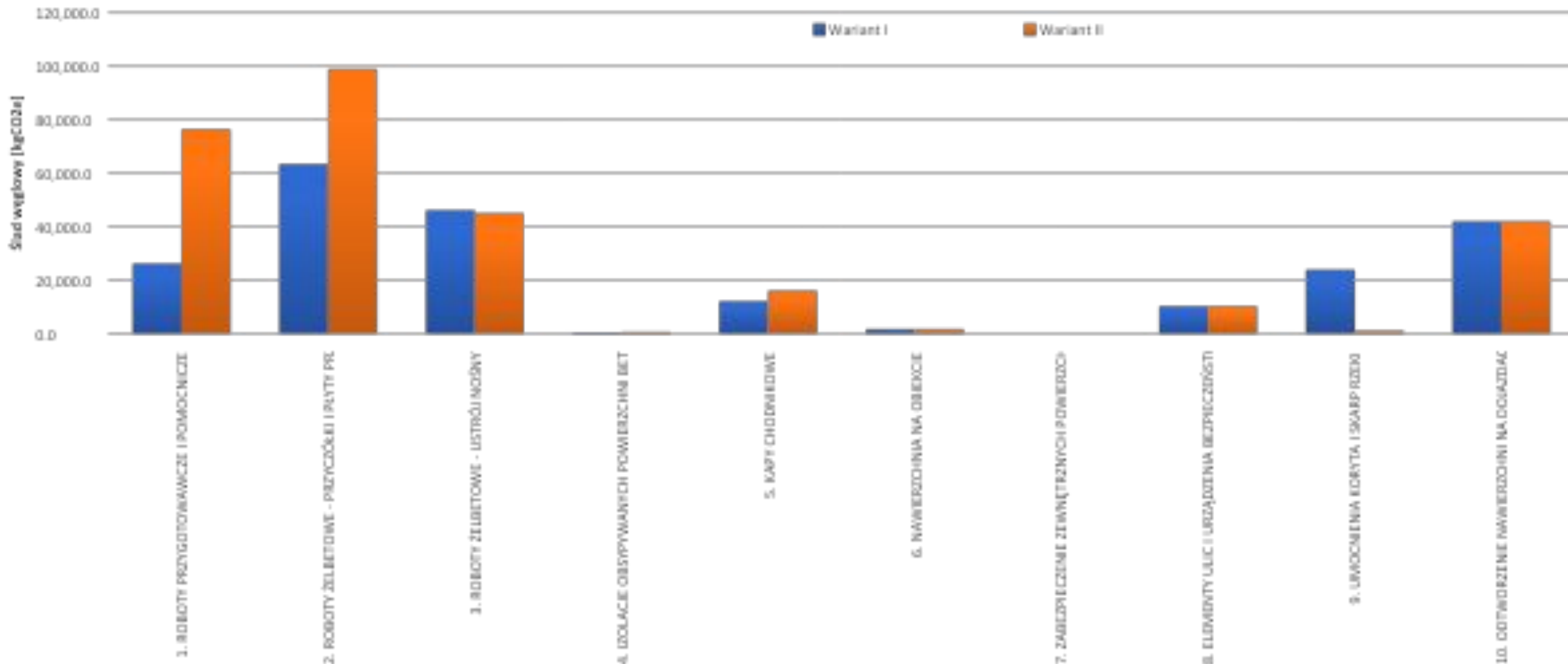
W ramach przebudowy mostu przewidziano całkowitą wymianę ustroju nośnego (oba warianty)

Pierwotny wariant (**wariant I**) zakładał poszerzenie istniejących przyczółków do szerokości 12,85 m z zastosowaniem grodziec winylowych. Ustrój nośny zaprojektowano jako monolityczną płytę żelbetową, jednoprzęsłową, o wysokości konstrukcyjnej 89 cm. W przekroju poprzecznym wydzielono pięć dźwigarów połączonych ze sobą płytą o grubości 32 cm.



Wariant przebudowy (**wariant II**) uwzględnił budowę nowych podpór. Zaprojektowano stalowe ścianki szczelne, które utworzyły zabezpieczenie skarp wykopu. Istotną zmianą była rezygnacja z monolitycznego ustroju nośnego na rzecz belek prefabrykowanych typu KUJAN. Zmiana została podyktowana skróceniem czasu wykonania konstrukcji.



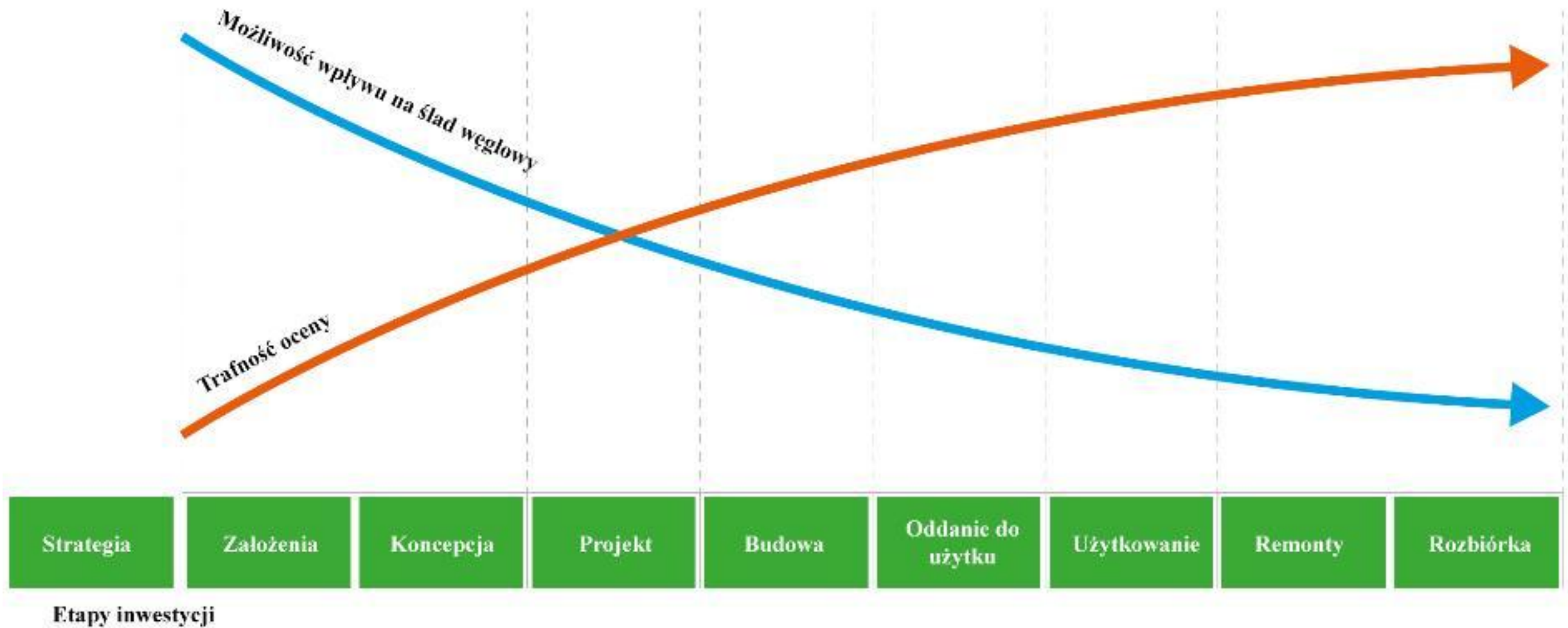


**Ślad węglowy w przypadku wariantu II jest o 29% większy niż w przypadku wariantu I**

O wyniku zdecydowały:

- zastosowanie stalowych grodzic, których materiałowy ślad węglowy jest znacznie wyższy niż grodzic winylowych
- budowa nowych przyczółków podczas gdy pierwszy wariant zakładał remont i poszerzenie istniejących podpór.





# Dziękuję za uwagę

