



Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska

# Asfalty do recyklingu jako odpowiedź na współczesne wyzwania ochrony środowiska i dekarbonizację



**dr hab. inż. Jan Król, prof. uczelni**





## Cel projektu - „Asfalty do recyklingu”

### Założenie podstawowe

Opracowanie nowego lepszego asfaltowego

Spełnienie wymagań normowych



### Oddziaływanie natychmiastowe

Homogenizacja

Urabialność i zagęszczalność



### Oddziaływanie długoterminowe

Kompatybilność

Odporność na starzenie

Odświeżanie



# Kompozycje mieszanek mineralno-asfaltowych

## AC 16 W KR 3-4

	AC 16W KR3-4	AC 16W KR3-4 +10%GA	AC 16W KR3-4 +20%GA	AC 16W KR3-4 +30%GA
wypełniacz	4%	3%	2%	0%
0/2	16%	14%	10%	7%
0/4	4%	1%	2%	0%
2/5	4%	4%	3%	2%
2/8	28%	24%	24%	23%
8/11	30%	30%	27%	25%
11/16	14%	14%	14%	14%
GRA	0%	10%	20%	30%
asfalt	4,4%	3,9% + 0,5%	3,4% + 1,0%	2,9% + 1,5%

## 22 GRA 0/16



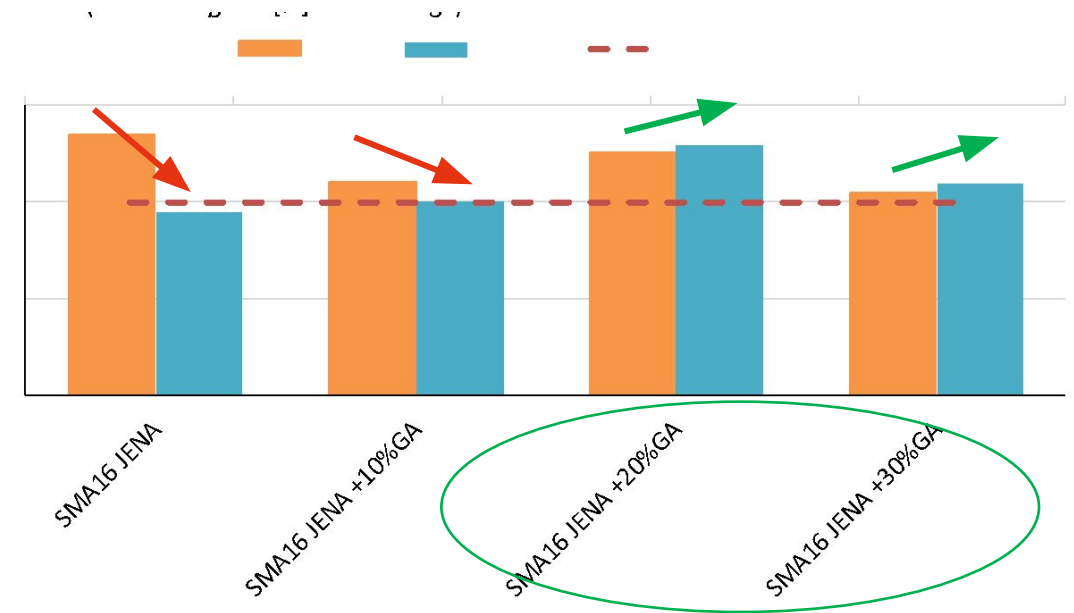
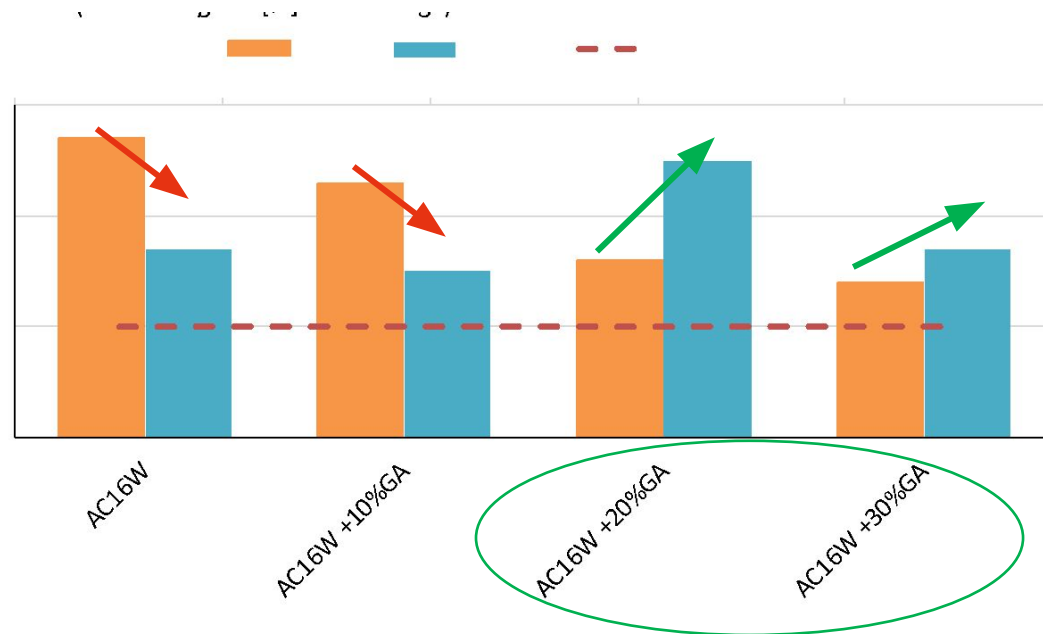
## SMA 16 JENA KR 3-4

	SMA16 JENA KR3-4	SMA16 JENA KR3-4 +10%GA	SMA16 JENA KR3-4 +20%GA	SMA16 JENA KR3-4 +30%GA
wypełniacz	9%	8%	6%	5%
0/2	19%	15%	10%	5%
2/5	9%	7%	7%	5%
4/8	10%	9%	7%	5%
8/11	19%	18%	17%	16%
11/16	34%	34%	34%	34%
GRA	0%	10%	20%	30%
asfalt	4,7%	4,2% + 0,5%	3,7% + 1,0%	3,2% + 1,5%



## Odporność na działanie wody, ITSR

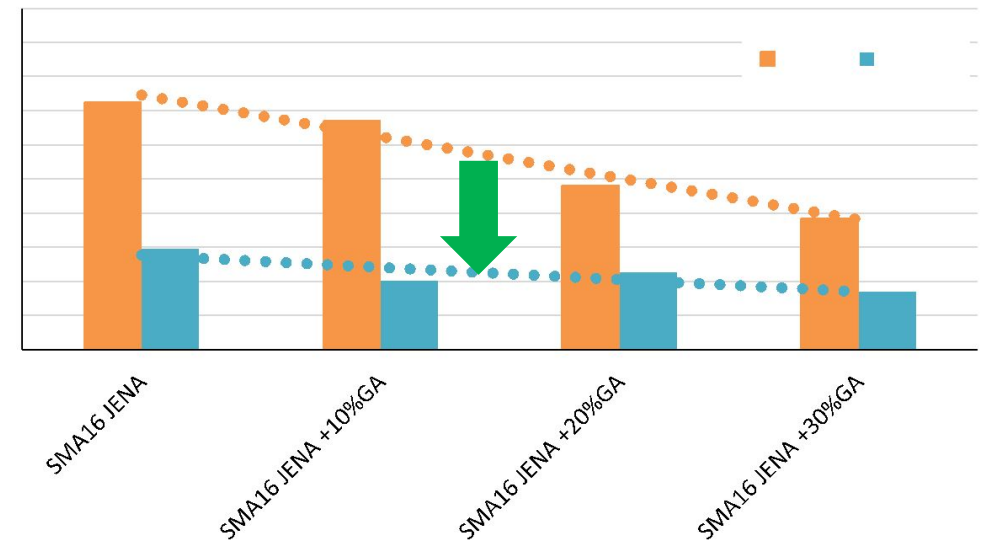
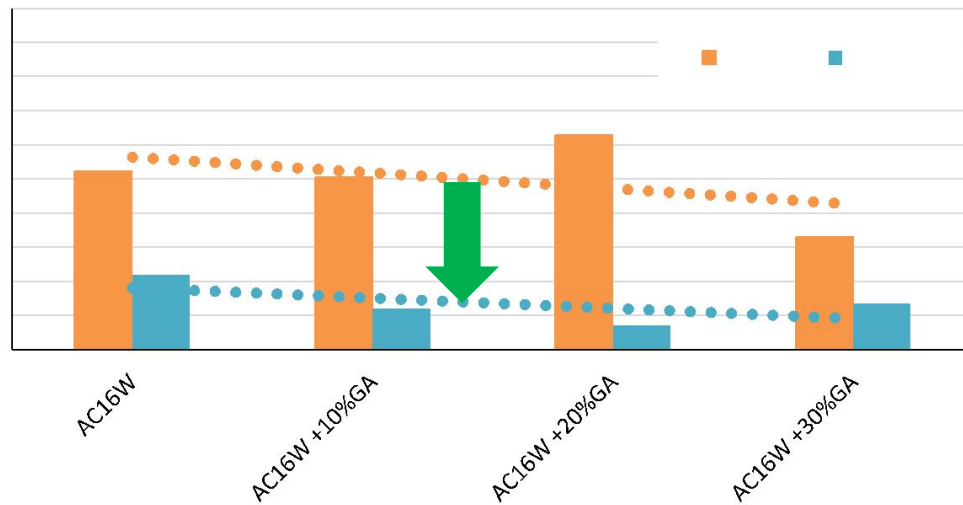
W mieszankach AC16W i SMA16 JENA asfalty do recyklingu (R) wyraźnie poprawiają odporność na działanie wody przy zawartości granulatu asfaltowego > 20%.





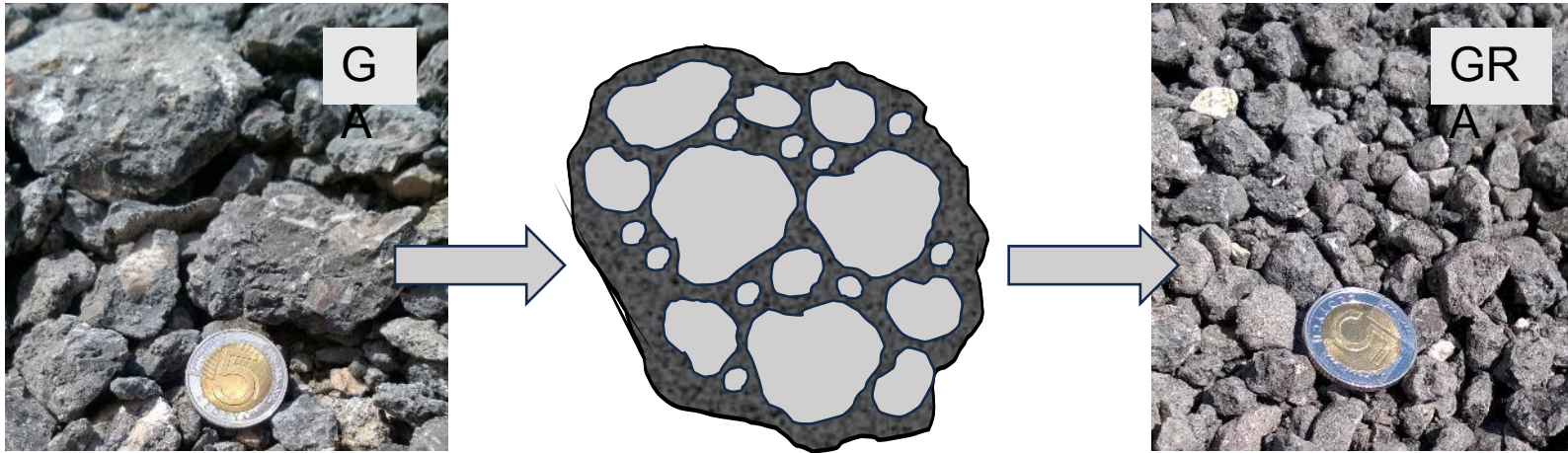
# Odporność na starzenie, $\Delta S_{LTOA}$

W mieszankach AC16W i SMA16 JENA asfalty do recyklingu (R) wyraźnie poprawiają odporność na starzenie.





# Aktywacja lepiszcza i fragmentacja RAP

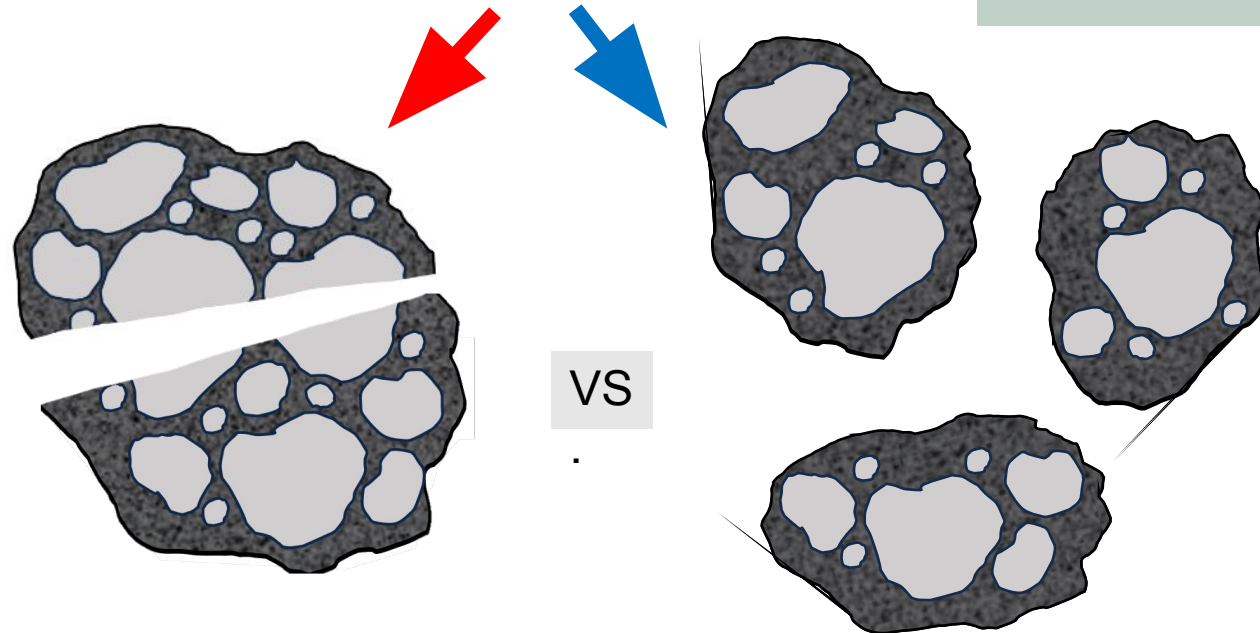


Do czego dążymy?

- Jednorodność
- Powtarzalność
- Przewidywalność
- Kontrola procesu

**Kluczowe zagadnienia**

- Aktywacja lepiszcza
- Dostępność lepiszczy
- Rola kruszywa z GRA
- Pokrycie lepiszczem
- Mieszalność lepiszczy

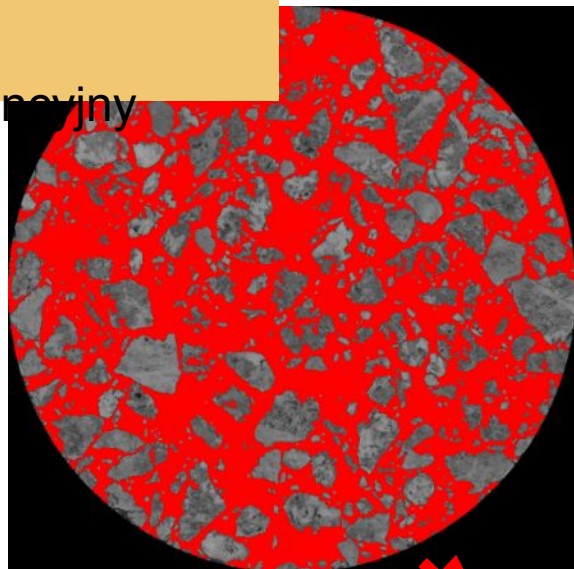




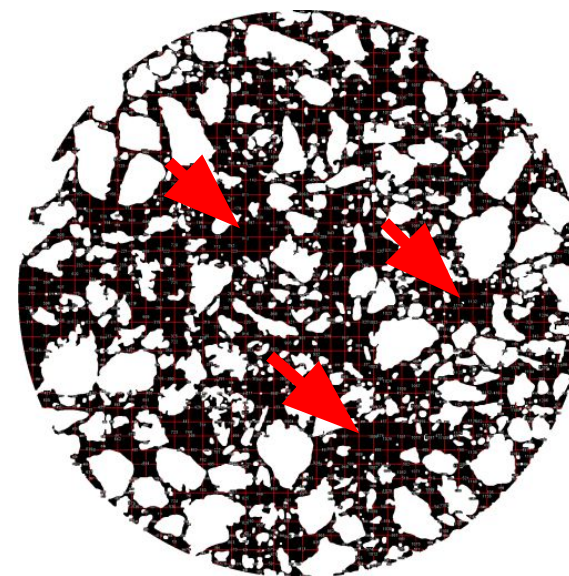
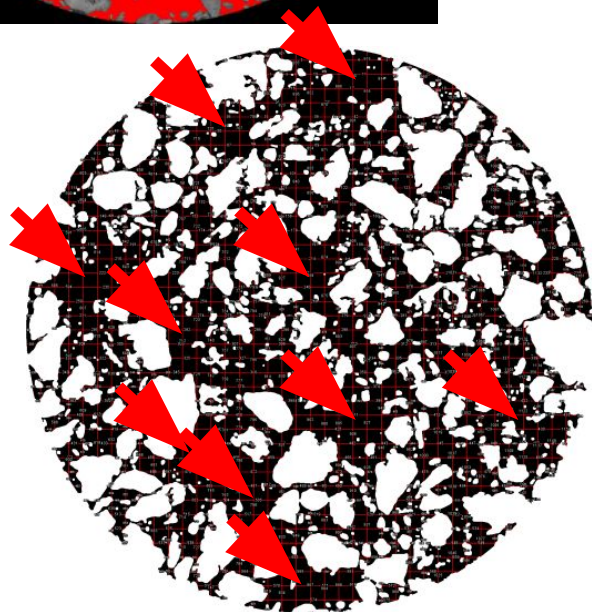
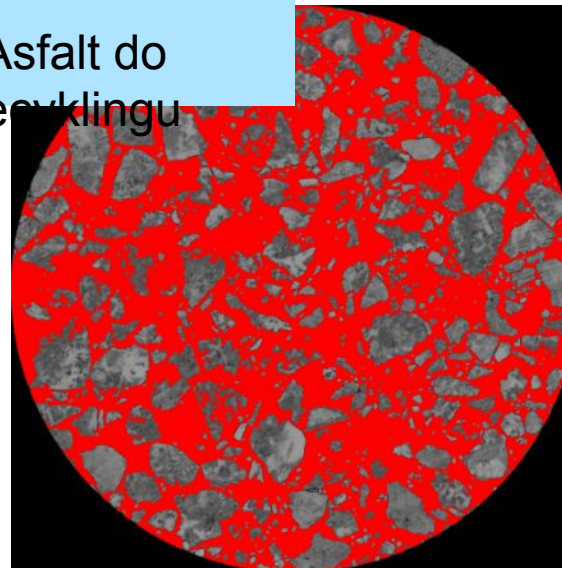


# Jednorodność mieszanek SMA 16 JENA z GRA

Asfalt referencyjny



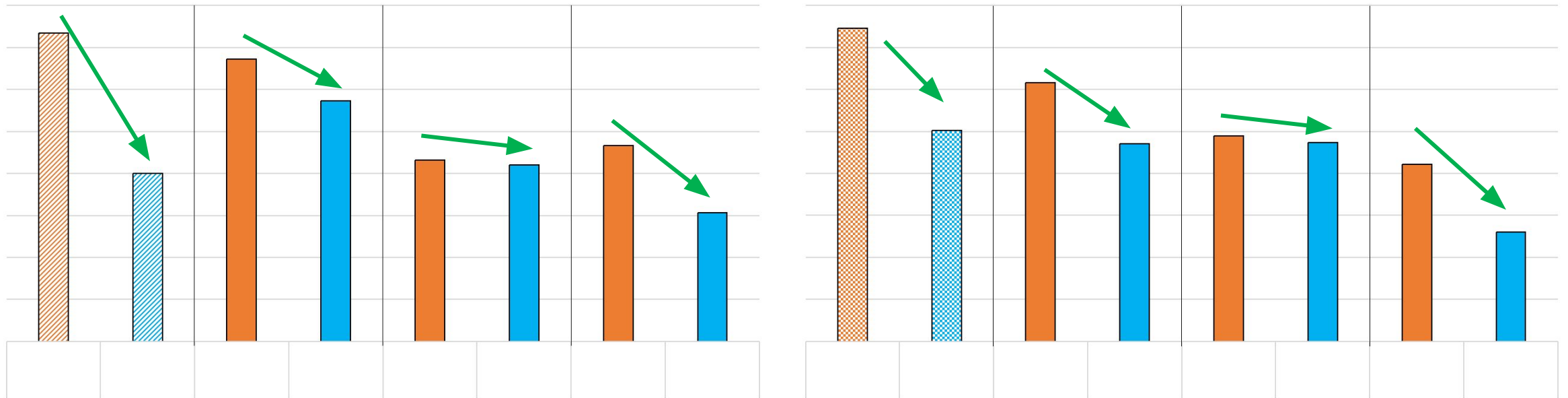
Asfalt do recyklingu





## Jednorodność mieszanek SMA 16 JENA z GRA

- Rozbicie i równomierne rozproszenie w mieszankach skupisk granulatu asfaltowego (GA)
- Poprawa urabialności mieszanek w trakcie zagęszczania oraz wzrost jednorodności struktury całej mieszanki

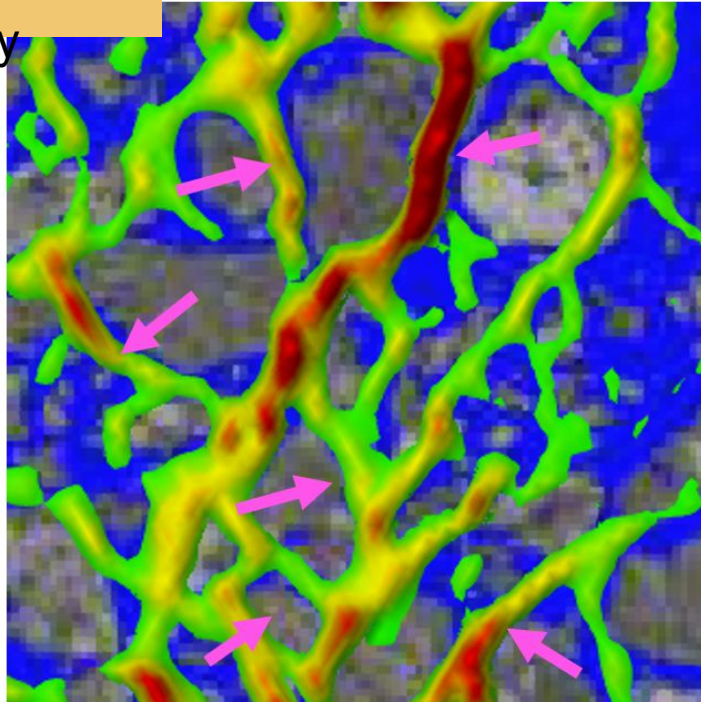






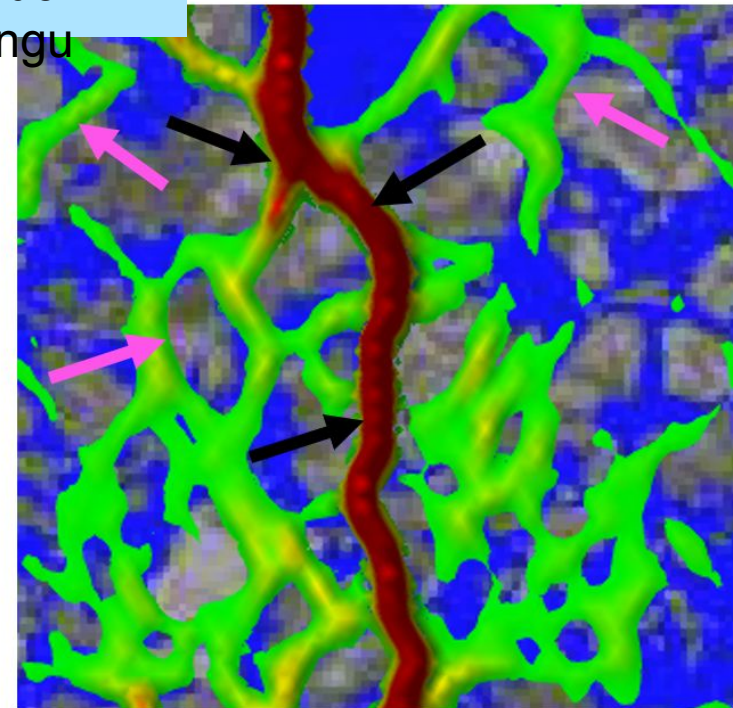
# Ocena propagacji spękań metodą OIA – WYNIKI BADAŃ

Asfalt referencyjny



Spękania na granicy faz:  
kruszywo – matryca asfaltowo-destrukcyjna

Asfalt do recyklingu



Spękania w kruszywie, spękania na granicy faz:  
kruszywo – matryca asfaltowo-destrukcyjna

Mieszanka o większym udziale aktywowanego lepiszcza z granulatu asfaltowego (z asfaltem do recyklingu) ulega mniejszym deformacjom podczas pęknięcia w temperaturze pośredniej. W późniejszym czasie następuje utrata integralności MMA, tj. kohezji.



# „Asfalt do recyklingu” vs. DEKARBONIZACJA

## Asfalt do recyklingu

Założenie podstawowe

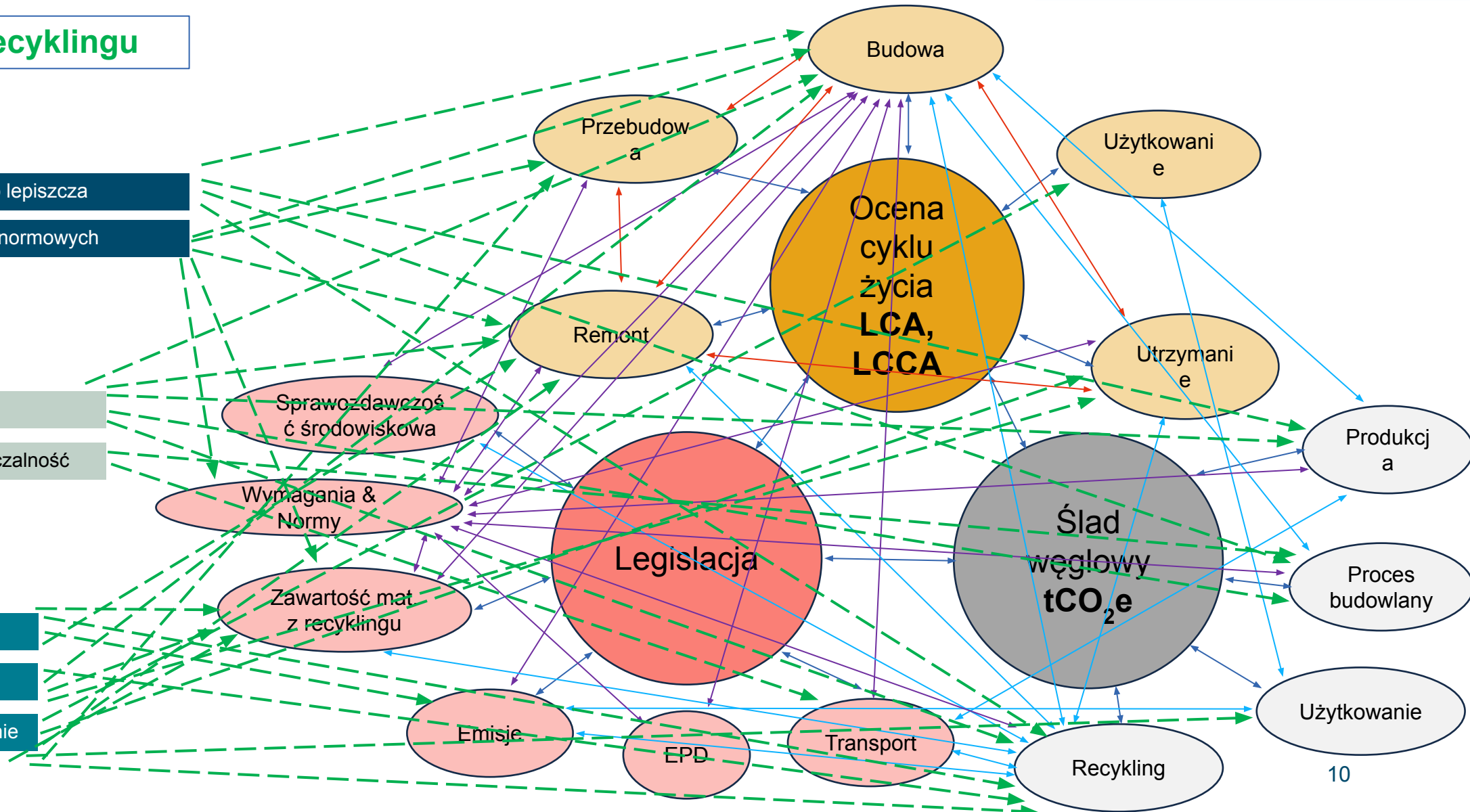
- Opracowanie nowego lepiszcza
- Spełnienie wymagań normowych

Oddziaływanie natychmiastowe

- Homogenizacja
- Urabialność i zagęszczalność

Oddziaływanie długoterminowe

- Odświeżanie
- Kompatybilność
- Odporność na starzenie





- **AKK** - Analiza kosztów i korzyści (Cost-Benefit Analysis, CBA).

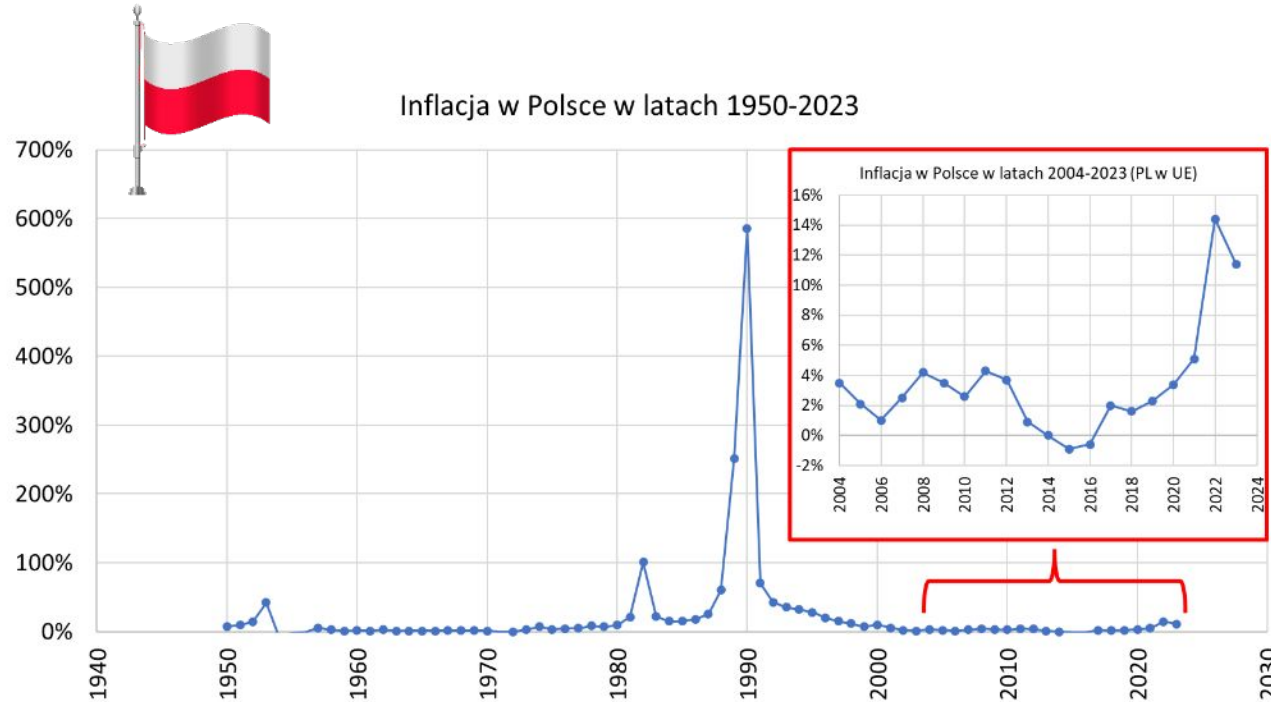
Metodyka wykorzystywana do oceny efektywności inwestycji na podstawie całości przewidywanych kosztów i korzyści w badanej perspektywie czasowej z uwzględnieniem kosztów społecznych i środowiskowych.

- **LCA** - Ocena cyklu życia (Life Cycle Assessment)
- **LCCA** - Analiza kosztu cyklu życia (Life Cycle Cost Analysis)

Istotą tych analiz jest zastosowanie szerokiego podejścia do badanego zagadnienia, obejmującego pełen cykl, tzn. od powstania poprzez eksploatację aż po zagospodarowanie odpadu.



# Rachunek dyskontowy i wskaźniki ekonomiczne



<https://stat.gov.pl/>

Okres odniesienia 25 lat, w tym okres realizacji projektu,  
Społeczna stopa dyskontowa (rekomenduje się 4,5 %) <sup>6</sup>,  
Stałe ceny – bez inflacji, stosowane przez cały okres analizy,

**ENPV – Economic Net Present Value**  
– ekonomiczna zaktualizowana wartość netto. Suma zdyskontowanych wartości oczekiwanych kosztów inwestycji pomniejszonych o zdyskontowaną wartość oczekiwanych korzyści ekonomicznych.

**ERR – Economic Rate of Return** – ekonomiczna wewnętrzna stopa zwrotu.

**BCR – Benefit-Cost Ratio** – wskaźnik kosztów/korzyści

Wskaźniki BCR i EIRR w przeciwieństwie do wskaźnika ENPV, nie zależą od wielkości inwestycji/projektu





# Wartość końcowa a rachunek dyskontowy



Środek trwały w momencie sprzedaży ma pewną wartość i zaczyna nowe życie u nowego właściciela



Wartość szczątkowa / wartość odzyskanego surowca.



Destrukt asfaltowy / Granulat asfaltowy ma wartość w postaci odzyskanego surowca.







# Nakłady inwestycyjne i koszty użytkowników



## □ Nakłady inwestycyjne

- budowa i przebudowa
  - materiały
  - płace
  - gwarancje
  -

$k_j(V_{pdr,j}, T, S)$  – jednostkowe koszty w funkcji prędkości podróży  $V_{pdr,j}$ , ukształtowania terenu  $T$  i **stanu technicznego nawierzchni  $S$** , w PLN/poj-km,



## □ Nakłady na utrzymanie

- remonty okresowe
- remonty cząstkowe
- utrzymanie bieżące

## □ Koszty



- eksploatacji pojazdów



- czasu podróży – pasażerów

ofiar



- zanieczyszczenia środowiska



- hałas



- zmiany klimatu

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

$$K_c = 365 \cdot L \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{SDR_i \cdot p_i \cdot k_{ci} \cdot u_i}{V_i^{pdr}}$$

$$K_w = \sum_{t=1}^n [(k_{zt} \cdot a_{zt}) + (k_{rt} \cdot a_{rt}) + (k_{ct} \cdot a_{ct}) + (k_{mt} \cdot a_{mt})]$$

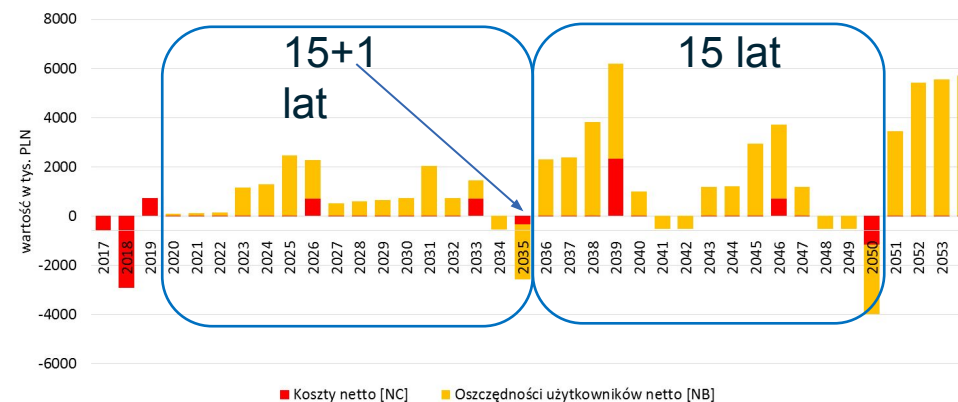
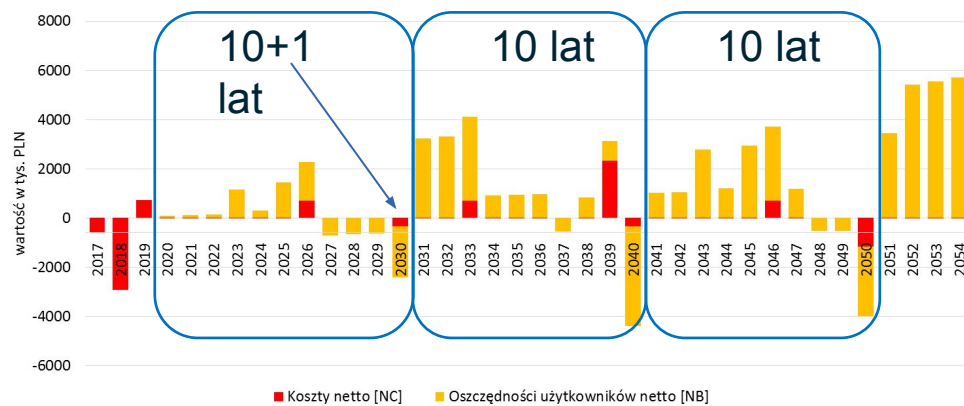
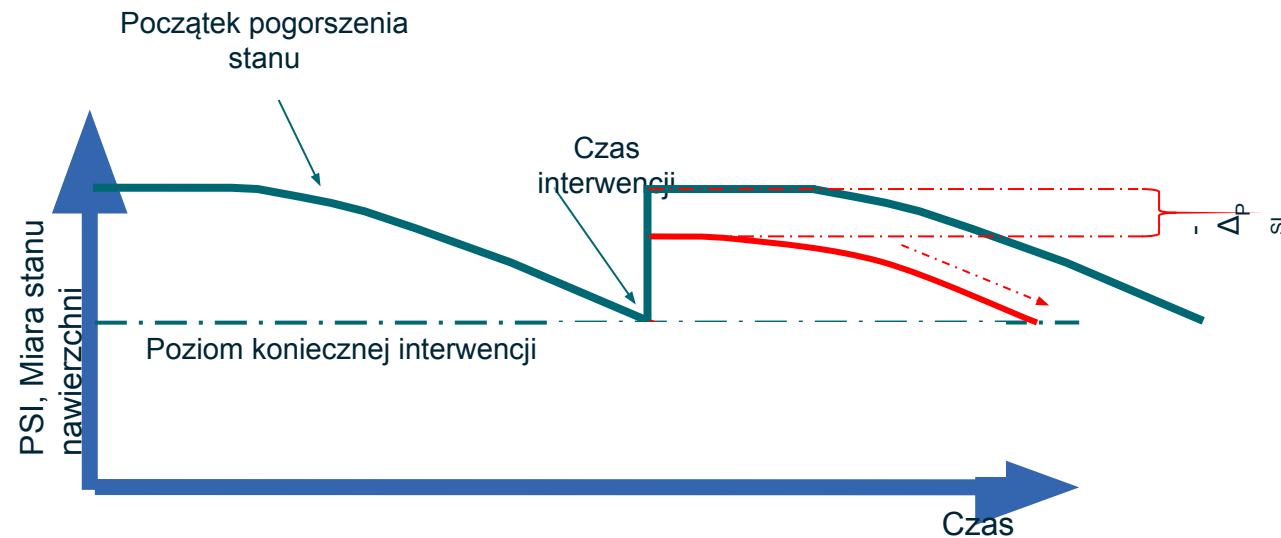
$$K_z = 365 \cdot L \cdot \sum_{j=1}^2 k_{s,j}(V_{pdr,j}, T, S) \cdot SDR_j$$

$$K_H = 365 \cdot L \cdot \sum_{j=1}^2 k_{h,j}(Z) \cdot SDR_j$$

$$K_{zK} = 365 \cdot L \cdot \sum_{j=1}^2 k_{zk,j}(V_{pdr,j}, T, S) \cdot SDR_j$$



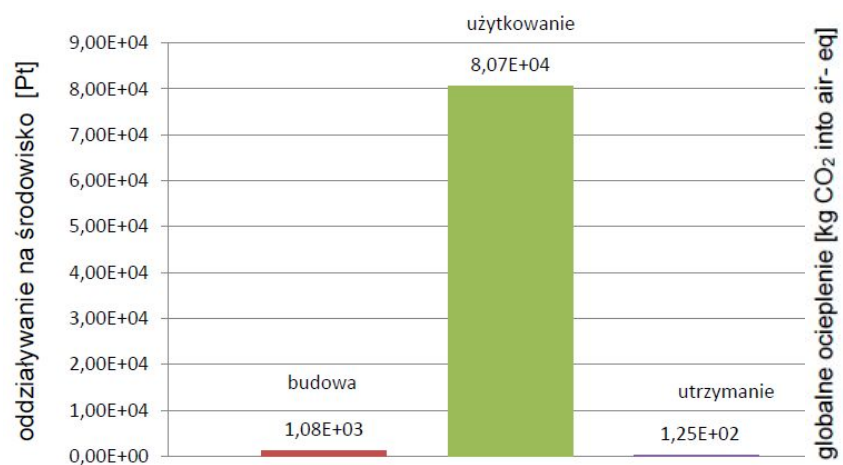
# Cykle remontowe nawierzchni drogowej i scenariusze utrzymaniowe w analizach LCA



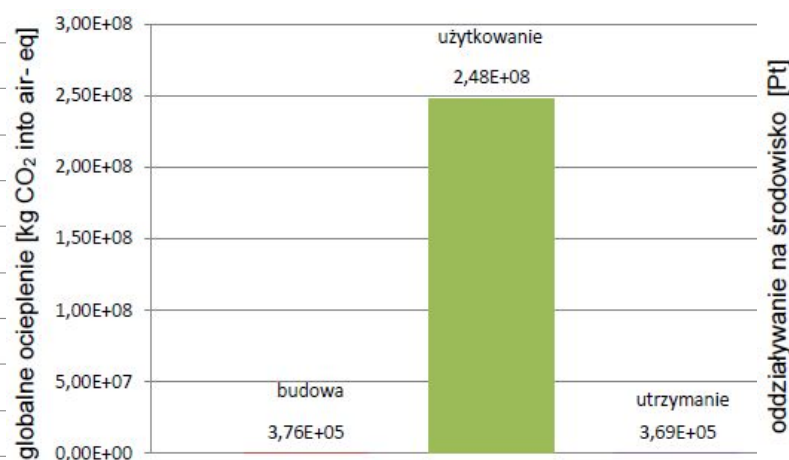


# Oddziaływanie na środowisko – emisja CO<sub>2</sub>

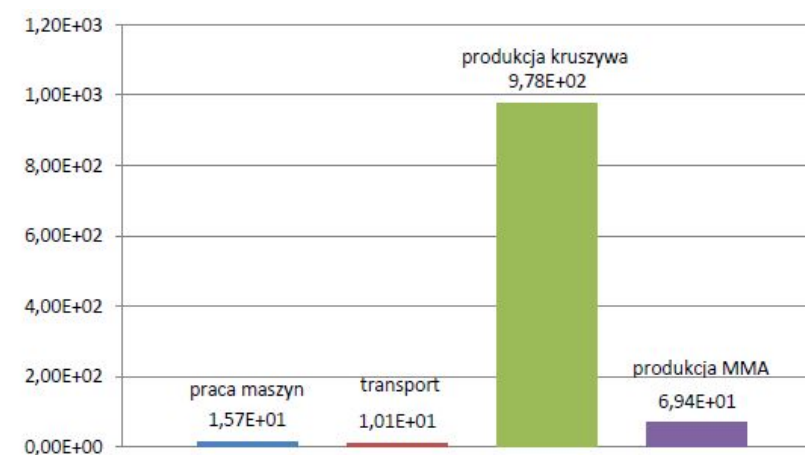
Oddziaływanie na środowisko poszczególnych etapów cyklu życia drogi asfaltowej, wyrażone jako skumulowane wyniki wskaźników kategorii szkody (wyniki eko-wskaźnika)



Ślad węglowy drogi asfaltowej



Oddziaływanie na środowisko poszczególnych procesów etapu budowy drogi asfaltowej



- Pt - wskaźnik kategorii szkody wyrażony w punktach środowiskowych.
- Jeden punkt środowiskowy oznacza średni wpływ na środowisko spowodowany przez jedną osobę w ciągu roku w Europie.

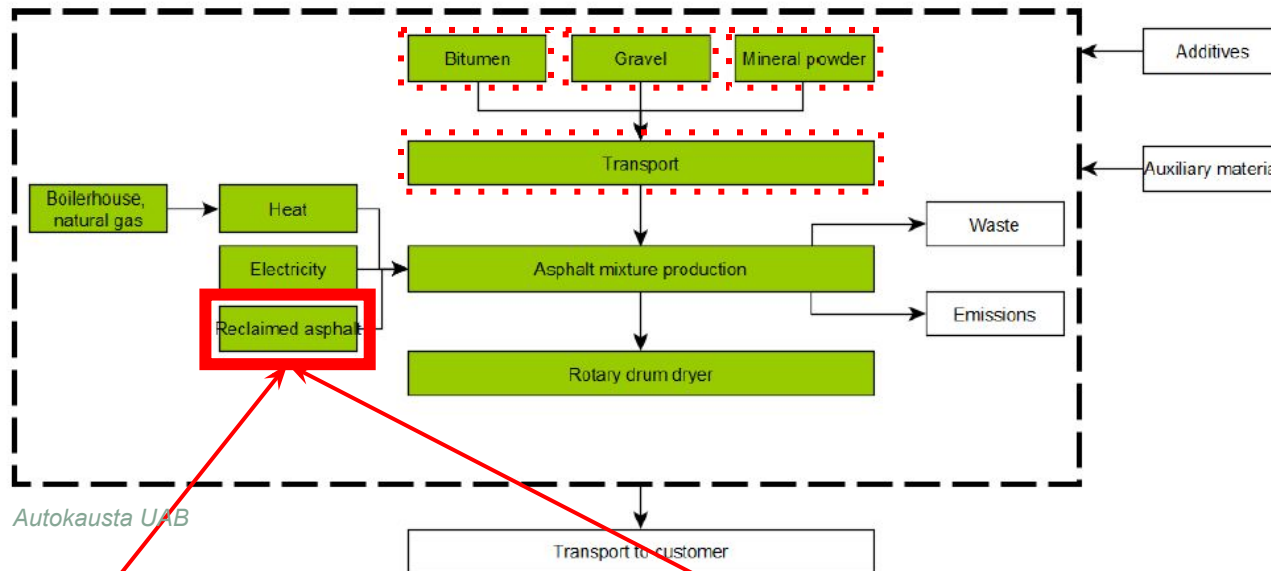


# Deklaracja środowiskowa EPD typu III

www.environdec.com



Life cycle stage
A1) Raw material supply
A2) Transport
A3) Manufacturing
A4) Transport
A5) Construction installation
B1) Use
B2) Maintenance
B3) Repair
B4) Replacement
B5) Refurbishment
B6) Operational energy use
B7) Operational water use
C1) Deconstruction, demolition
C2) Transport
<b>C3) Waste processing</b>
C4) Disposal
D) Reuse, recovery, recycling potential



Autokausta UAB

Results per functional or declared unit									
Indicator	Unit	A1-A3	A4	A5	C1	C2	<b>C3</b>	C4	D
Components for re-	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
<b>Material for recycling</b>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	<b>9.50E+02</b>	0.00E+00	0.00E+00
for energy recovery	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Exported energy, electricity	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Exported energy, thermal	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Peab Asfalt AB

Autokausta UAB

## 1. EPD-Deklaracja dla pojedynczego wyrobu

- Wysoka precyzja i szczegółowość danych
- Może być trudne dla produktów o złożonej strukturze

## 2. EPD-Deklaracja dla grupy wyrobów

- Dla firm z wieloma produktami
- Możliwość ukrycia wpływu środowiskowego najbardziej szkodliwych produktów

## 3. EPD Branżowe

- Umożliwia branżom prezentację ich postępów w zakresie zrównoważonego rozwoju

## 4. EPD Projektowe

- Kompleksowość analizy LCA i potrzeba zaawansowanego modelowania



- Technologię recyklingu nawierzchni asfaltowych można i powinno się uwzględniać w analizach **LCA i LCCA**.
- Możliwa jest **redukcja emisji CO<sub>2</sub>** w całkowitym rozrachunku środowiskowym poprzez stosowanie świadomej technologii recyklingu wspomaganiej technologicznie:
  - recykling materiałowy
  - transport materiałów
  - deklaracje środowiskowe
- Wspomagany technologicznie recykling (np. poprzez asfalt do recyklingu) pozwala na **bezpieczne zwiększenie zawartości materiałów z recyklingu** na potrzeby głównych elementów dróg.
- Skuteczny recykling mieszanek mineralno-asfaltowych przyczynia się do **obniżenia emisji z transportu materiałów ciężkich** takich jak np. kruszywo.





- Specjalny „**asfalt do recyklingu**” poprawia zagęszczalność mieszanek, w tym tych z wysoką zawartością dodatku GRA.
- Najkorzystniejsze wyniki odporności na działanie wody (ITSR) otrzymano dla mieszanek z „**asfaltem do recyklingu**” przy zawartości GRA od 20% do 30%.
- Mieszanki z „**asfaltem do recyklingu**” wykazują wyraźną poprawę odporności starzeniowej.
- „**Asfalt do recyklingu**” korzystnie wpływa na aktywację i dostępność lepiszcza w GRA poprzez wspomagające działanie rozbitcia i równomiernego rozproszenia w mieszance klastrów asfaltowych zawierających GRA.
- Mieszanki z wysoką zawartością GRA z „**asfaltami do recyklingu**” ulegają mniejszym deformacjom podczas pęknięcia w temperaturze pośredniej i z opóźnieniem następuje utrata ich integralności tj. kohezji.



Badania zrealizowane w ramach projektu

**„Asfalty do recyklingu”**

finansowanego przez ORLEN S.A.  
(dawniej LOTOS Asphalt sp. z o.o.)



Projekt realizowany w latach 2020-2024.





# Dziękuję za uwagę

dr hab. inż. Jan Król, prof. uczelni  
[jan.krol@pw.edu.pl](mailto:jan.krol@pw.edu.pl)

Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska