



Politechnika Warszawska

**budimex**

**NCBR**  
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

# Samonaprawa nawierzchni - innowacja na miarę XXI wieku



dr hab. inż. Michał Sarnowski, prof. uczelni

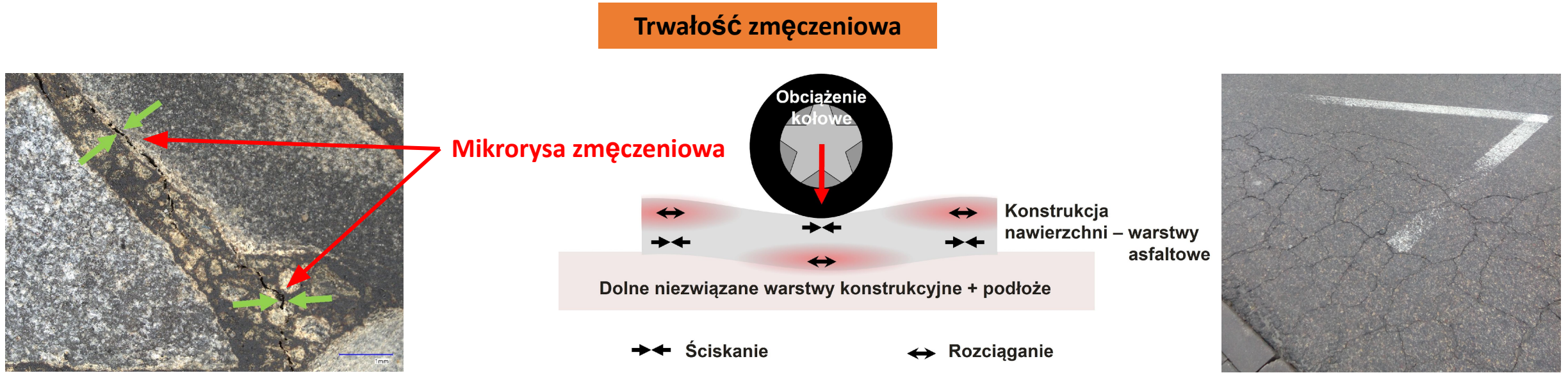
**pkd** Polski Kongres Drogowy

**DNI**  
**SFALTU**  
III FORUM

Żnin, 18-20.03.2024



# Geneza problemu naukowego



- *Spękania zmęczeniowe nawierzchni asfaltowej:*

- uszkodzenia nawierzchni asfaltowych w wyniku cyklicznego ruchu pojazdów,
- spękania dolnych warstw nawierzchni w średnich temperaturach eksploatacyjnych (ok. 0-15°C),
- wyczerpanie trwałości zmęczeniowej nawierzchni i konieczność przeprowadzenia kosztownych remontów/przebudów.

# Projekt B + R („SeHePa”)

**„Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej technologii asfaltowych nawierzchni samonaprawialnych o wysokiej trwałości”**

- **Cel projektu:**

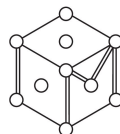
Opracowanie technologii wytwarzania inteligentnego dodatku – **mikrokapsulek z wypełnieniem naprawczym**, które w wyniku wystąpienia w asfalcie mikropęknięć uaktywnią się, powodując lokalną naprawę uszkodzeń nawierzchni.

- **Okres realizacji:** styczeń 2020 – grudzień 2023.



Wydział Inżynierii Lądowej

Politechnika Warszawska



Wydział Inżynierii  
Materiałowej

Politechnika Warszawska



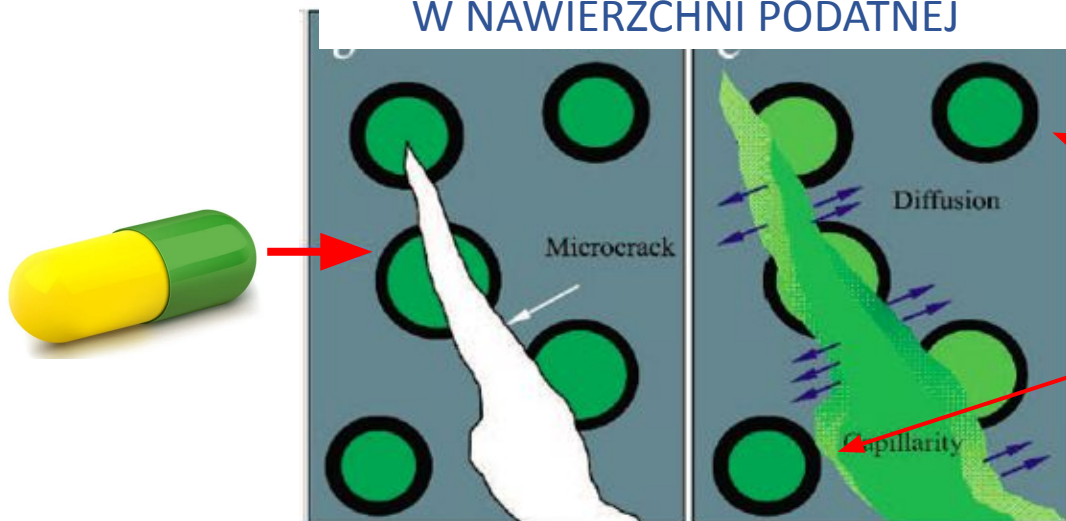
**budimex**



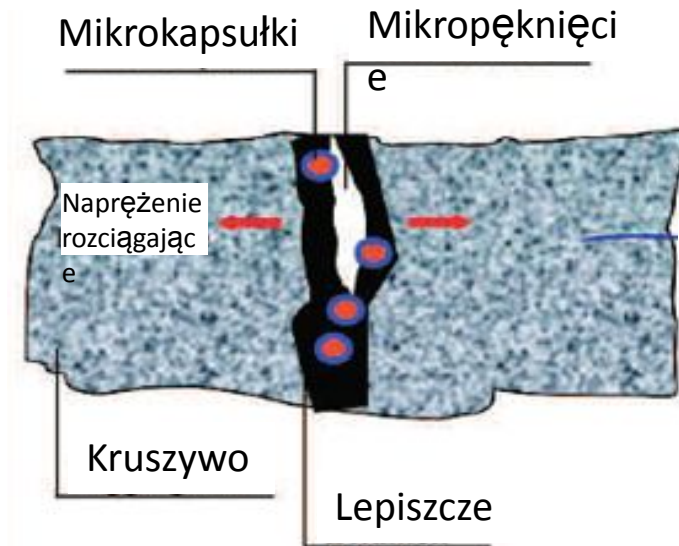
# Koncepcja nawierzchni samonaprawialnej

*Eksploatacja asfaltowej nawierzchni drogowej:*

- naprzemienny, cykliczny ruch samochodowy
- zmiany temperatury



Jun – Feng Su, 2016



za Jun – Feng Su, 2016



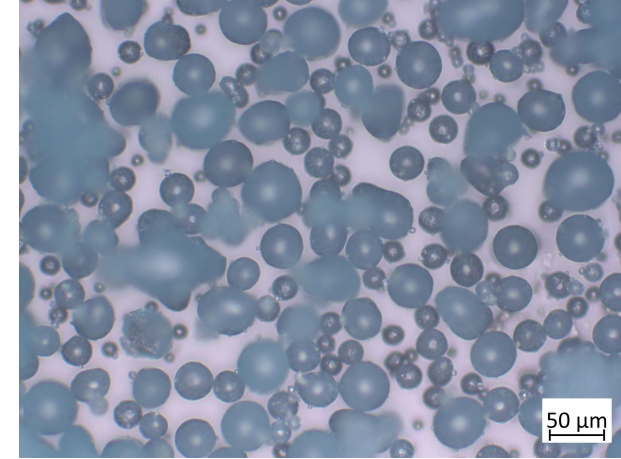
fot. G. Cieślak PW

**Średnica 50 - 200  $\mu\text{m}$**

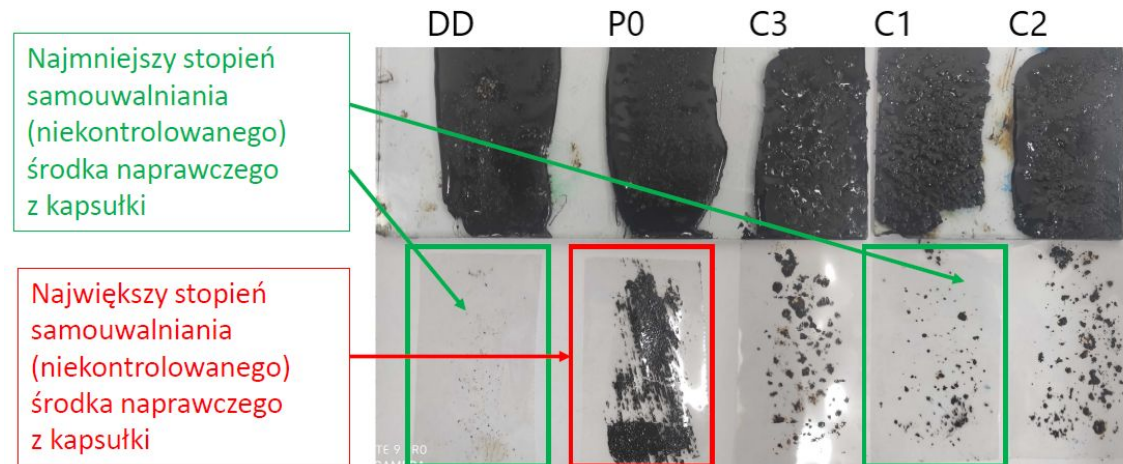


# Prace laboratoryjne i rozwojowe - pierwsze działania

1. *Opracowanie technologii wytwarzania mikrokapsulek z wypełnieniem naprawczym (skala laboratoryjna)*
2. *Ocena efektu samonaprawy lepiszcza i mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA) w skali laboratoryjnej*
3. *Produkcja w skali półtechnicznej mikrokapsulek z wypełnieniem naprawczym do mieszanek mineralno-asfaltowych*
4. *Analiza mechanizmu samonaprawy mieszanki mineralno-asfaltowej poprzez zastosowanie mikrokapsulek z produkcji w skali półtechnicznej*



fot. G. Cieślak PW



**Samonaprawa nawierzchni - innowacja na miarę XXI wieku**

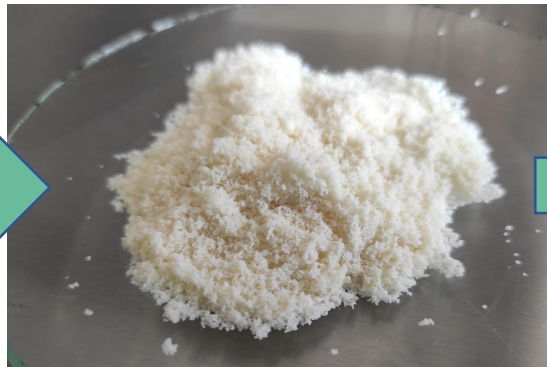
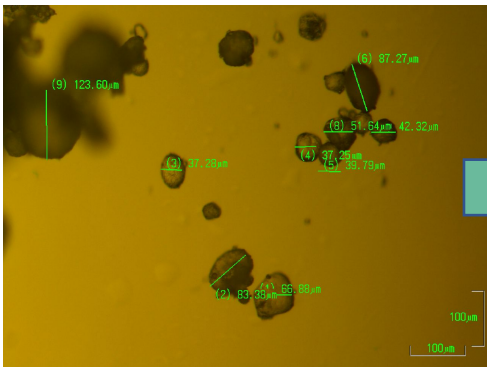




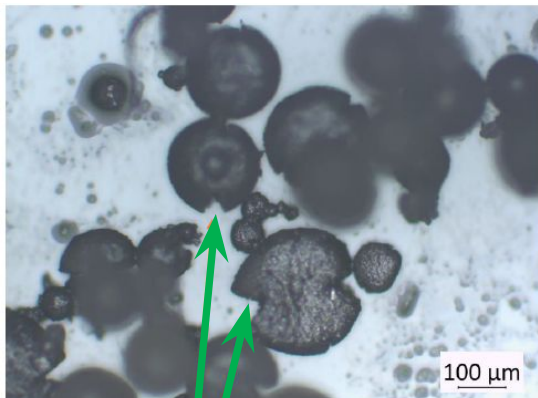
# Opracowanie mikrokapsulek żelatynowych z wypełnieniem naprawczym

... i półtechnicznej

- Opracowanie technologii produkcji w skali laboratoryjnej



- Analiza mikroskopowa (testy laboratoryjne)



Kontrolowane pęknięcie mikrokapsułki



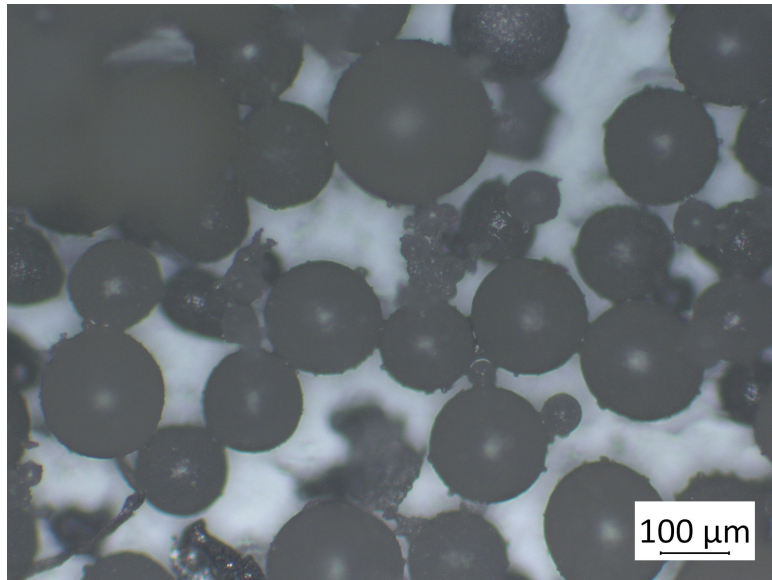
Środek naprawczy uwolniony w kontrolowanych warunkach

Wybrane właściwości fizyczne	
Postać	drobny proszek, < 200 μm
Gęstość nasypowa	650-780 kg/m <sup>3</sup>
Gęstość w 20°C	ok. 1.0 g/cm <sup>3</sup>
Temp. rozkładu	> 230°C





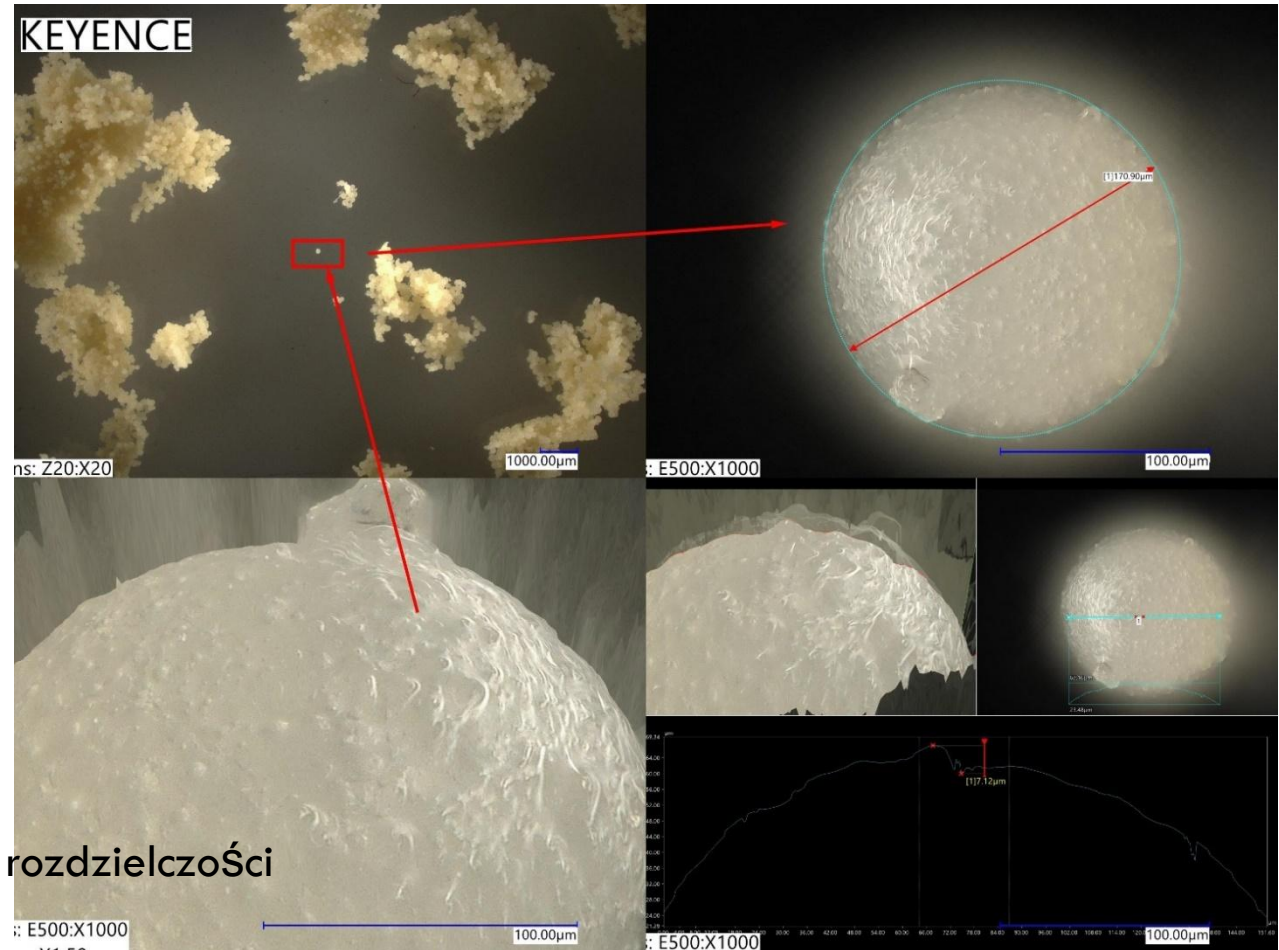
# Mikroskopia optyczna mikrosfer żelatynowych



Mikrosfery wygrzewane w temperaturze 200°C



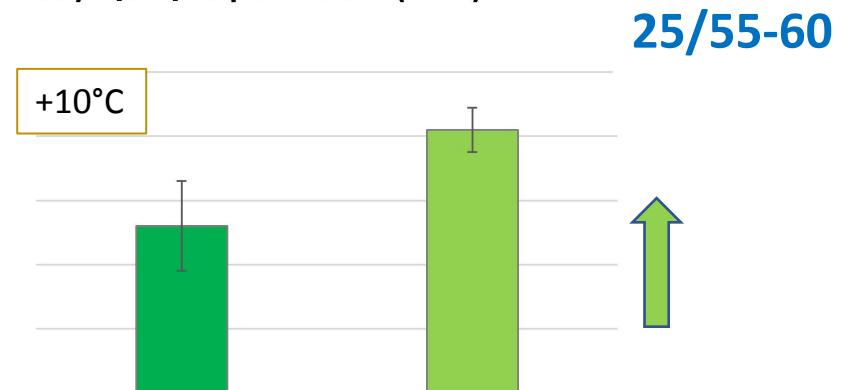
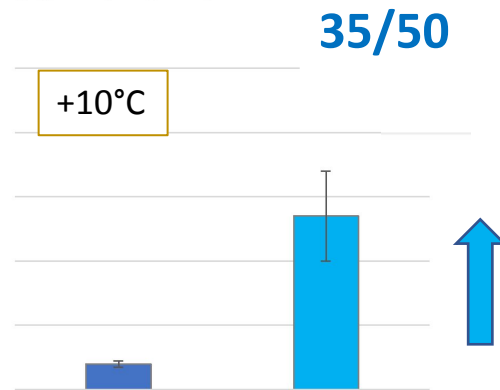
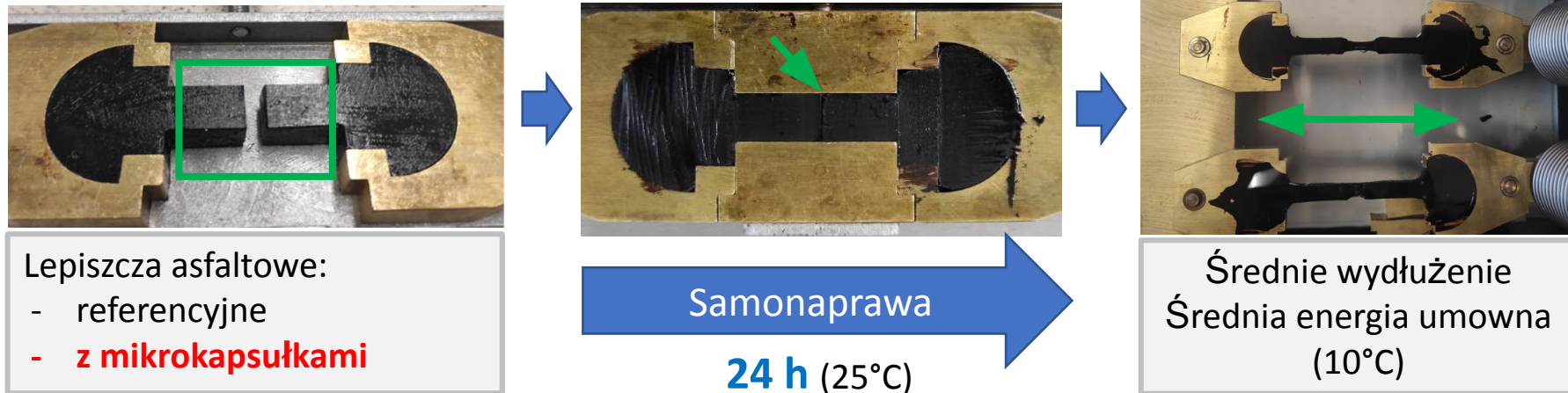
Morfologia w rozdzielczości 4K





# Autorska metoda oceny efektu samonaprawy lepiszczy asfaltowych

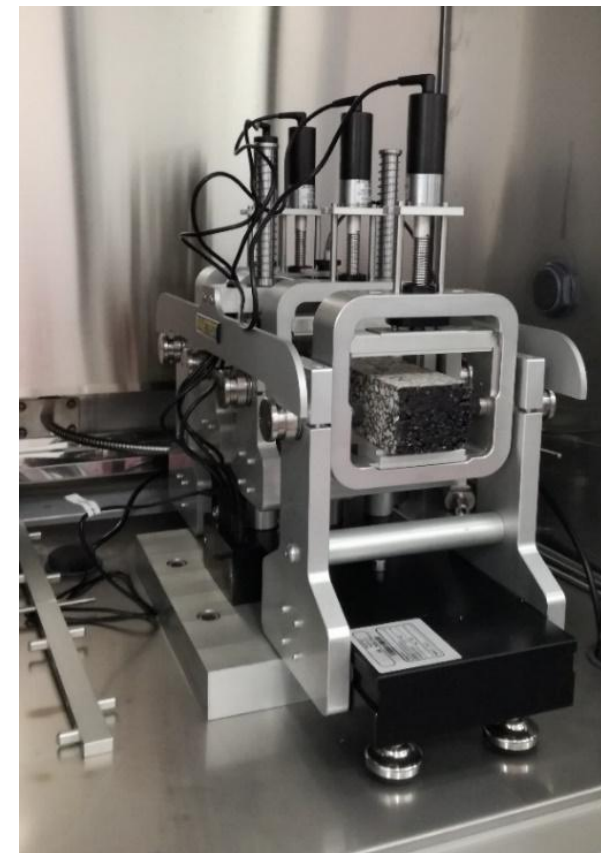
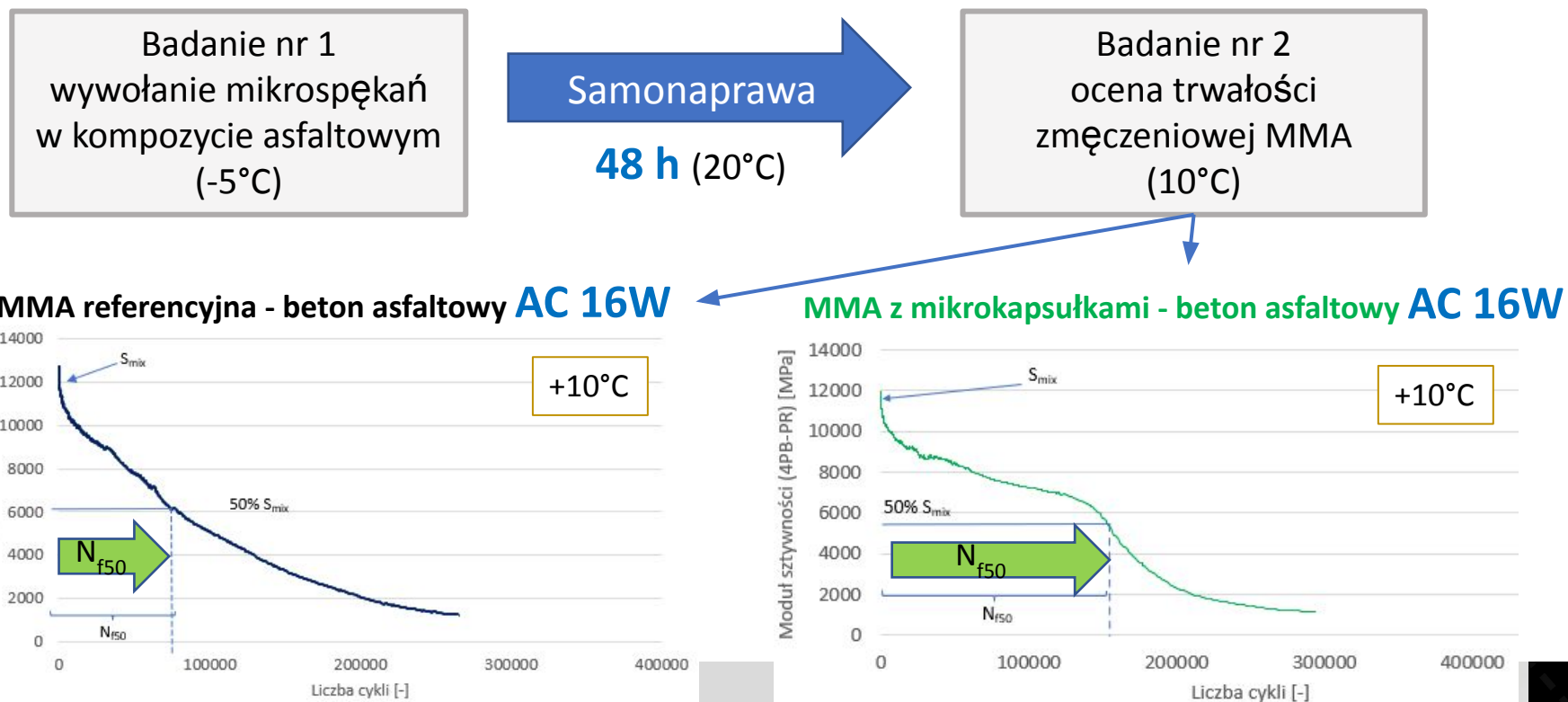
- Badanie ciągliwości – określenie właściwości kohezyjnych lepiszcza poddanego działaniu siły rozciągającej (PN-EN 13589)



# Autorska metoda oceny efektu samonaprawy mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA)

- Badanie trwałości zmęczeniowej w schemacie belki czteropunktowo zginanej (PN-EN 12697-24)

**Trwałość zmęczeniowa** – liczba cykli obciążenia ( $N_{f50}$ ), po której zespolony moduł sztywności mieszanki ulega zmniejszeniu o 50% w stosunku do wartości początkowej



# Prace wdrożeniowe i przedwdrożeniowe - dalsze działania

- *Produkcja mieszanek mineralno-asfaltowych z mikrokapsułkami w wytwórni (skala przemysłowa)*
- *Wykonanie odcinków testowych z mikrokapsułkami i porównawczych*
- *Ocena jakości wykonanej nawierzchni asfaltowej*
- *Ocena efektu samonaprawy nawierzchni odcinka testowego (badania laboratoryjne próbek pobranych z nawierzchni)*
- *Badania i monitoring odcinków testowych z mikrokapsułkami*
- *Opracowanie zaleceń technicznych w zakresie projektowania, wytwarzania i wbudowywania mieszanki mineralno-asfaltowej z mikrokapsułkami*





# DW 152, odcinek testowy 2 x 300mb, wykonanie lipiec 2023



Czujniki światłowodowe dwie linie pomiarowe (w śladach kół), na podbudowie z kruszywa



Układanie MMA (podbudowa) z użyciem podajnika, w celu wyeliminowania ruchu maszyn i samochodów z MMA na zamontowanych czujnikach



# DW 152, odcinek testowy 2 x 300mb, wykonanie lipiec 2023

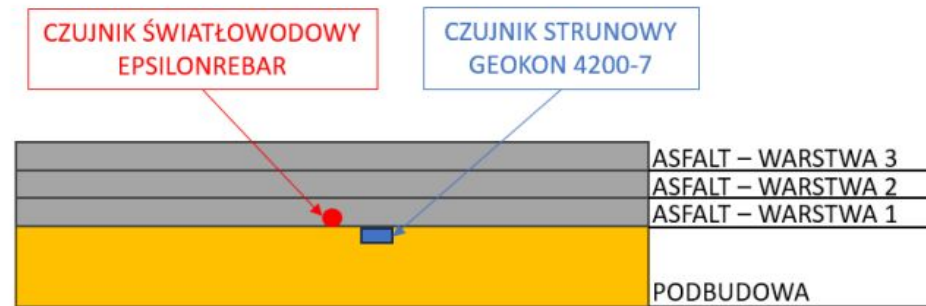


**Czujniki strunowe** o punktowym zbieraniu danych odkształcenia i temperatury (zainstalowane w warstwie podbudowy z kruszywa)

**Czujniki światłowodowe** o ciągłym, liniowym systemie zbierania danych odkształcenia i temperatury



# Lokalizacja czujników w konstrukcji nawierzchni





# sesja pomiarowa



Badanie nośności z użyciem ugięciomierza dynamicznego FWD (obciążenia dynamiczne)

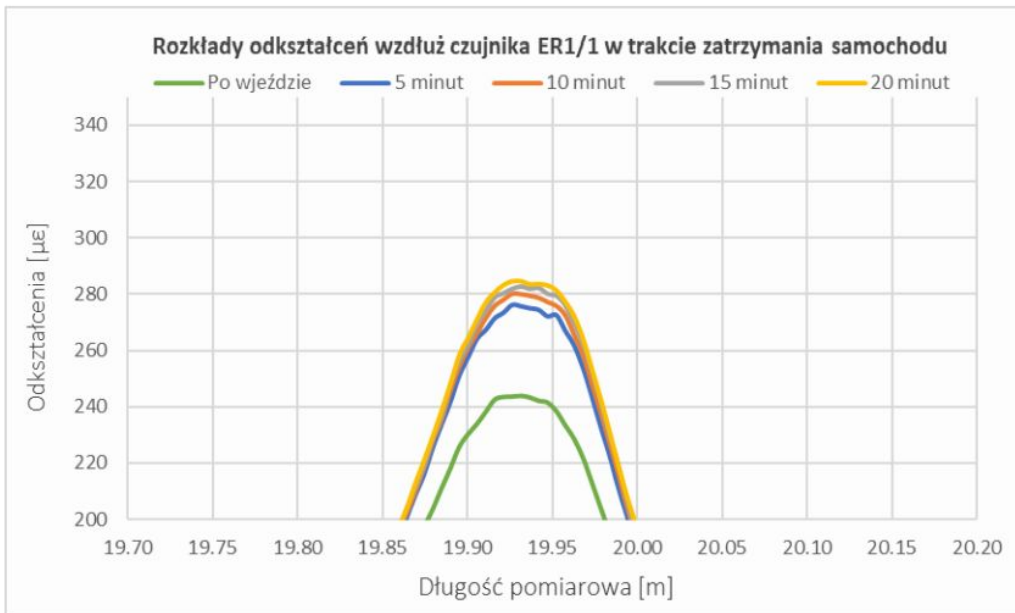
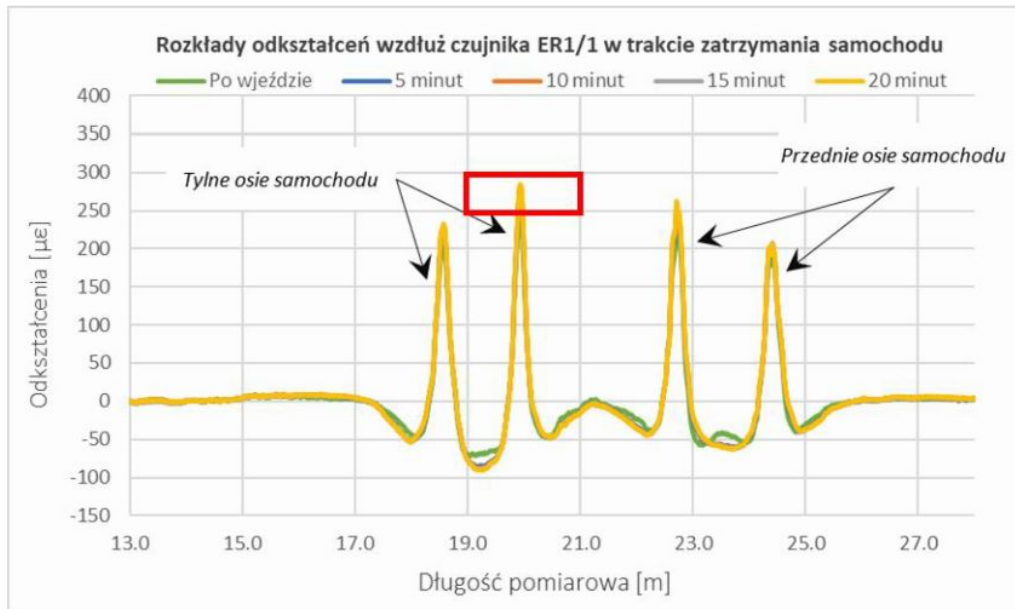


Obciążenia statyczne oraz dynamiczne (przejazd samochodu)



# Przykładowe pomiary odkształceń

S01 - Poletko 1 – ostatni zrzut obciążenia



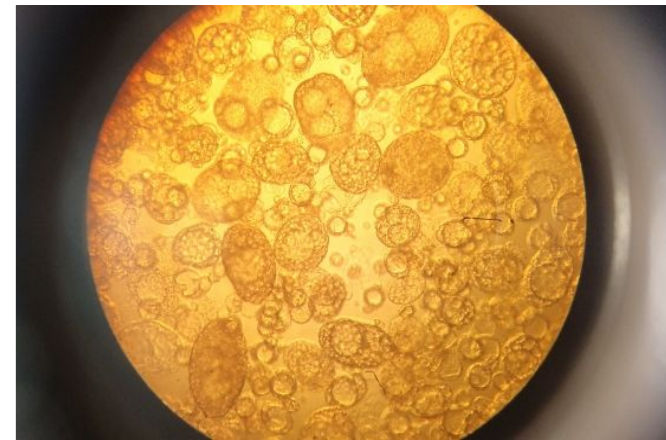
# Odcinek testowy na terenie kopalni SKSM 200mb, wykonanie październik 2023





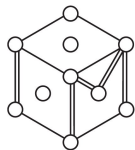
# Wnioski

- Opracowano **w skali laboratoryjnej** mikro kapsułki z wypełnieniem naprawczym odporne na wysoką temperaturę i warunki produkcji MMA
- Wyprodukowano **w skali półtechnicznej** mikro kapsułki z wypełnieniem naprawczym (na prototypowej instalacji)
- Lepiszczka oraz MMA modyfikowane mikro kapsułkami wyprodukowanymi w skali laboratoryjnej, a następnie półtechnicznej wykazały poprawę ich właściwości wytrzymałościowych, w tym trwałości zmęczeniowej MMA po okresie samonaprawy, **przynajmniej o 10-20%**
- Wybudowano 2 odcinki testowe z mikro kapsułkami oraz odcinki porównawcze
- Opracowano zalecenia techniczne
- **Obecnie: weryfikacja** efektu samonaprawy nawierzchni odcinków testowych - badania laboratoryjne próbek pobranych z nawierzchni, badania i monitoring odcinków
- **Pełna weryfikacja** skuteczności technologii: po kilku latach eksploatacji odcinków testowych





Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska



Wydział Inżynierii  
Materiałowej  
Politechnika Warszawska

**budimex**

***Dziękuję za uwagę***



[michal.sarnowski@pw.edu.pl](mailto:michal.sarnowski@pw.edu.pl)

**NCBR**  
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

*Projekt finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020.*

**pkd** Polski Kongres Drogowy

**Samonaprawa nawierzchni - innowacja na miarę XXI wieku**

**DNI**  
**SFALTU**  
III FORUM  
Żnin, 18-20.03.2024

