

Warsaw, 22 - 23 October 2025

II MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA

Nowoczesne nawierzchnie drogowe - recykling i dekarbonizacja

II INTERNATIONAL CONFERENCE

Modern road pavements - recycling and decarbonization

RECYKLING NAWIERZCHNI BETONOWYCH – KRYTERIA OCENY NOŚNOŚCI

Prof. dr hab. inż. ANTONI SZYDŁO

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

PLAN PREZENTACJI

1. Wprowadzenie
2. Typowe uszkodzenia nawierzchni betonowych
3. Diagnostyka stanu nawierzchni betonowych
4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu
5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych
6. Podsumowanie

1. Wprowadzenie

- **Nawierzchnie betonowe nie mają w kraju ugruntowanej tradycji.**
- **Do połowy lat 90-tych ubiegłego wieku budowano je na lotniskach i drogach przemysłowych oraz były eksploatowane odcinki wykonane przed II wojną światową.**
- **W połowie lat 90-tych ubiegłego wieku przystąpiono do przebudowy nawierzchni betonowych budowanych przed lub w trakcie II wojny światowej.**

1. Wprowadzenie



Widok nawierzchni A18



Odprężone płyty na A18

1. Wprowadzenie

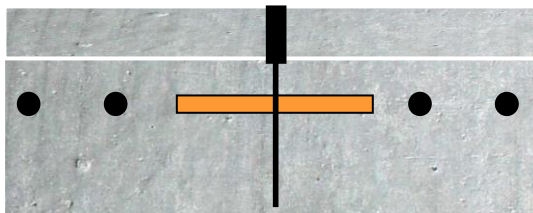


Widok nawierzchni A18



Odprężone płyty na A18

1. Wprowadzenie



Beton B40, Płyty dyblowane i kotwione, 26cm; górna 7 cm warstwa nowy materiał

Dolna warstwa 19 cm, materiał z płyt kruszonych



Grunt stabilizowany cementem,
 $f_c = 3,5 - 5,0$ MPa, 20cm



Warstwa mroзоochronna

Materiał z kruszonych płyt – 30 cm

RECYKLING NAWIERZCHNI BETONOWYCH – KRYTERIA OCENY NOŚNOŚCI

1. Wprowadzenie



1. Wprowadzenie

Metody recyklingu nawierzchni betonowych można podzielić na 2 grupy:

Opcja 1

Kruszenie płyt w kruszarkach stacjonarnych oraz wykorzystanie przekruszonego materiału na odpowiednie frakcje jako:
podbudowy niezwiązane, podłoże ulepszone, warstwy filtracyjne, mrozochronne, podbudowy związane spoiwem cementowym i asfaltowym, górne warstwy nasypów.

Nie stosuje się do płyt nawierzchni.

1. Wprowadzenie

Opcja 2

Kruszenie *in situ* istniejących zdegradowanych warstw nawierzchni betonowych metodami: uderową lub rezonansową i powtórne ich wykorzystanie jako podbudowy nawierzchni podatnych lub sztywnych (betonowych) po uprzednim dogęszczeniu i profilowaniu.

1. Wprowadzenie

Celem prezentacji jest przedstawienie kryteriów oceny nośności nawierzchni betonowych, które pozwalają ocenić nawierzchnię pod kątem przydatności do zabiegu recyklingu z wykorzystaniem metod kruszenia *in situ* wg opcji 2.

Kryteria te będą uzupełnieniem warunków oceniających stan nawierzchni z wykorzystaniem procedury stosowanej w DSN.

W kraju aktualnie brak jest tego typu kryteriów.

2. Typowe uszkodzenia nawierzchni betonowych



3. Diagnostyka stanu nawierzchni betonowych

W wielu krajach w tym w Polsce funkcjonują systemy oceny stanu nawierzchni drogowych.

W Polsce funkcjonuje system DSN – Diagnostyka Stanu Nawierzchni – obejmuje on ocenę stanu nawierzchni podatnych i sztywnych.

3. Diagnostyka stanu nawierzchni betonowych

W ramach krajowego systemu DSN oceniane są następujące parametry nawierzchni betonowych:

- **pęknięcia i uszkodzenia powierzchniowe nawierzchni,**
- **równość podłużna i poprzeczna,**
- **właściwości przeciwpślizgowe,**
- **uskoki płyt na krawędziach.**

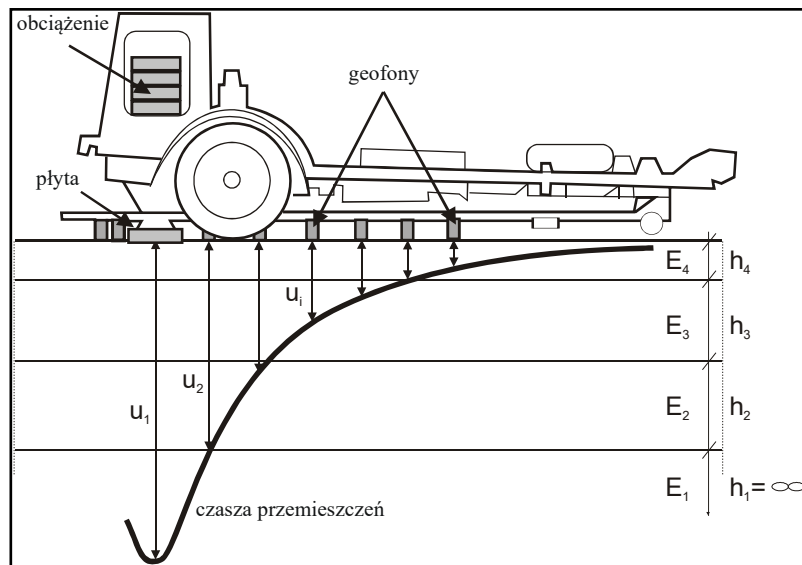
Brak jest oceny nośności nawierzchni betonowych

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

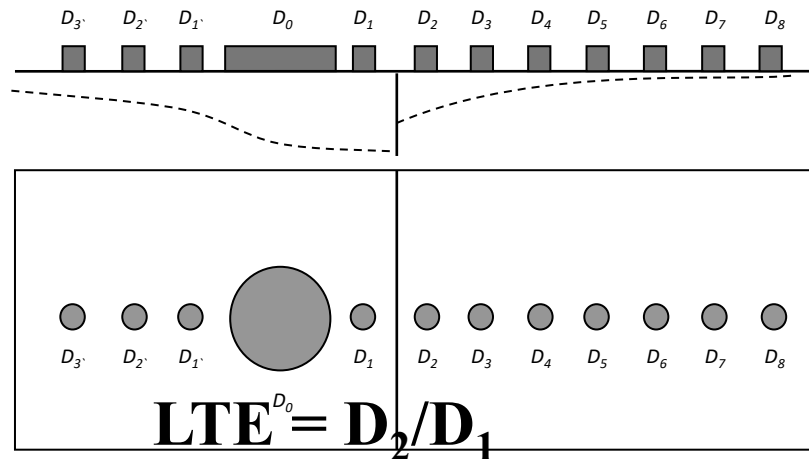
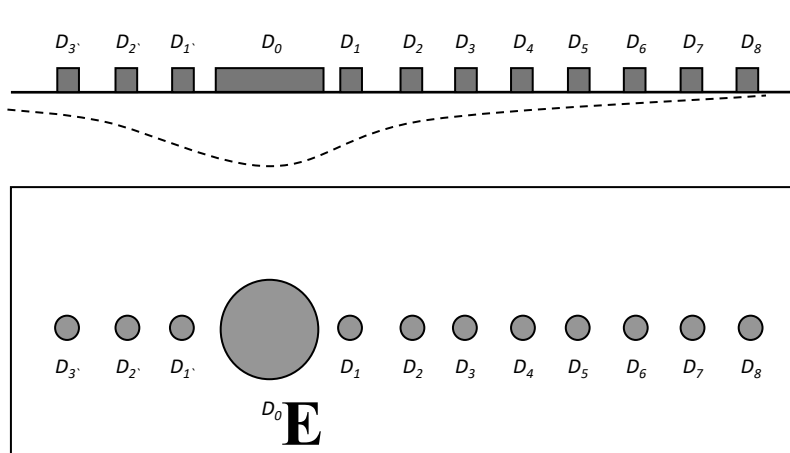
Proponuje się następujące kryteria do oceny stanu nawierzchni betonowych ze względu na recykling:

- **ocenę modułu płyt betonowych (E),**
- **ocenę współczynnika współpracy płyt na krawędziach (wskaźnik LTE - Load Transfer Efficiencies).**

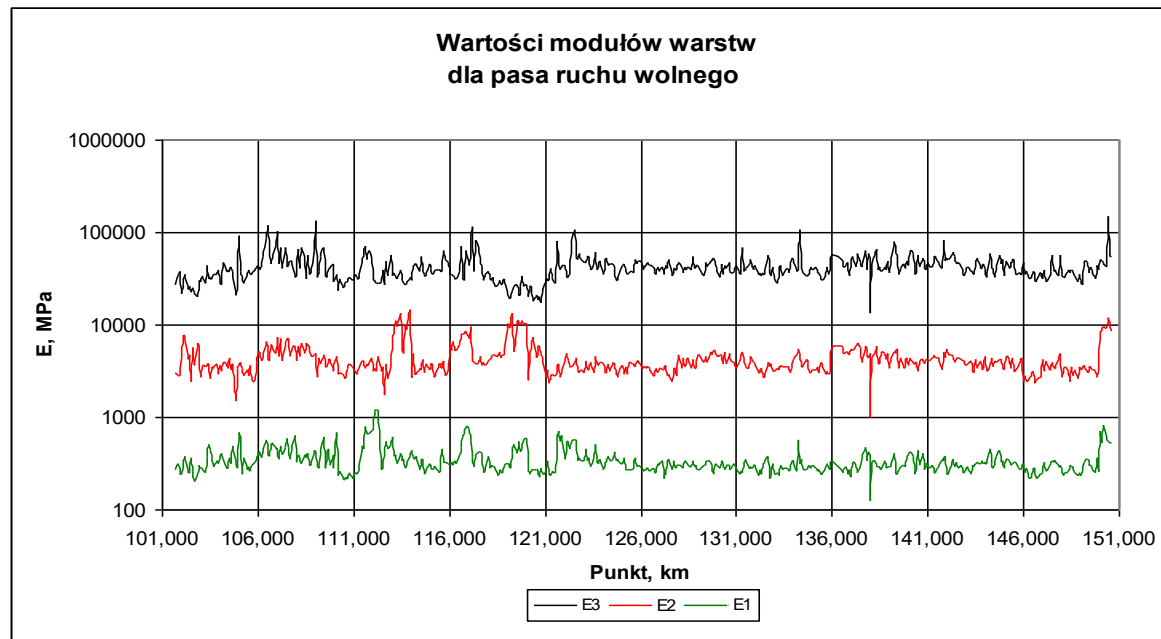
4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu



4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

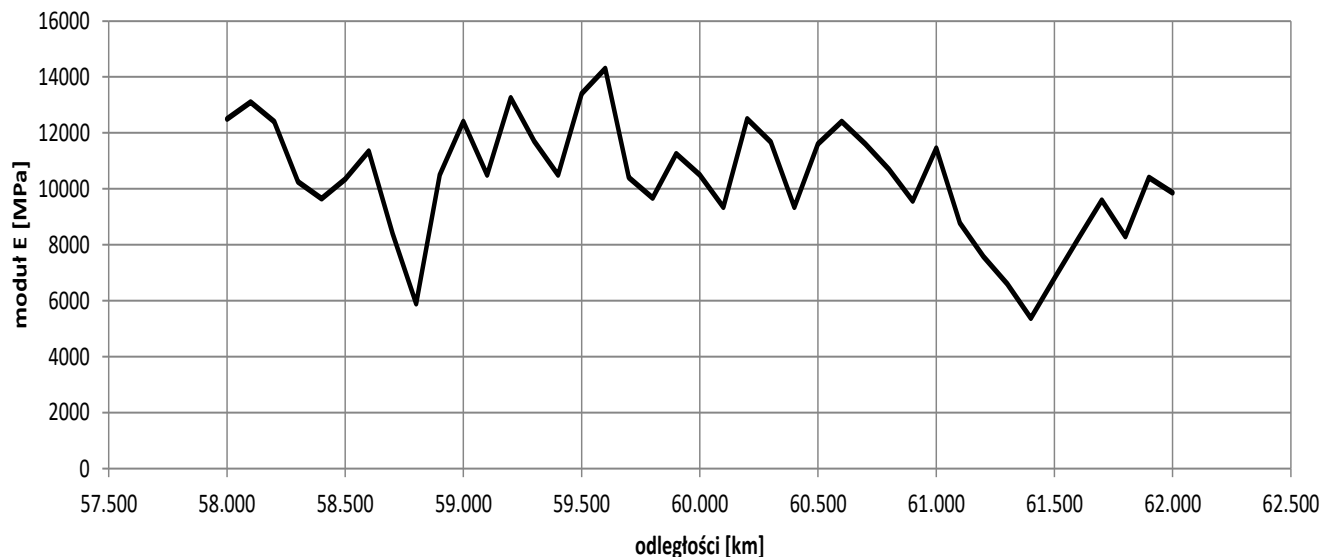


4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu



Wyniki badań na A4 – płyty dyblowane

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu



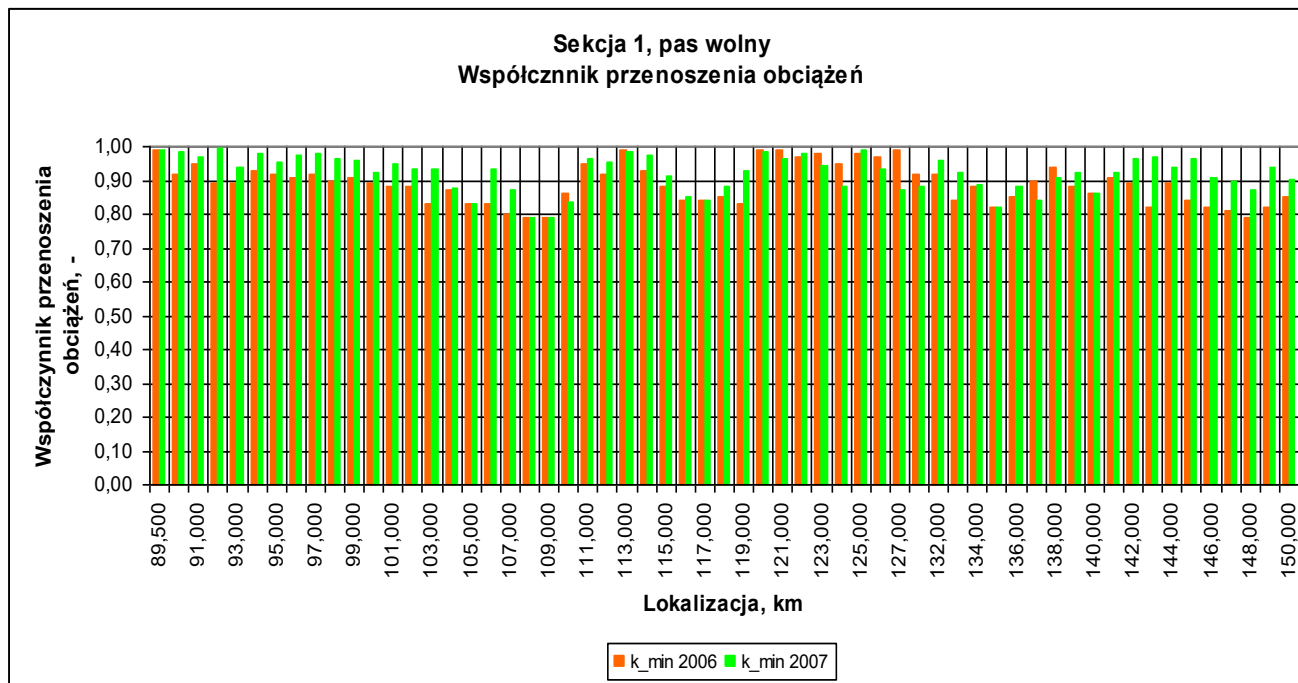
Wyniki badań na A18 – płyty niedyblowane

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Analizując wyniki badań można zauważyć, że moduły płyt zmieniają swoje wartości w przedziale 14 000 – 35 000 i więcej. Znacznie mniejsze występują dla płyt spękanych.

RECYKLING NAWIERZCHNI BETONOWYCH – KRYTERIA OCENY NOŚNOŚCI

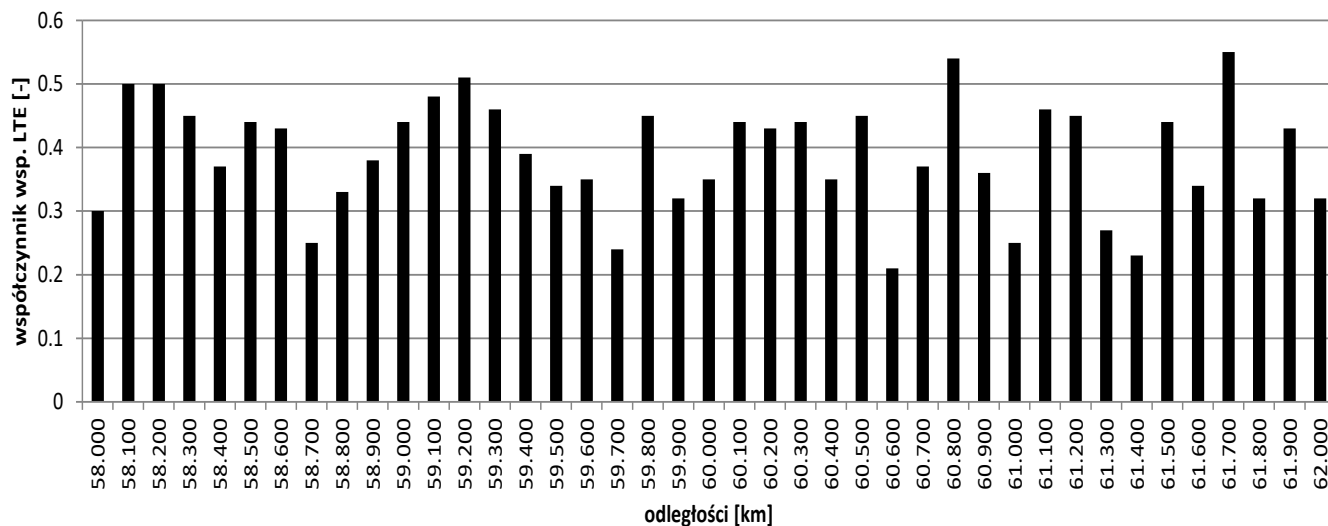
4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu



Wyniki badania na A4 – płyty dyblowane

Warsaw, 22 - 23 October 2025

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu



Wyniki badań na A18 – płyty niedyblowane

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Analizując wyniki badań można zauważyć, że wskaźnik LTE dla płyt bez dybli w szczelinach wynosi poniżej 0,5, podczas gdy dla płyt dyblowanych wynosi około 0,8.

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Wykonano obliczenia numeryczne pozwalające określić warunki wzmocnienia i recyklingu istniejącej nawierzchni betonowej w zależności od współpracy płyt wyrażonym wskaźnikiem LTE.

Analizie obliczeniowej poddano wzmocnienie istniejącej niedyblowanej nawierzchni betonowej o module 20 000 MPa i grubości 20 cm o zmiennym współczynniku współpracy LTE (od 40% do 95%).

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

W zakresie wzmocnienia uwzględniono nową warstwę płyty betonowej (moduł 35 000 MPa) o trzech grubościach płyty: 20, 25, 30 cm.

Do obliczeń zastosowano metodę elementów skończonych. Model nawierzchni betonowej opracowano w układzie trójwymiarowym xyz. Przyjęto płyty o wymiarach 4.0 x 5.0 m. W analizach przyjęto model liniowo-sprężysty.

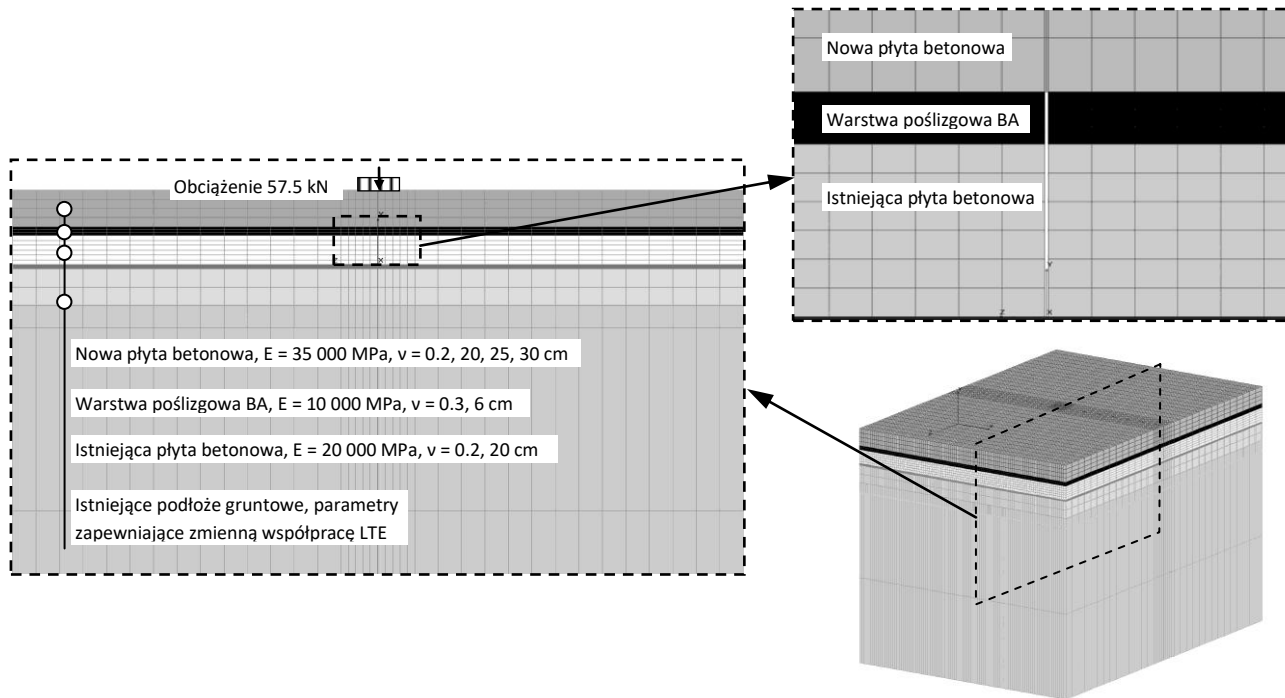
4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Założono brak pełnej szczepności pomiędzy nową płytą i istniejącą, stosując warstwę poślizgową z betonu asfaltowego o module 10 000 MPa i grubości 6 cm. Przyjęto obciążenie o polu 28 x 31 cm i sile 57.5 kN.

Dodatkowo w obliczeniach uwzględniono oddziaływanie dodatniej różnicy temperatur o wartości 12°C.

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Szczegół ze szczeliny



Trwałość - osie standardowe 115 kN

Y-axis: 1 100 000 000, 100 000 000, 10 000 000, 1 000 000, 100 000, 10 000, 1 000, 100, 10, 1

X-axis: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100

Legend:

- $y = 0.0158x^{5.0011}$
 $R^2 = 0.8687$ (h = 30 cm)
- $y = 2E-12x^{10.065}$
 $R^2 = 0.9736$ (h = 25 cm)
- $y = 1E-21x^{14.782}$
 $R^2 = 0.9831$ (h = 20 cm)

Warsaw, 22 - 23 October 2025

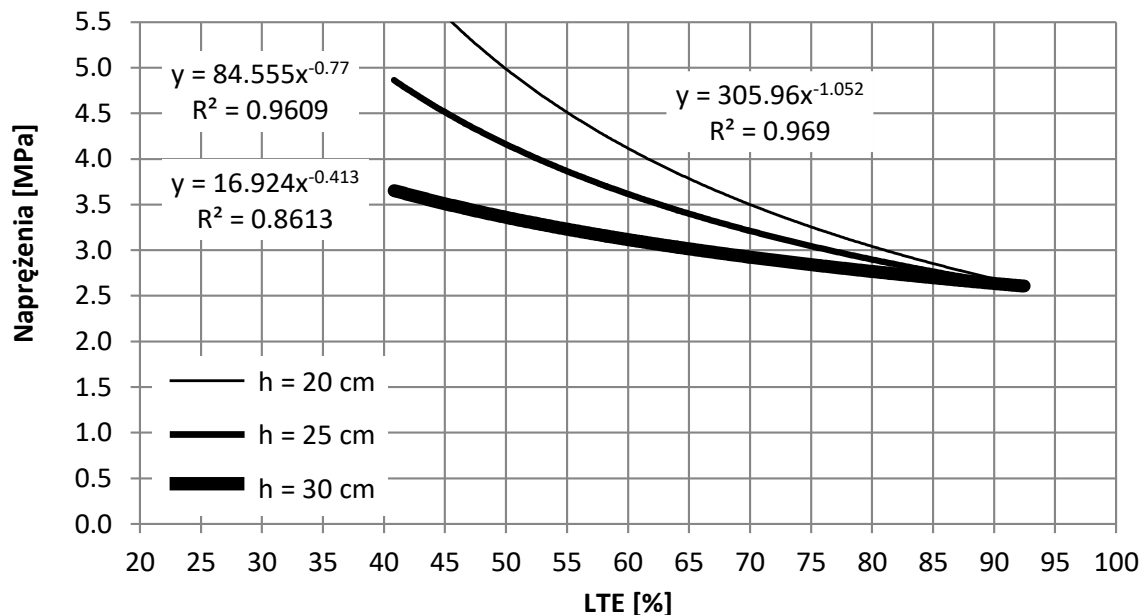
4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Na podstawie analizy zmiany trwałości od współczynnika LTE stwierdzono, że przy wartości $LTE = 75\%$ i wzmocnieniu o grubości 30 cm możliwe jest zapewnienie wymaganej trwałości na poziomie kategorii ruchu KR7 (> 38 mln osi 115 kN).

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Wzmocnienia o grubości 25 i 20 cm zapewniają 38 mln osi 115 kN odpowiednio dopiero przy $LTE = 82\%$ i 86% . Jednakże już dla współczynnika $LTE = 65\%$ i wzmocnieniu o grubości 30 cm możliwe jest zapewnienie trwałości ok. 16 mln co odpowiada kategorii KR5. Aby zachować taką samą trwałość przy wzmocnieniu o grubości 25 cm, istniejąca nawierzchnia powinna mieć zapewnione $LTE = 75\%$, a przy wzmocnieniu o grubości 20 cm – $LTE = 80\%$.

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu



Napężenia rozciągające w płycie wzmacniającej w funkcji LTE

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

Stwierdzono, że płyty o grubości 20 cm, spoczywające na nawierzchni o współczynniku LTE 45%, są podatne na powstawanie pęknięć odbitych ze względu na duże wartości naprężeń przekraczających wytrzymałość na rozciąganie. Niezależnie od grubości płyty dla współczynnika LTE około 95% niskie wartości naprężeń zapewniają dużą rezerwę wytrzymałości na rozciąganie (połowa wartości).

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

a) Jeżeli wskaźnik LTE jest większy lub równy od 0,8 (80%) i moduły płyt betonowych równe lub powyżej 30 000 MPa, klasa A/B wg DSN - możliwa jest dalsza eksploatacja nawierzchni betonowych.

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

b) Jeżeli wskaźnik LTE jest większy lub równy od 0,8 (80%) i moduły płyt betonowych poniżej 30 000 MPa, klasa C/D wg DSN - w zależności od stanu płyt możliwe jest wzmocnienie.

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

c) Jeżeli wskaźnik LTE zawiera się w przedziale $0,65 \leq \text{LTE} \leq 0,8$ i moduły płyt betonowych powyżej 10 000 MPa, (klasy A/B/C wg DSN) możliwe jest wzmocnienie o ograniczonej trwałości zmęczeniowej ze względu na spękania odbite w obrębie szczelin.

4. Kryteria oceny nawierzchni betonowych poddawanych technologii recyklingu

d) Jeżeli wskaźnik LTE jest mniejszy od 0,65 i moduły płyt poniżej 30 000 MPa, klasa C/D wg DSN, zalecany recykling płyt.

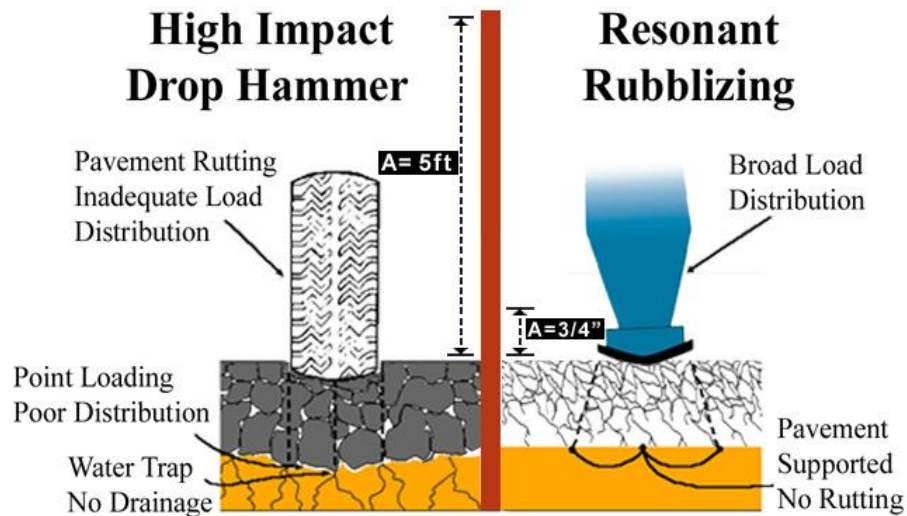
e) Jeżeli wskaźnik LTE jest mniejszy od 0,65 i moduły płyt powyżej 30 000 MPa, klasa B/C wg DSN, zalecany recykling płyt.

5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych

Funkcjonują dwie metody recyklingu *in situ*:

- metoda łamacza wielomłotowego - MHB (*Multi Head Breaker*)
- metoda rezonansowa - RPB (*Resonant Pavement Breaker*).

5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych



5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych

- metoda łamacza wielomłotowego - MHB (*Multi Head Breaker*)



6. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych

Metoda łamacza wielomłotowego polega na mechanicznym rozkruszaniu nawierzchni przy użyciu młotów, zwykle od 12 do 16, o ciężarze 500-900 kg, uderzających z w nawierzchnię z regulowanej wysokości 0.3-1.5 m. Metoda ta pozwala na odprężanie pasa nawierzchni o szerokości od 0.8 m do 3.8 m, w zależności od ilości użytych młotów. W trakcie dziennej działki roboczej możliwe jest przy użyciu MHB rozkruszenie 1.6 km bieżącego nawierzchni (lub 3-5 km bieżących przy odprężaniu nawierzchni na duże bloki).

6. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych

Możliwe jest uzyskiwanie różnych wielkości brył. Przy dużych powierzchniach otrzymuje się duże moduły ale jest niebezpieczeństwo przekopiwania szczelin.

5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych

- metoda rezonansowa - RPB (*Resonant Pavement Breaker*).



5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych

Metoda rezonansowa polega na rozkruszaniu nawierzchni za pomocą belki rezonansowej, drgającej z częstotliwością 44 Hz, zakończonej stopą o szerokości 23 cm i masie 900 kg. Mała amplituda drgań (12,5-25 mm, typowo 20 mm) zapobiega degradacji dolnych warstw konstrukcji nawierzchni i podłoża oraz uszkodzeniom uzbrojenia podziemnego. Jednocześnie, uzyskuje się w tej metodzie równiejszą granulację rozkruszonego betonu, w porównaniu z metodą MHB. Prędkość przejazdu 6-8 km/h, przy niedużej szerokości stopy obciążającej, umożliwia rozkruszenie 5000 m² nawierzchni na frakcje < 50mm, w ciągu dziennej działki roboczej.

5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych



5. Metody recyklingu *in situ* nawierzchni betonowych

Z uwagi na wysoką częstotliwość młota i małą amplitudę, podczas kruszenia nawierzchni nie uszkadza się podbudów związanych cementem, a drgania nie uszkadzają instalacji oraz budynków znajdujących się przy drodze. W związku z tym kruszenie udarowe RPB bardzo dobrze sprawdza się w przypadku rubblizingu nawierzchni betonowych ulic.

6. Podsumowanie

1. W artykule zaproponowano kryteria oceny nawierzchni betonowych pod kątem ich recyklingu. System DSN funkcjonujący w kraju nie umożliwia oceny nawierzchni drogowych pod kątem ich wzmocnienia lub poddania zabiegowi recyklingu.

6. Podsumowanie

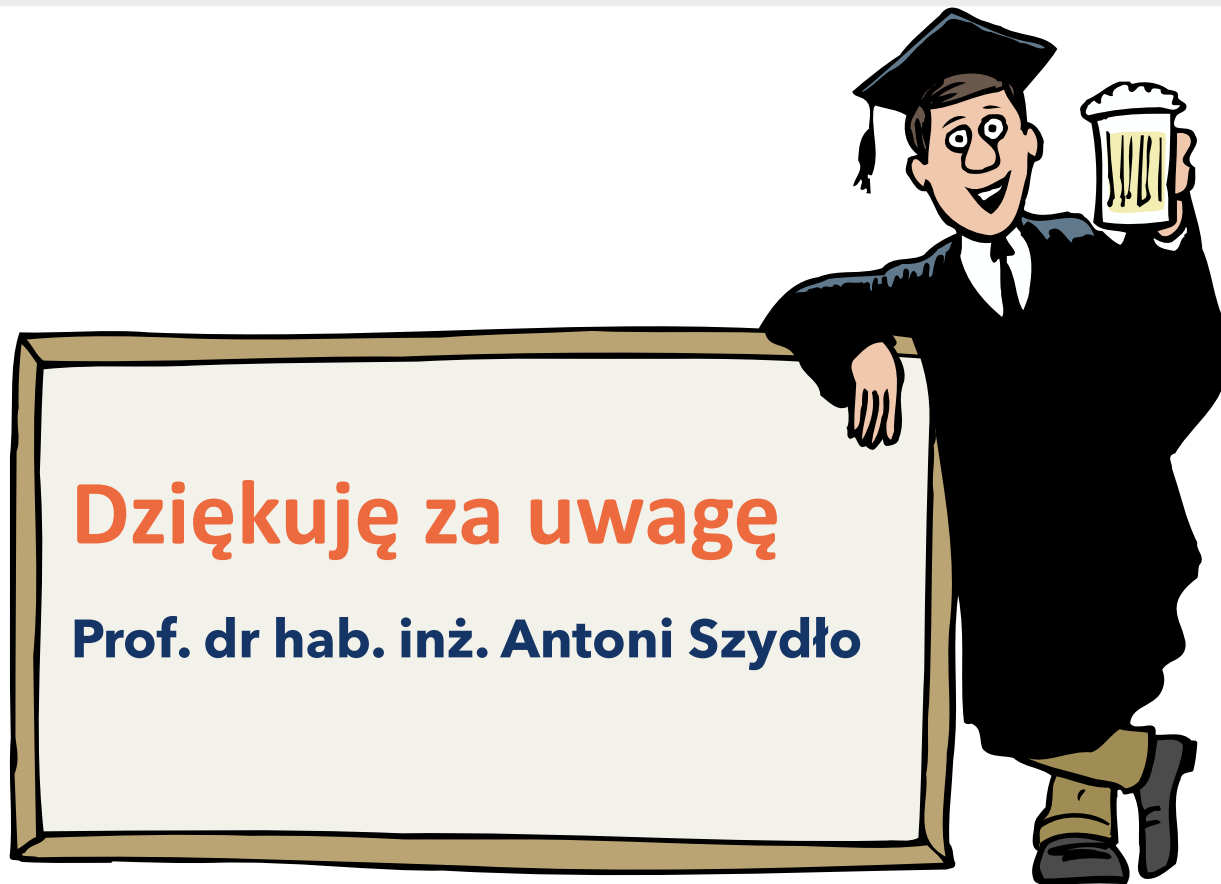
2. Zaproponowano jako kryteria: ocenę modułów (E) płyt betonowych oraz wskaźników współpracy nawierzchni w szczelinach tj. wskaźniki tzw. LTE.

6. Podsumowanie

3. Zaproponowane kryteria zweryfikowano na nawierzchniach betonowych eksploatowanych w kraju na sieci drogowej.

Kryteria te można wprowadzić do systemu DSN.

RECYKLING NAWIERZCHNI BETONOWYCH – KRYTERIA OCENY NOŚNOŚCI



RECYKLING NAWIERZCHNI BETONOWYCH – KRYTERIA OCENY NOŚNOŚCI



mrp25.ibdim.edu.pl

