

Kierunki rozwoju badań naukowych w zakresie recyklingu nawierzchni asfaltowych

dr hab. inż. Jan Król, prof. uczelni



**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

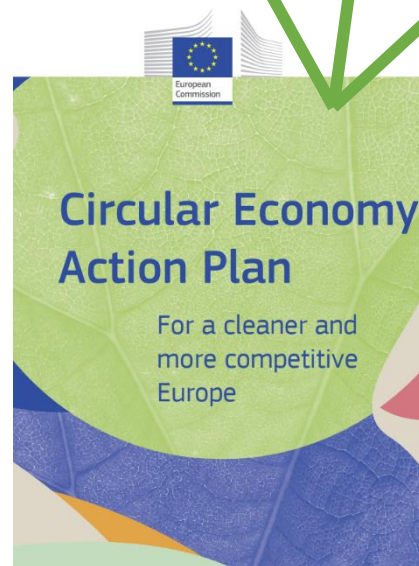
SEKCJA INŻYNIERII KOMUNIKACYJNEJ
Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN
29 czerwca 2023 r.

Gospodarka o obiegu zamkniętym

- Sektor budowlany wytwarza **35%** odpadów w UE.



- Emisja gazów cieplarnianych to **od 5 do 12%** całkowitej emisji pochodząca z:
 - wydobywania materiałów,
 - produkcji wyrobów budowlanych,
 - budowy i remontów.
- Nowa generacja materiałów i recykling może przynieść do **80% oszczędności** w emisji.



Gospodarka o obiegu zamkniętym

Według EAPA, ilość dostępnego materiału asfaltowego z recyklingu dróg w Europie to **49,5 mln ton**.

Europa

- branża drogowa wykorzystuje 76% materiału z recyklingu do produkcji nowych mieszanek asfaltowych,
- dodatkowo 20% jako materiał do innych zastosowań w inżynierii lądowej,
- tylko 4% jest składowane.



Destrunkt powstaje w wyniku **frezowania** warstw **nawierzchni istniejących dróg**



Jest to cenny materiał zawierający **ok. 95% dobrej jakości kruszywa**

Może być stosowany m.in.:



w mieszankach mineralno-asfaltowych jako częściowy **substytut kruszywa**



do utwardzania poboczy i podbudów drogowych

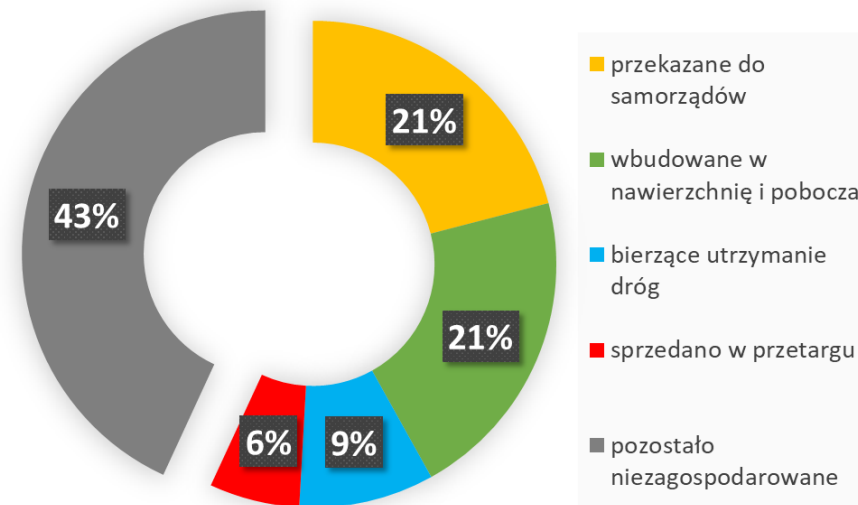


do budowy dróg serwisowych i dojazdowych, zjazdów itp

<https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/pl/a/39580/Kolejny-krok-do-latwiejszego-ponownego-wykorzystania-destruktu>

Polska

Gospodarka materiałem z recyklingu nawierzchni asfaltowych w GDDKiA (2018-2019)



Jeszcze 10 lat temu w Polsce wykorzystywano jedynie 10% materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowych



Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Skala recyklingu nawierzchni asfaltowych w Europie

TABLE 5. RE-USE AND RECYCLING

RE-USE AND RECYCLING OF RECLAIMED ASPHALT IN 2021

Country	Total amount of site-won asphalt generated in 2021 in tonnes	Amount of reclaimed asphalt available to be used by the asphalt industry in 2021 in tonnes	% of available reclaimed asphalt used in						
			Hot and Warm Mix Asphalt Production	Half Warm Mix Asphalt Production	On-Site Cold Recycling**	Plant Cold Recycling**	Unbound Road Layers	Other Civil Engineering Applications	Put to Landfill/Other Applications/ Unknown
Austria	1.850.000	900.000	85	0	5	0	10	0	0
Belgium	1.343.000	1.506.000	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data
Croatia	390.000	390.000	30	0	11	6	0	0	53
Czech Rep	2.700.000	2.400.000	20	0	25	5	25	10	15
Denmark	1.372.000*	1.172.000	85				15	no data	no data
Finland	1.000.000	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data
France	9.000.000	6.900.000	77		no data	no data	no data	no data	no data
Germany	14.000.000	11.600.000*	85	0	0	0	15	0	0
Great Britain	6.215.331*	3.100.000*	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data
Hungary	250.000*	160.000	98	0	0	0	2	0	0
Ireland	500.000*	200.000*	45*	no data	no data	no data	no data	no data	no data
Italy	11.000.000	no data	30			70			
Norway	1.129.512	1.172.618	46	0	0	1	54	0	0
Slovakia	82.134	70.946	63	0	29	0	8	0	0
Slovenia	200.000	79.000	40	0	3	2	5	18	32
Spain	3.050.000	2.495.000	61	0	6	0	15	18	0,01
Turkey	1.927.000	20.000	0,5	0	0	0,5	99	0	0
USA	91.000.000	90.000.000	95	0	0	0,1	4	0,2	0,1

Total Re-use	Total Recycling	Total Landfill
90	10	0
71	no data	no data
47	0	53
50	35	15
85	15	no data
no data	no data	no data
77	23	0
85	15	0
36*	64*	<1*
98	2	0
45	no data	no data
no data	no data	no data
46	54	0
92	8	0
45	23	32
66	34	0
1	99	0
95	4	0,1

Widoczna tendencja w przedefiniowaniu pojęć „recykling” → „powtórne użycia” materiałów asfaltowych:

„Asphalt re-use” – materiał pełni tę samą funkcję co pierwotnie
 „Asphalt recycling” – materiał pełni inną lub drugorzędną rolę w nowym zastosowaniu

Polska: ~ 300 wytwórni
 ~100 – dozowanie na zimno
 ~10 – dozowanie na gorąco

TABLE 7. PRODUCTION SITES

NUMBER OF PRODUCTION SITES IN THE PERIOD 2019 - 2021

Country	Stationary Plants			Mobile plants			All plants that are fit for hot and warm recycling****		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Austria	114	114	114	no data	no data	no data	85	90	no data
Belgium	36	36	36	0	0	0	15	15	31
Croatia ***	53*	53*	56	1*	1*	0	14*	14*	22
Czech Republic	102	103	108	2	2	2	77	78	85
Denmark	37	38	37	no data	no data	no data	36	37	36
Estonia	9	10	11	13	12	13	16	17	18
France ***	423	433	423	39	40	40	>370	>370	>370
Germany	553	541	535	no data	no data	no data	549	538	530
Great Britain ***	256	265	275	275	no data	no data	no data	170*	145*
Hungary	87	90	91	3	3	4	50	50	50
Ireland	39	42	43	1	no data	no data	7	17	18
Italy ***	380	380*	390	20	20*	10	no data	no data	400
Norway	85	85	75	5	5	4	64	65	72
Portugal ***	103	69	85	14	24	21	48	44	40
Slovakia	50	50	50	4	4	4	21	0	0
Slovenia	16	16	16	2	2	2	6	6	6
Spain	220	325	325	70	70	70	25	114	127
Turkey ***	136	136	144	527	527	523	15*	no data	no data

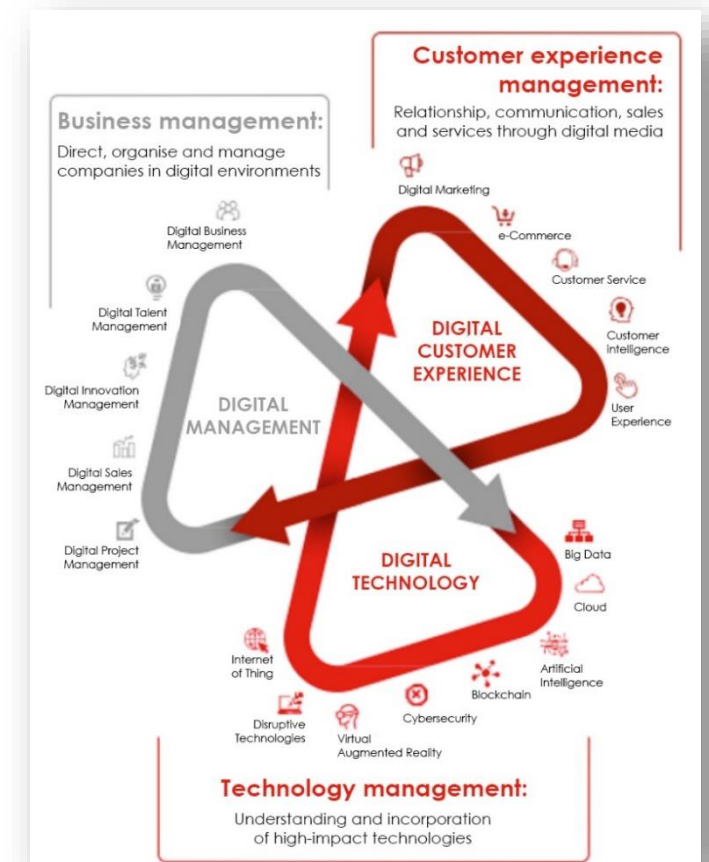


Recykling nawierzchni drogowych



Recykling nawierzchni asfaltowych – wyzwania

- Zwiększanie udziału materiału z recyklingu w produkcji nowych materiałów
 - Średni poziom gotowości technologicznej wykorzystania RAP na świecie ~20-30%
 - Efektywne zwiększanie stopnia powtórnego użycia („re-use”) materiałów asfaltowych
 - Przygotowanie branży na:
 - Wdrożenie technologii i narzędzi cyfrowych
 - Inteligentne systemy zarządzania
 - Interakcję z użytkownikami dróg
- Asphalt 4.0**
- Podatność i odporność technologii asfaltowej na technologie recyklingu pochodzące z innych gałęziach gospodarki
 - **Możliwość powtórnego recyklingu?**
 - Nowa technologia jako promotor recyklingu (modyfikacje, dodatki...)
vs.
Nowa technologia jako przedmiot recyklingu w przyszłości.



Recykling na gorąco

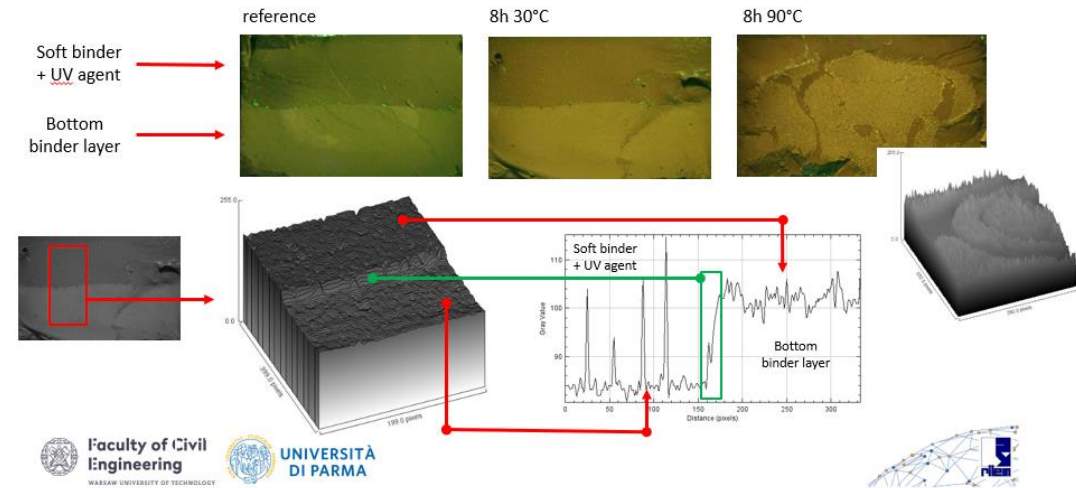
- **W ostatnich latach główne kierunki badań dotyczyły:**
 - Zwiększania zawartości RAP w HMA
 - Oceny stopnia aktywacji (activation) lepiszcza w RAP
 - Mieszalności i dyfuzji warstw lepiszczy w mieszankach z RAP
 - Zagęszczalności mieszanek z RAP
- **Główne wyzwania badawcze podejmowane obecnie na świecie:**
 - Określenia dostępności lepiszcza (availability) w RAP
 - Projektowanie funkcjonalne mieszanek z RAP
 - Wpływ dodatków, modyfikatorów i odświeżaczy na dostępność i aktywację lepiszcza w RAP
 - Wysokojakościowy RAP z selektywnego frezowania warstw ściernalnych o nieciągłym uziarnieniu (SMA, BBTM, PA) zawierających np. polimeroasfalty



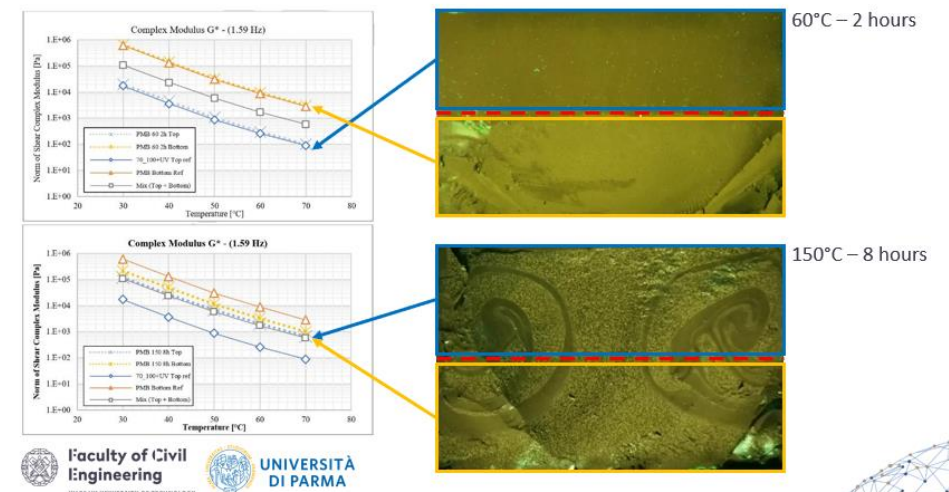
Przykładowe prace badawcze PW

- Wzrost różnicy pomiędzy właściwościami poszczególnych warstw lepiszczy (pierwotnego i z RAP) zwiększa różnice pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną warstwą otoczki asfaltowej, co skutkuje obniżeniem kompatybilności i gorszą mieszalnością.
- W asfalcie, oprócz zjawiska dyfuzji znaczącą rolę odgrywa konwekcja i mieszanie mechaniczne.
- Pomiar długości granicy faz między lepiszczami za pomocą analizy obrazu sprawdził się jako ilościowa metoda określenia stopnia wymieszania lepiszczy.
- Wyniki badań reologicznych pozwoliły określić dynamikę i charakter procesu dyfuzji i mieszania w zależności od rodzaju asfaltu, temperatury i czasu.

Experimental study of diffusion and self-blending convection of two bitumen layers ¹⁰



Mechanical evaluation – DSR tests ¹¹

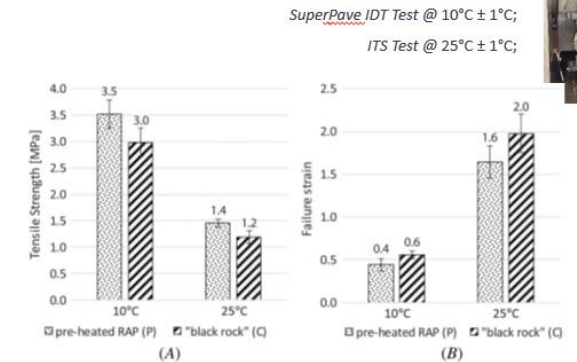
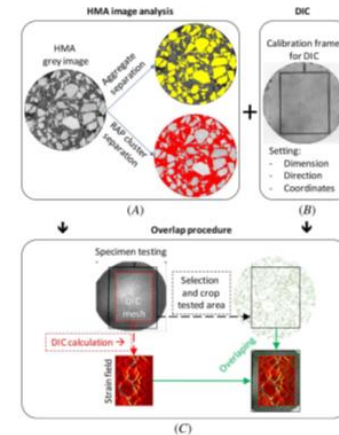


Przykładowe prace badawcze PW

- Interakcje między RAP a nowym lepiszczem asfaltowym.
- Metoda OIA - wykorzystanie cyfrowej korelacji obrazu i analizy struktury materiału do identyfikacji miejsc inicjacji spękań.
- Proces mieszania jest warunkowany temperaturą wstępnego podgrzania RAP i zastosowanym procesem mieszania.
- Możemy zastosować zaawansowaną metodę projektowania mieszanek z RAP w celu poprawy ich właściwości funkcjonalnych.
- Można zmierzyć poziom jednorodności mieszanek i skwantyfikować skupiska RAP oraz zmierzyć kompatybilność między nowym lepiszczem i lepiszczem w RAP.

Interaction between RAP and virgin binder

Overlap Image Analysis (OIA) method development

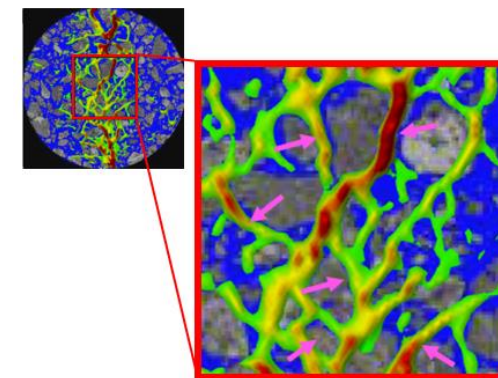


IDT results at 10°C and 25°C temperatures: (A) tensile strength and (B) failure strain.

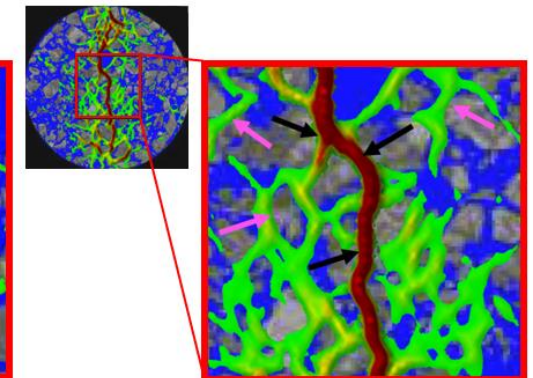


Using the OIA method for the mixture optimisation

Reference binder

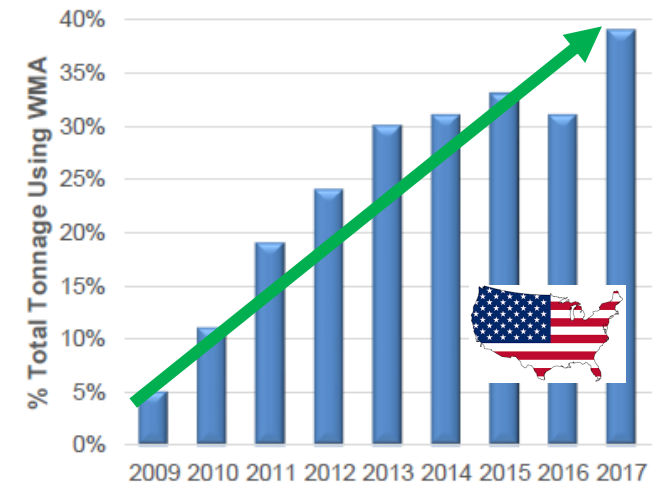
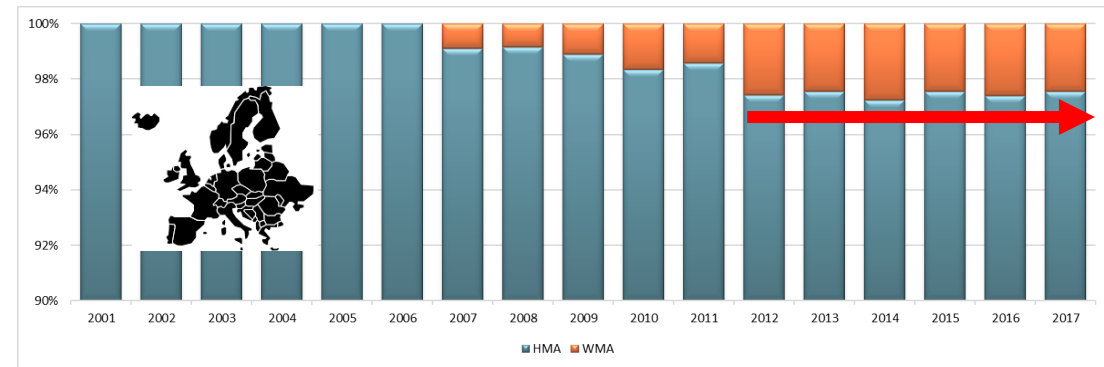


Compatible bitumen dedicated to HMA with RAP



Recykling na ciepło

- **Główne wyzwania i zainteresowania badawcze na świecie:**
 - Wciąż technologię WMA uważa się za stosunkowo nową (~15 lat).
 - Konieczność obserwacji rzeczywistych odcinków drogowych.
 - Identyfikacja metod badawczych do długoterminowej oceny technologii WMA z RAP.
 - Poszukiwania najkorzystniejszej technologii WAM pod względem zastosowania RAP (np. spienienie/dodatki).
 - Poszukiwania optymalnych temperatur pozwalających na otrzymanie mieszanek o właściwościach podobnych do mieszanek na gorąco.
 - Kluczowe realizacje i obserwacje długoterminowe – potencjał metod symulacyjnych i AI, ANN.



WMA Technology	% of HMA Production (Range)
Production Plant Foaming %	26–32%
Additive Foaming %	0–0.3%
Chemical Additive %	16–20%
Organic Additive %	1–2%

Z prac TC 308-PAR TG2: Long Term Performance Evaluation of Warm Mixes with RA, Mayca Rubio-Gómez, Fernando Moreno-Navarro



**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2017 Information Series 138 (8th edition), FHA, US

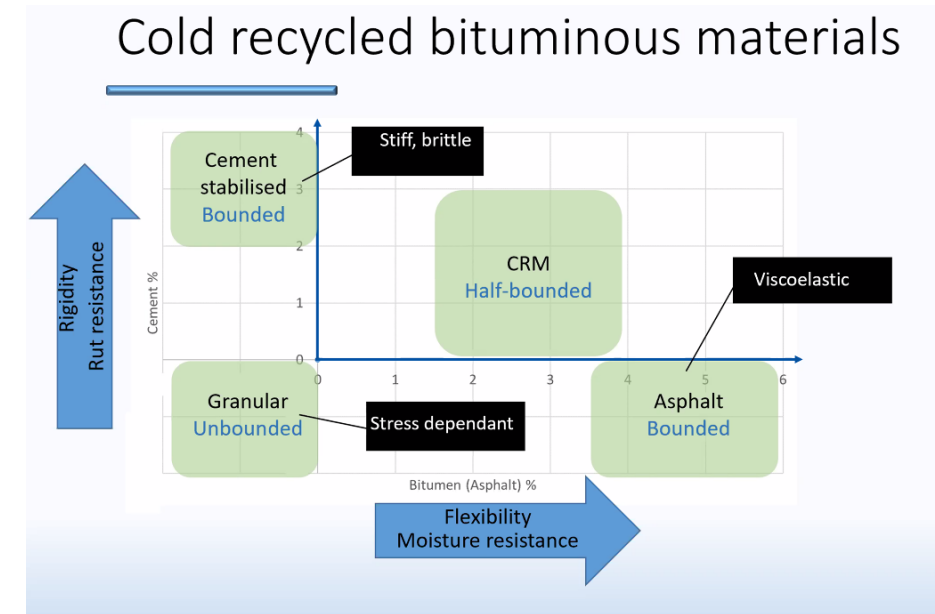
Recykling na zimno

- **W ostatnich latach główne kierunki badań dotyczyły:**

- Klasyfikacji technologii recyklingu na zimno.
- Laboratoryjnych metod zagęszczania.
- Kondycjonowania.
- Zastosowania lepiszcza asfaltowego oraz aktywnego wypełniacza.
- Zastosowania metody objętościowej do projektowania mieszanki i kontroli jakości.

- **Główne wyzwania badawcze podejmowane obecnie na świecie:**

- Niezidentyfikowane mechanizmy zniszczenia mieszanek CRM.
- Ewolucyjne zmiany właściwości w czasie.
- Rozbieżności pomiędzy laboratorium i odcinkiem drogowym.
- Jakie są wymagane właściwości funkcjonalne warstw z CRM – zależność od czasu czy natężenia ruchu?
- Aktywny wypełniacza vs. ewolucyjne zmiany właściwości.



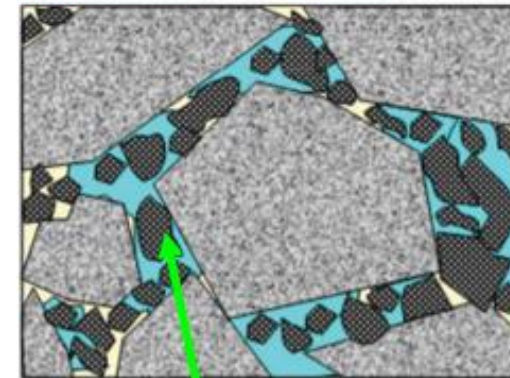
Alan Carter, Jian Ouyang, TG01 – Cold Recycling. RILEM TC-PAR kick-off meeting, 06.2022 r.

Przykładowe prace badawcze PW

- Opracowanie i wdrożenie technologii wykonywania trwałych podbudów z innowacyjnych mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE+) na drogach samorządowych z przeznaczeniem do ruchu lekkiego i ciężkiego.
- Założenia projektu:
Ograniczenie/eliminacja występowania spękań odbitych w nawierzchni asfaltowej poprzez zastosowanie warstw podbudowy z mieszanek MCE+ o zmniejszonej zawartości cementu, charakteryzujących się większą podatnością niż tradycyjne mieszanki MCE.
- Rozprawa doktorska *mgr inż. Katarzyna Konieczna*:
 - Kształtowanie właściwości lepkosprężystych oraz kohezji mieszanek stabilizowanych emulsją asfaltową w technologii recyklingu na zimno
 - Cel pracy: Ocena rozwoju kohezji w BSM w czasie (efektu „zespalania się” mieszanki o danym składzie, w danym czasie przy zadanych warunkach badawczych). Analiza właściwości lepkosprężystych wyselekcjonowanych mieszanek BSM.



Asphalt Academy, Technical Guideline: BSM



Punktowe wiązania asfaltowe



Ocena kohezji - mieszanka BSM poddana badaniu odporności na deformacje trwałe Flow Number

Materiały wtórne, dodatki, modyfikatory i odświeżacze

Materiały wtórne

- Bardzo szeroka grupa materiałów wtórnych i **zainteresowanie innych gałęzi przemysłu** wykorzystaniem materiałów wtórnych do budowy dróg.
- Urban Mining – „to odzyskiwanie cennych składników ze zużytych produktów np. pojazdów czy sprzętu elektronicznego, ale także z instalacji i budynków. To obecnie jeden z najszybciej rozwijających się trendów na świecie.” *Politechnika Wroclawska, nowy kierunek studiów*
(<https://pwr.edu.pl/uczelnia/aktualnosci/urban-mining-poznaj-nowy-kierunek-na-pwr-12453.html>)

Dodatki i/lub odświeżacze (rejuvenator)

- Efektywność działania i kompatybilność.
- Zastosowanie w odniesieniu do procesu technologicznego i materiału (> 30% RAP).
- Procedury laboratoryjne.
- Trwałość, odporność na starzenie itp.

Modyfikacja dodatkami pochodzenia roślinnego i mineralnego

- Bio-oleje i zużyte oleje, inne materiały odpadowe np. lignin, żywice.
- Pyły i wypełniacze, włókna.
- Mechanizm działania dodatków.
- Trwałość, odporność na starzenie itp.

} Dostępność uzależniona terytorialnie

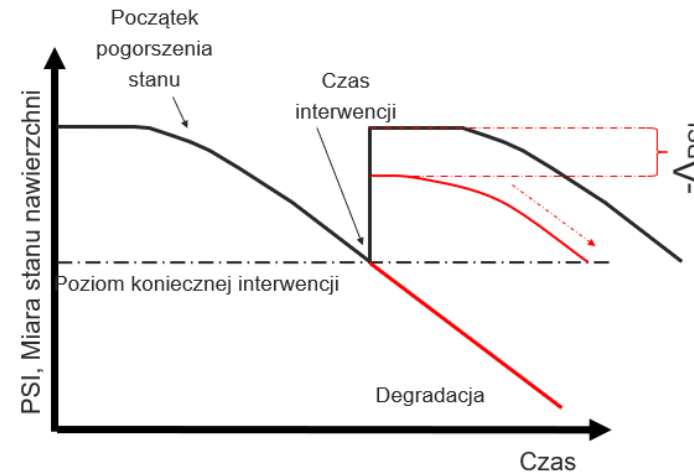
Modyfikacja polimerami i recykling PMB

- Guma ze zużytych opon.
- Tworzywa sztuczne z recyklingu.
- Recykling polimeroasfaltów.
- Odświeżacze do polimeroasfaltów.
- Trwałość i odporność na starzenie.



Cykl życia i deklaracje środowiskowe

- Badania i rozwój narzędzi do analiz LCA:
 - Metodyka badań i analiz, budowa baz danych
 - Scenariusze utrzymaniowe dróg
 - Scenariusze zrównoważenia środowiskowego
 - Wykorzystanie AI i algorytmów ANN
- Deklaracje środowiskowe produktów:
 - Product Category Rules (PCR) - pozwalają na przegląd i porównanie różnych atrybutów środowiskowych produktów w określonej kategorii
 - Environmental Product Declaration (EPD) - deklaracja środowiskowa produktu, zgodnie z międzynarodowymi normami ISO 14025 i ISO 14044.
- Dążenie do przejrzystości środowiskowej w danym sektorze gospodarki z uwzględnieniem:
 - Materiału i jego jakości oraz trwałości w cyklu życia
 - Logistyki pierwotnej i wtórnej
 - Opłacalności ekonomicznej i środowiskowej recyklingu





Use of eco-friendly materials for a new concept of Asphalt Pavements for a Sustainable Environment



RID-6 – Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu



Blending and rejuvenation effect in asphalt mixtures containing reclaimed asphalt



ASFALTY DO RECYKLINGU
Nowoczesne technologie rafineryjne i produkty ropopochodne. Eko produkty ropopochodne

2013 – 2016

2016 – 2018

2019

2020 – 2023

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2025

Rozprawa doktorska dr inż. Adam Liphardt

Rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyna Konieczna

2015 – 2018

2018 – 2020

Rozprawa doktorska mgr inż. Miftah Farid

2022 – 2025



Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej



Opracowanie innowacyjnej technologii mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE+) o zwiększonym module sztywności z wykorzystaniem materiałów z recyklingu do warstwy podbudowy o podatnym charakterze pracy w konstrukcji drogowej



NARODOWE CENTRUM NAUKI

Advanced approaches for determination and understanding of asphalt mix fatigue behavior



Ministerstwo Edukacji i Nauki

„Gospodarka o obiegu zamkniętym w budownictwie drogowym”
„Granty na granty – promocja jakości III (Horizon2020)”

„Ekologiczne i zrównoważone rozwiązania dla infrastruktury drogowej”
„Granty na granty – promocja jakości IV (Horyzont Europa)”



Wydział Inżynierii Lądowej
POLITECHNIKA WARSZAWSKA



budimex



LOTOS Asphalt



UNIVERSITÀ DI PARMA





Dziękuję za uwagę

dr hab. inż. Jan Król, prof. uczelni

jan.krol@pw.edu.pl



**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA