



Politechnika
Wroclawska

Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach metodami nieniszczącymi z wykorzystaniem sztucznej inteligencji

Łukasz Sadowski

Politechnika Wroclawska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

lukasz.sadowski@pwr.edu.pl

Zebranie Sekcji Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych

Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk, 18.11.2024

Wprowadzenie

Kompozyt cementowy

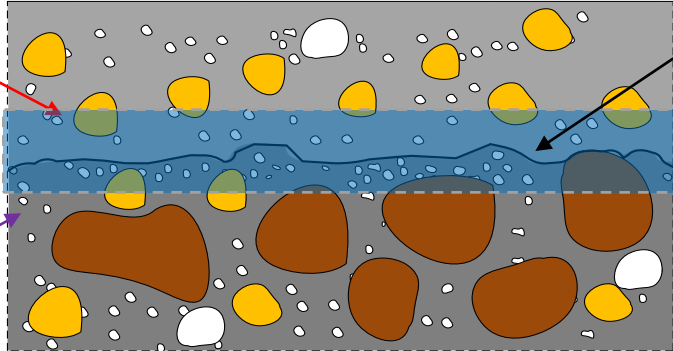
materiał utworzony z minimum dwóch składników: matrycy cementowej i kruszywa, w taki sposób, że powinien mieć właściwości lepsze w stosunku do składników wziętych osobno

Poziom zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym

Poziom zespolenia

wartość przyczepności przy odrywaniu f_b (w MPa) warstwy wierzchniej od podkładu

Układ warstwowy



Warstwa wierzchnia
o stałej lub zmiennej grubości (wykonana zazwyczaj z zaprawy cementowej)

Podkład
(warstwa wykonana zazwyczaj z betonu)

Styk warstw

Strefa zespolenia

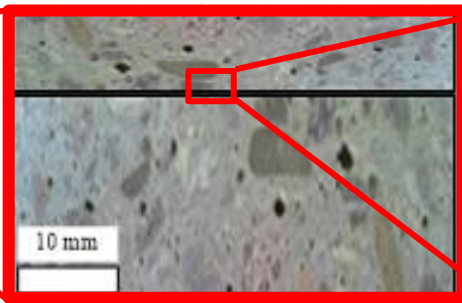
Skala I (makro)

1m



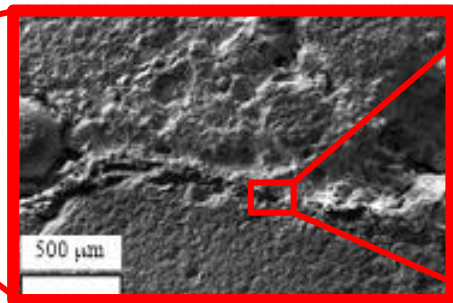
Skala II (mezo)

$10^{-3}m$



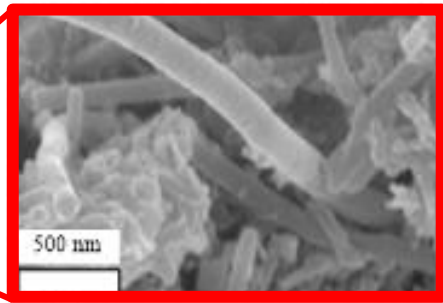
Skala III (mikro)

$10^{-6}m$



Skala IV (nano)

$10^{-9}m$



Wprowadzenie

Układy warstwowe nowo budowane



Układy warstwowe istniejące



Elementy naprawiane, które po naprawie stają się układem warstwowym



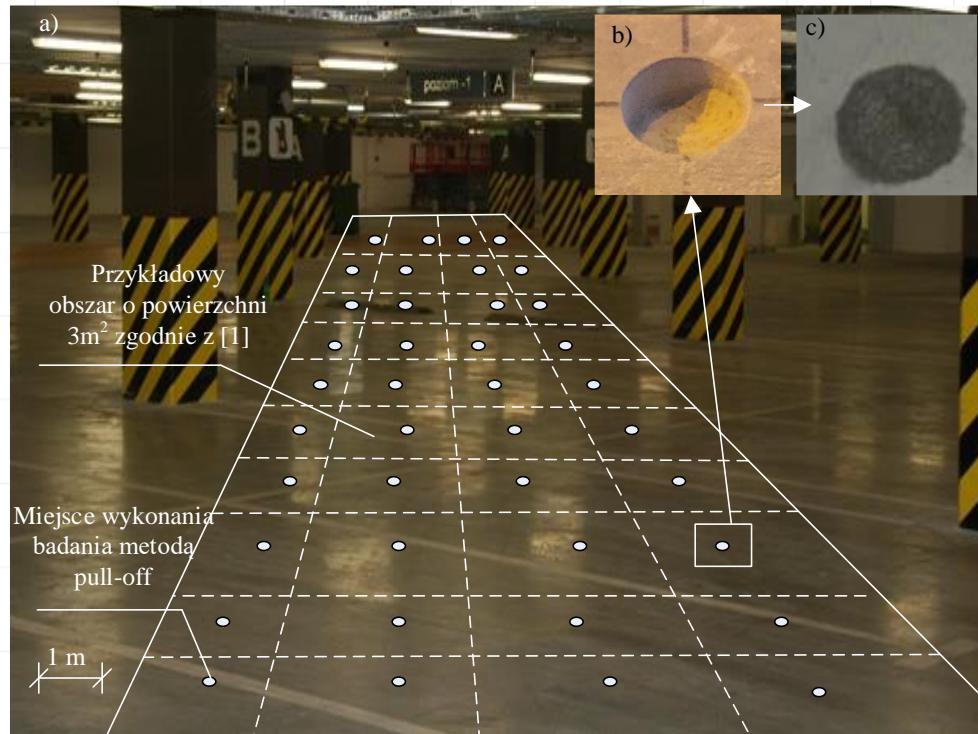
Wprowadzenie

Wartość przyczepności przy odrywaniu f_b jest oceniana w praktyce metodą odrywania i porównywana z wartością minimalną zdefiniowaną normowo lub przez projektanta.

Dużą niedogodnością metody odrywania jest to, że w każdym punkcie badawczym powstaje po zakończeniu badania ubytek wymagający uzupełnienia.

Wymaga się ponadto, aby 1 pomiar kontrolny przypadał na powierzchnię wynoszącą około 3m^2 .

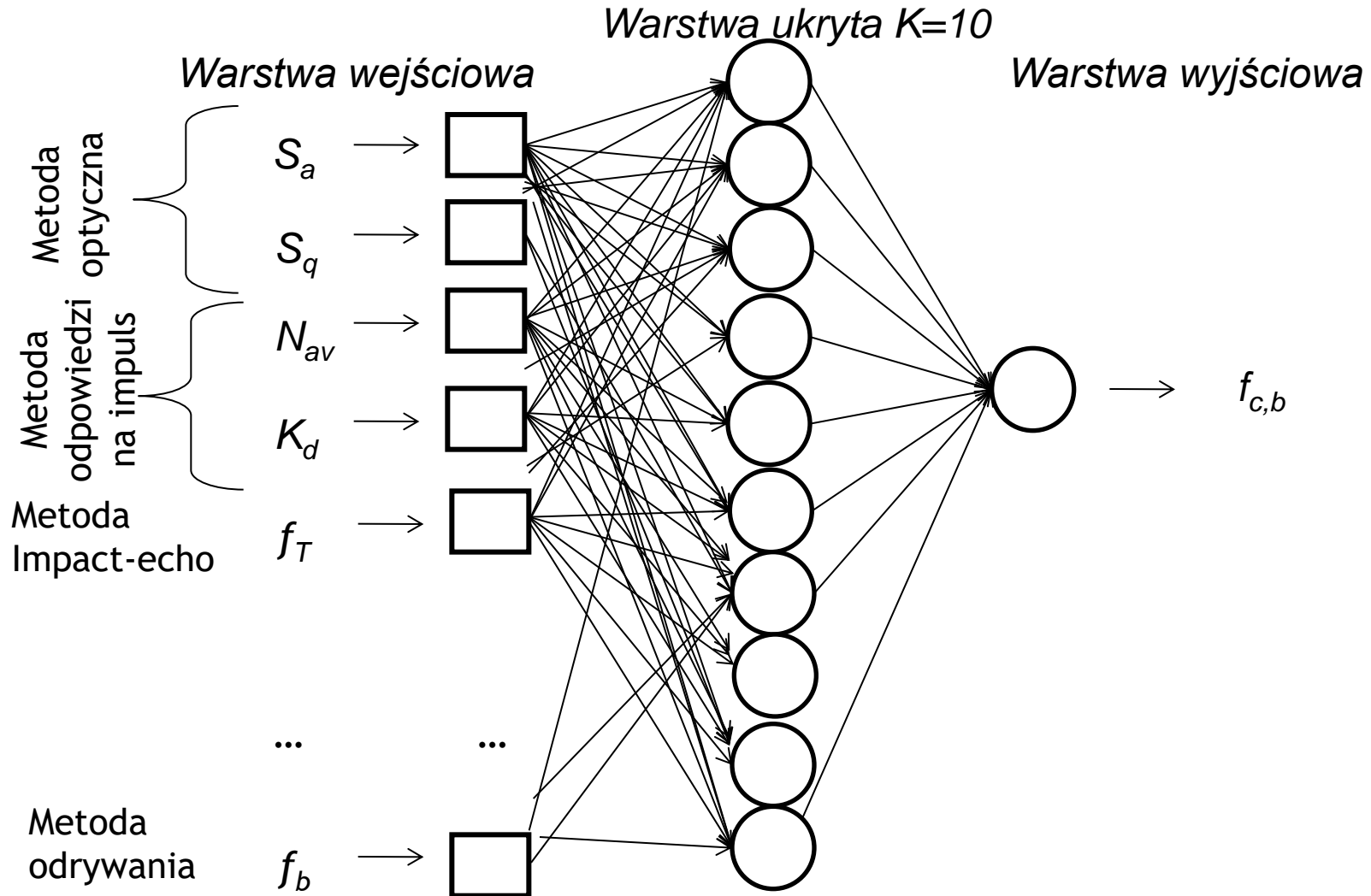
Wprowadzenie



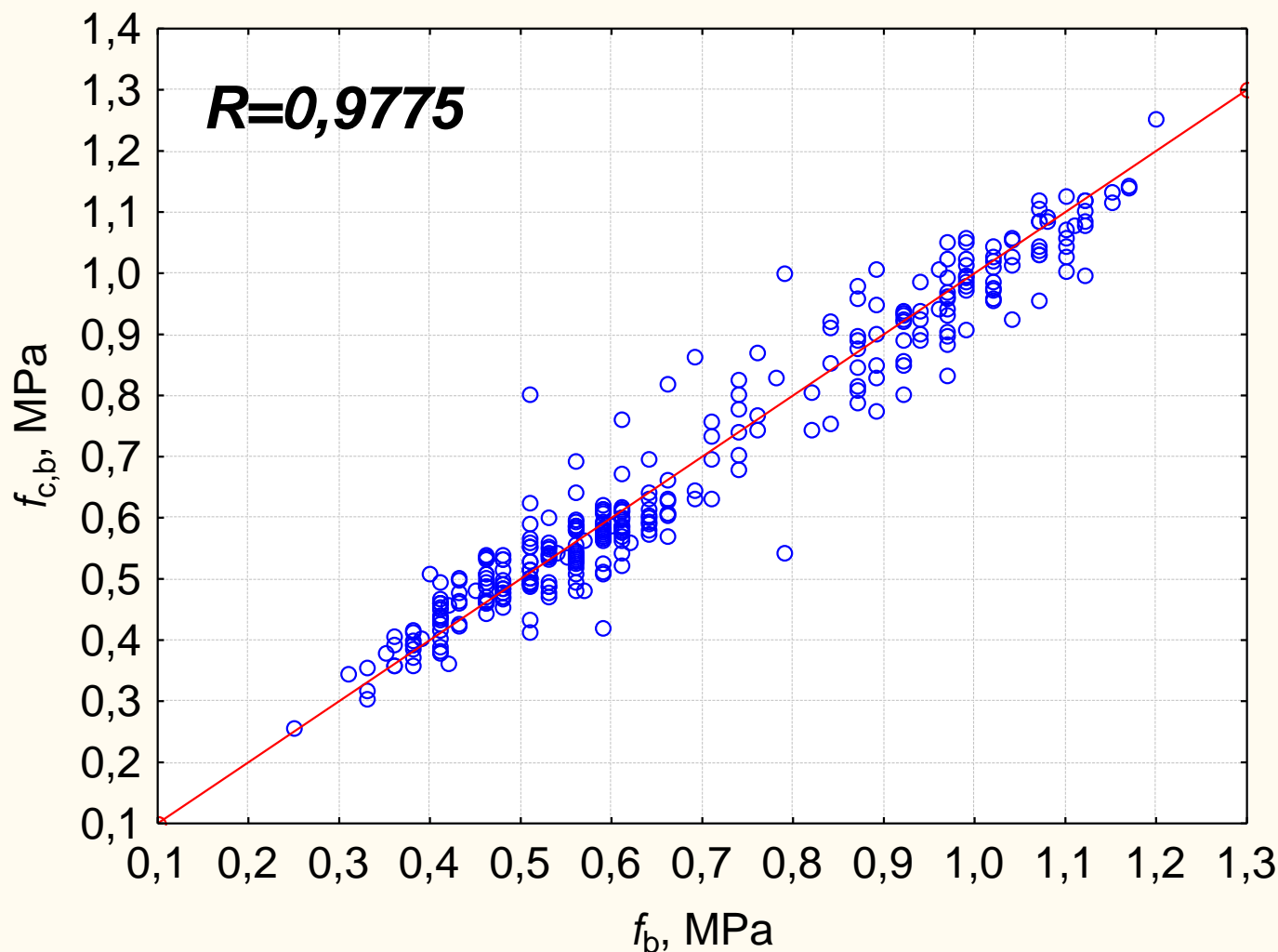
W praktyce mankamenty te mają wpływ na ograniczenie liczby koniecznych do wykonania pomiarów kontrolnych.

Dlatego uzasadnione jest badanie poziomego zespolenia metodami nieniszczącymi.

Jednym z pierwszych osiągnięć jest opracowanie modelu identyfikacji przyczepności przy odrywaniu betonowej warstwy wierzchniej o stałej grubości z podkładową w podłogach z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.



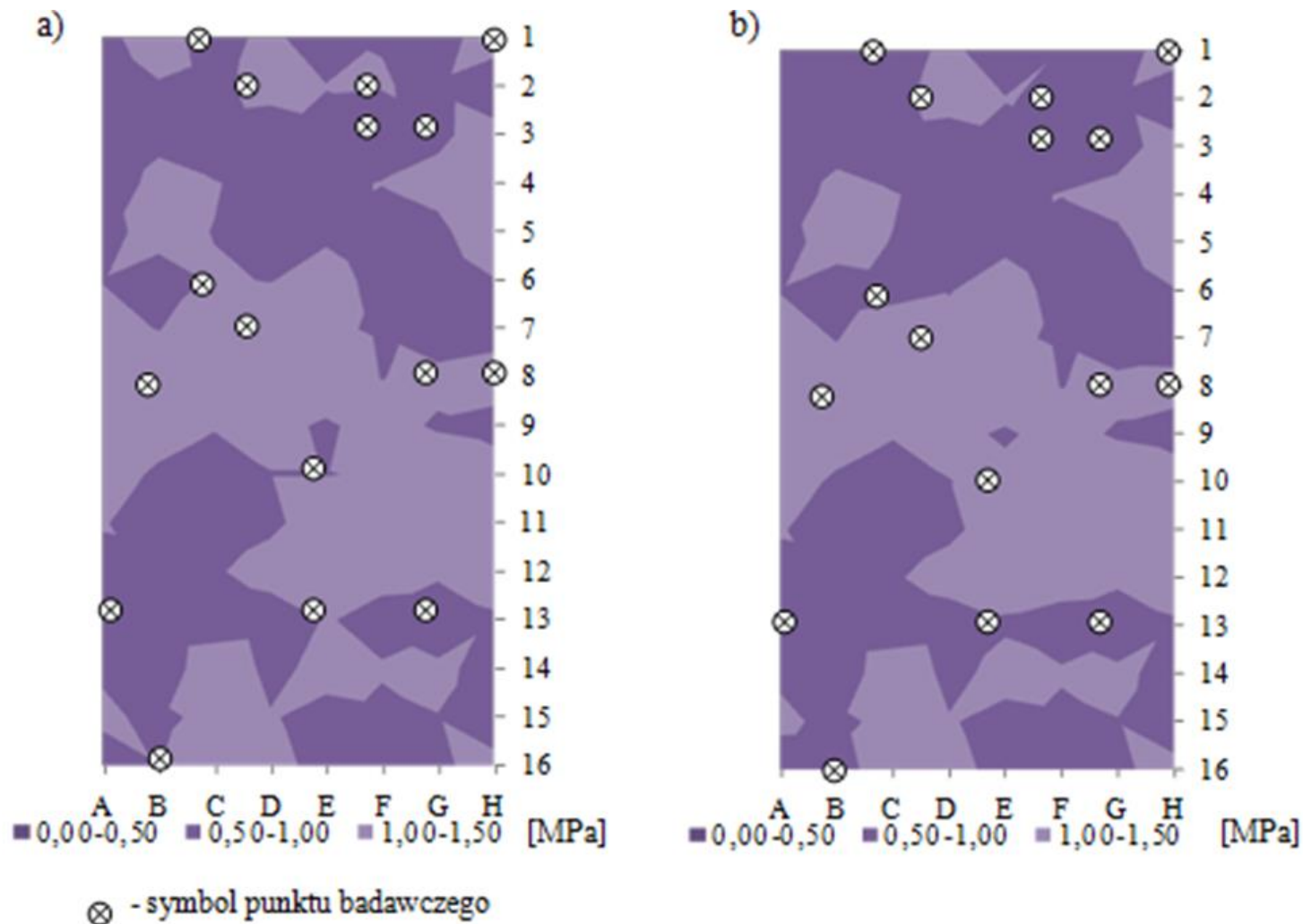
Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach



Zależność między przyczepnością na odrywanie f_b uzyskaną na podstawie badań zasadniczych uzyskanych seminieniszcząca metodą odrywania i przyczepnością na odrywanie $f_{c,b}$ identyfikowaną przez sieć C dla procesu uczenia

Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

Mapy przyczepności na odrywanie utworzone metodą pull-off i za pomocą sieci neuronowej



Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

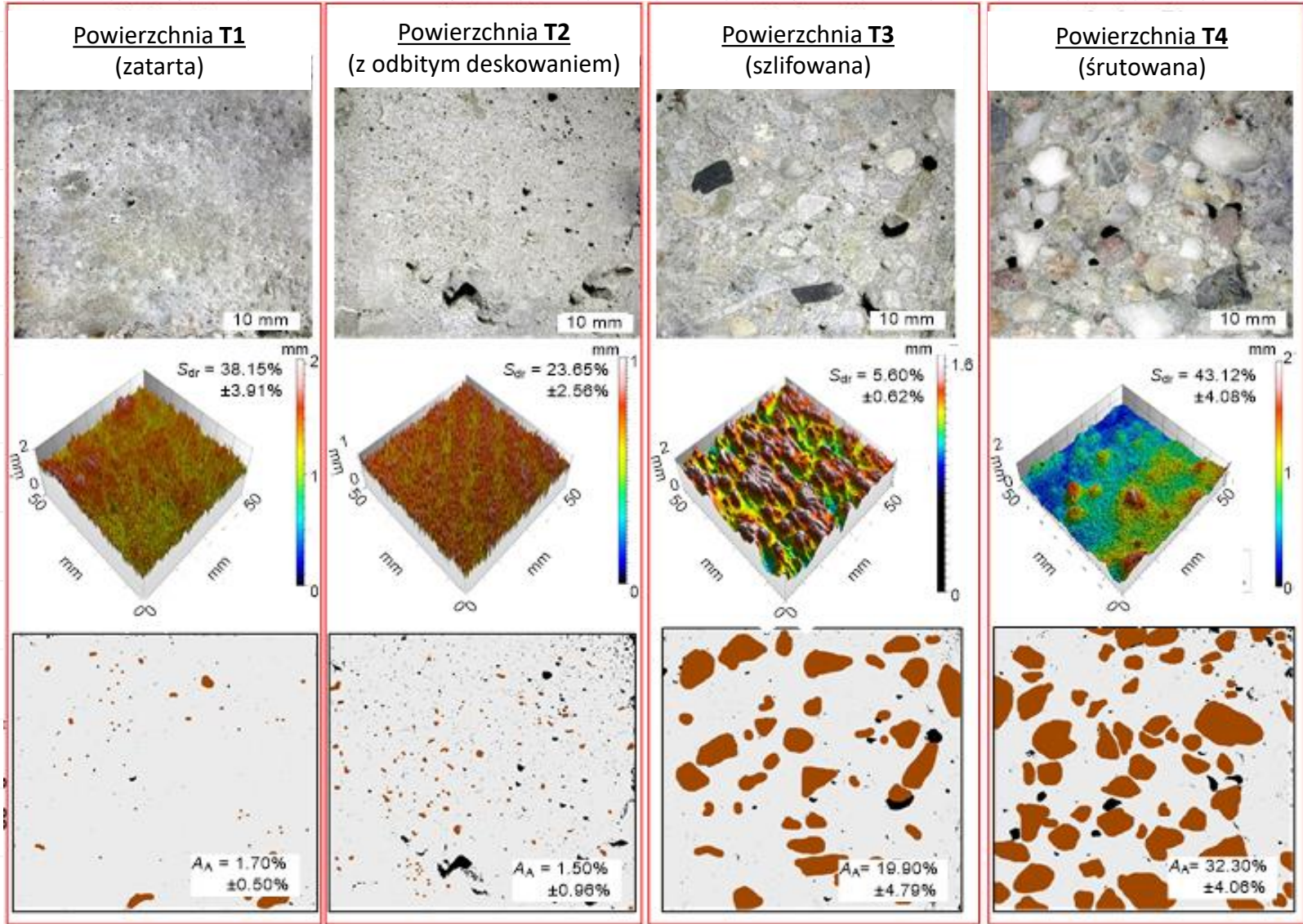
Kolejne osiągnięcie naukowe dotyczy wykazania na drodze badawczej zasadności wieloskalowego podejścia do identyfikacji poziomego zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych.

W tym celu:

- ✓ określiłem metodą skanowania laserowego 3D rozwinięcie powierzchni (S_{dr}),
- ✓ określiłem za pomocą mikroskopu optycznego stopień odstonięcia na powierzchni kruszywa (A_A),
- ✓ wykonałem badania metodą odrywania i uzyskałem wartości f_b na powierzchni warstwy wierzchniej.

Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

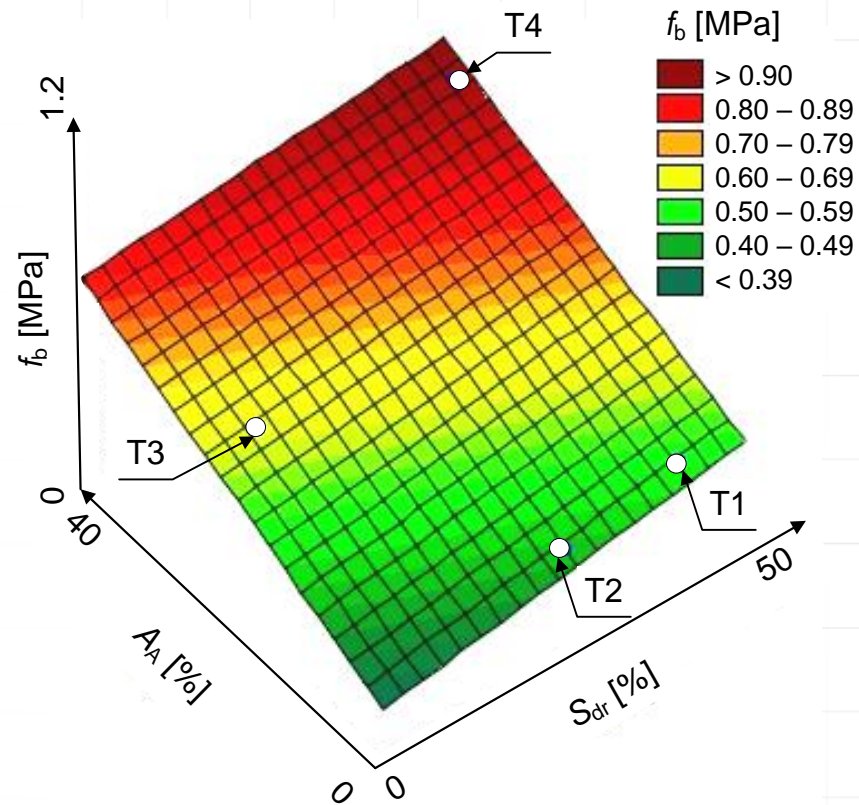
Widoki optyczne
Widoki izometryczne 3D
Stopień odsłonięcia kruszywa



Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

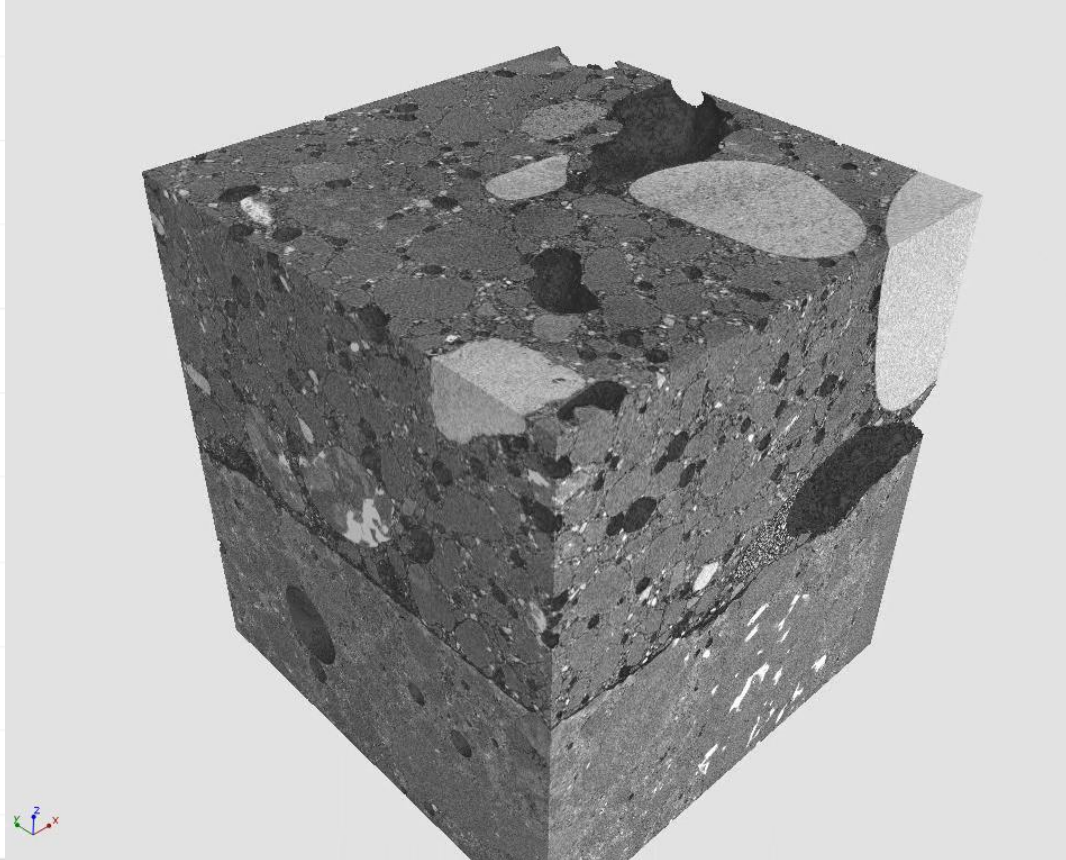
Kształtowanie się średnich wartości przyczepności f_b warstw w zależności od rozwinięcia S_{dr} powierzchni podkładu oraz udziału kruszywa A_A na tej powierzchni można opisać zależnością:

$$f_b(S_{dr}; A_A) = 0.32 + 0.0043S_{dr} + 0.0138A_A$$



Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

Można dojść do wniosku, że struktura porów powietrznych kompozytu cementowego w strefie zespolenia warstw może być inna niż w oddaleniu od tej strefy, co też może wpływać na poziom zespolenia.

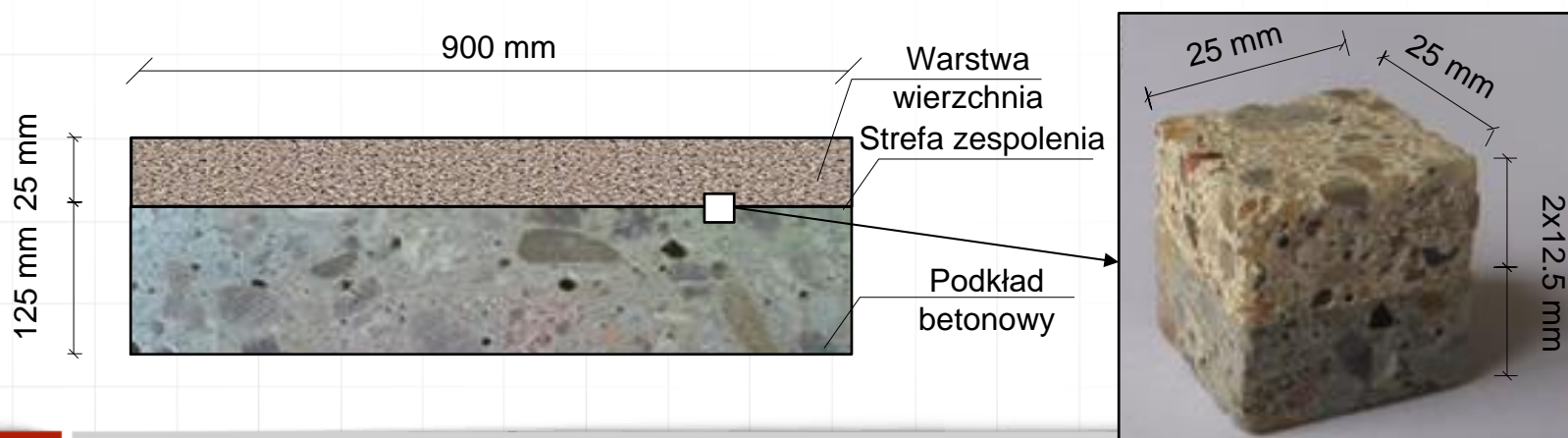


Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

Podjęta została próba opisania struktury porów powietrznych w kompozycie cementowym w strefie zespolenia stwardniałej warstwy wierzchniej z podkładem oraz jej wpływu na poziom zespolenia.

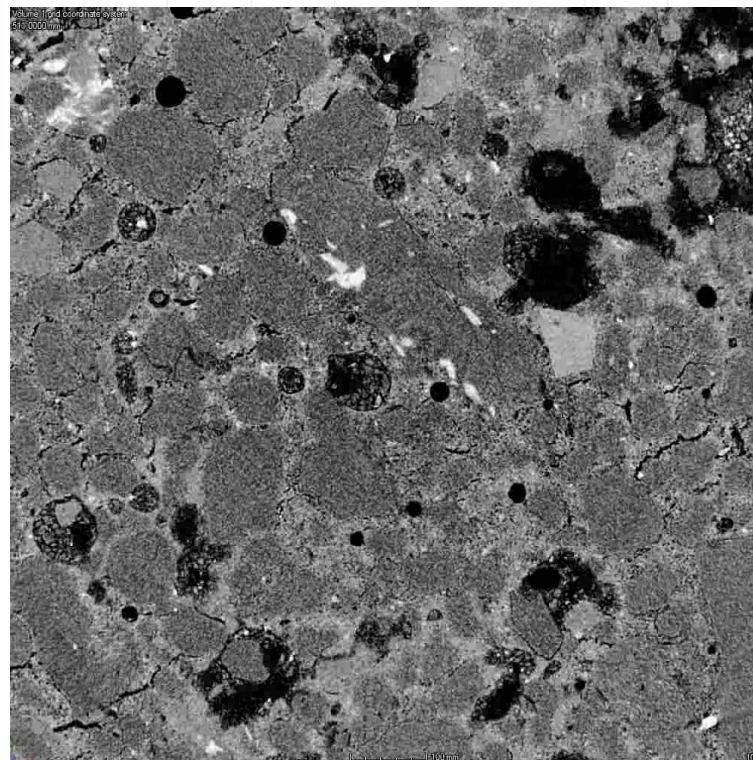
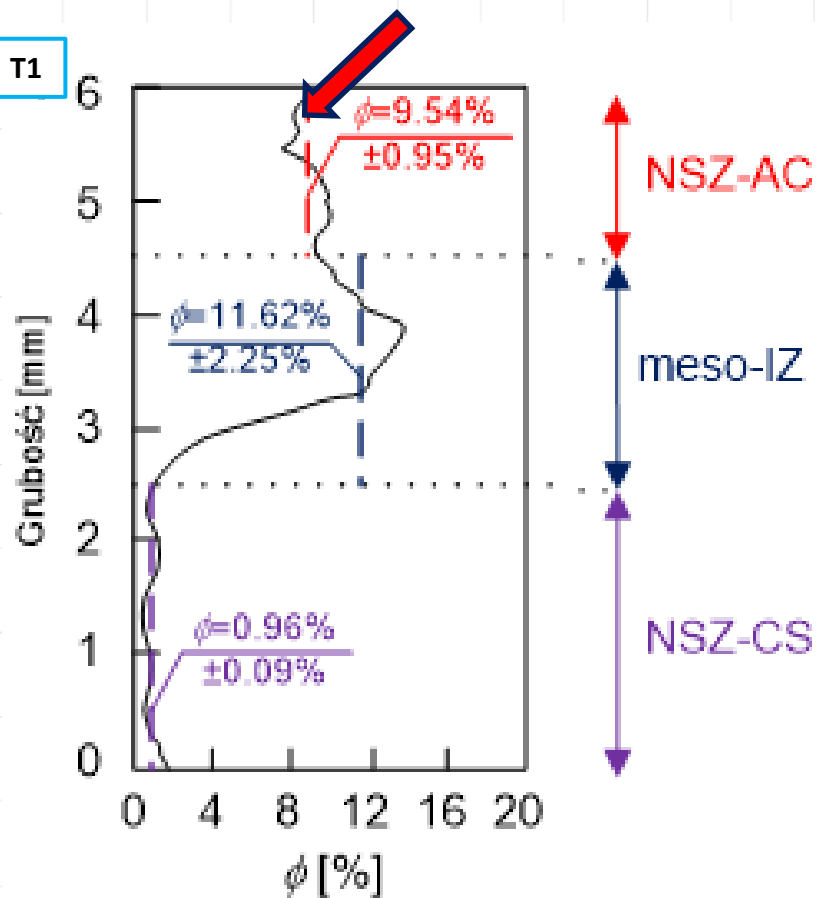
W strefie zespolenia wyróżniłem trzy podstrefy:

- ✓ podstrefę przypowierzchniową podkładu (NSZ-CS),
- ✓ podstrefę zespolenia warstw (meso-IZ),
- ✓ podstrefę przypowierzchniową warstwy wierzchniej (NSZ-AC).



Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

T1



Objętościowy udział frakcyjny porów powietrznych ϕ w strefie zespolenia warstw z kompozytów cementowych na podstawie badań metodą micro-CT dla powierzchni zatartej (T1)

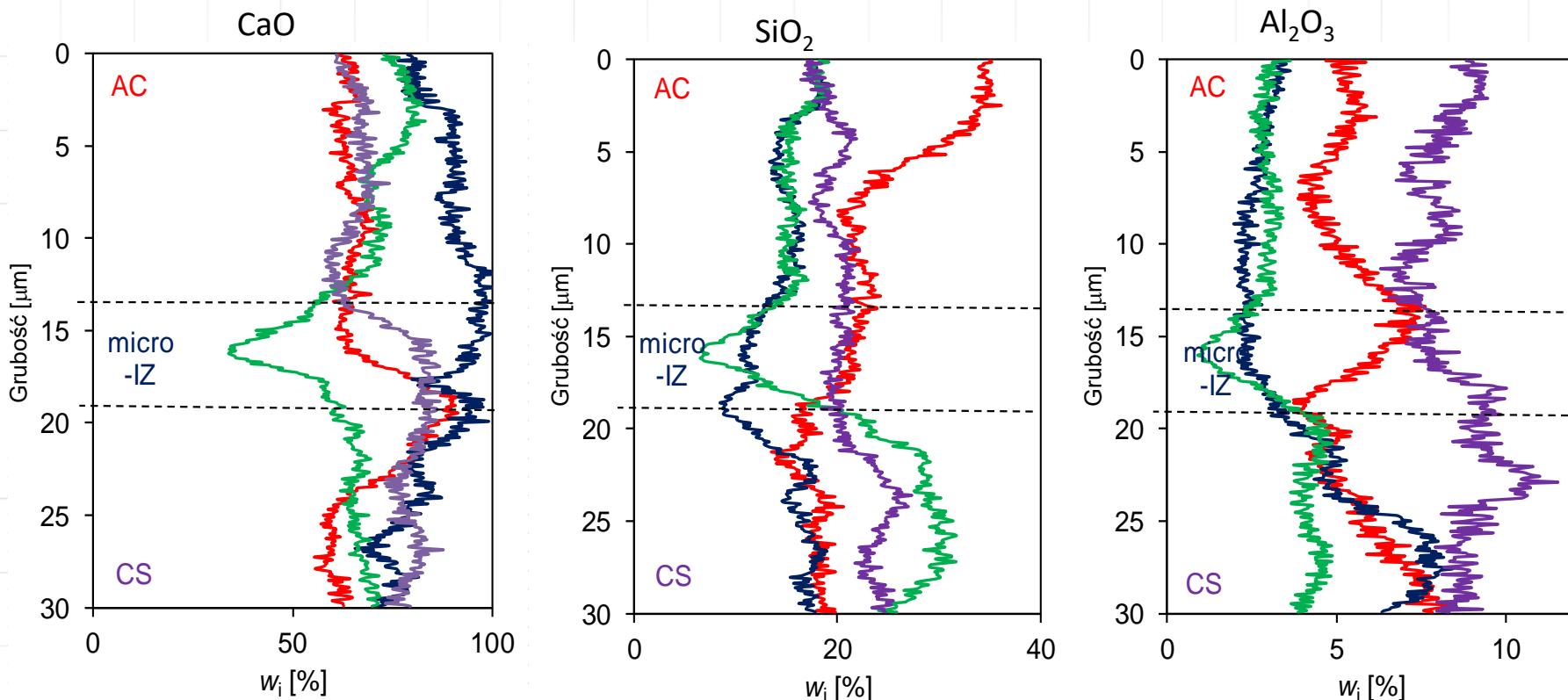
Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach

Z punktu widzenia poziomego zespolenia, oprócz struktury porów powietrznych, może mieć znaczenie także skład chemiczny kompozytu cementowego w strefie zespolenia. Brak było wiedzy jaką grubość tej strefy powinno się uważać za istotną przy rozpatrywaniu migracji tlenków pomiędzy warstwami.

W strefie zespolenia wyróżniłem trzy rodzaje kontaktu:

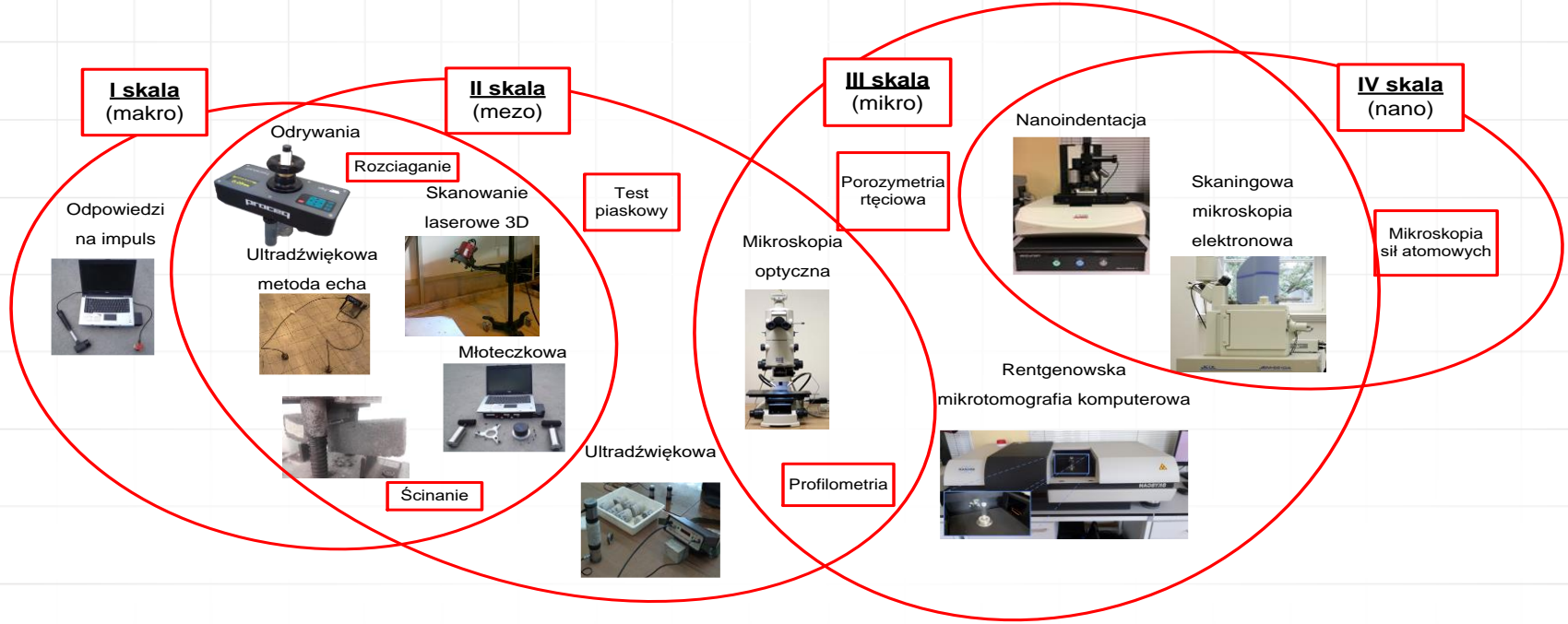
- ✓ matryca cementowa warstwy wierzchniej - matryca cementowa podkładu (MM),
- ✓ matryca cementowa warstwy wierzchniej - kruszywo podkładu (MA),
- ✓ kruszywo warstwy wierzchniej - matryca cementowa podkładu (AM).

Diagnostyka zespolenia warstw betonowych w podłogach



Udział procentowy w_i tlenków CaO, SiO₂ oraz Al₂O₃ w funkcji grubości próbki pobranej do badań ze strefy zespolenia warstw wykonanych z cementowych, uzyskany na podstawie badań metodą SEM dla kontaktu MM

Przydatność dostępnych metod badawczych

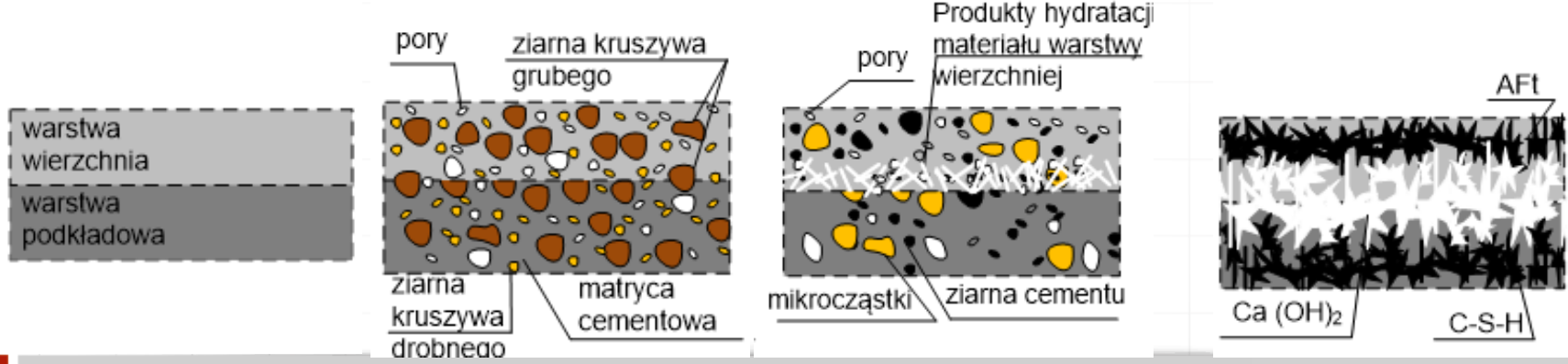


Skala I (makro)
1m

Skala II (mezo)
 $10^{-3}m$

Skala III (mikro)
 $10^{-6}m$

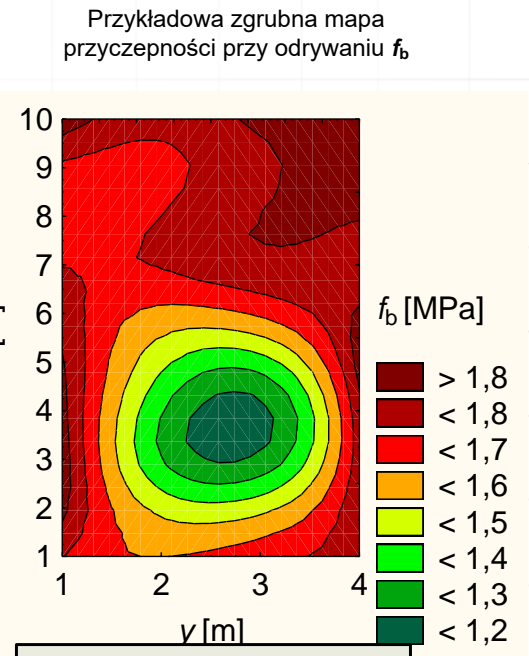
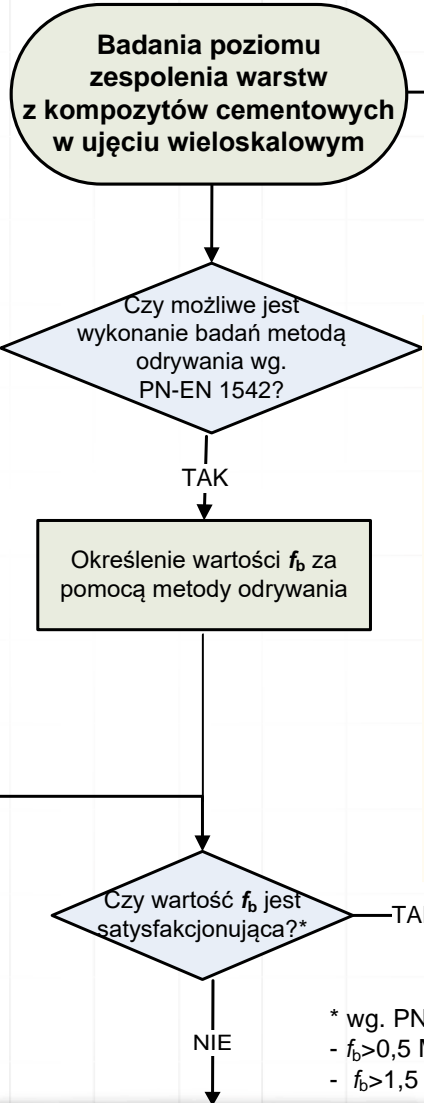
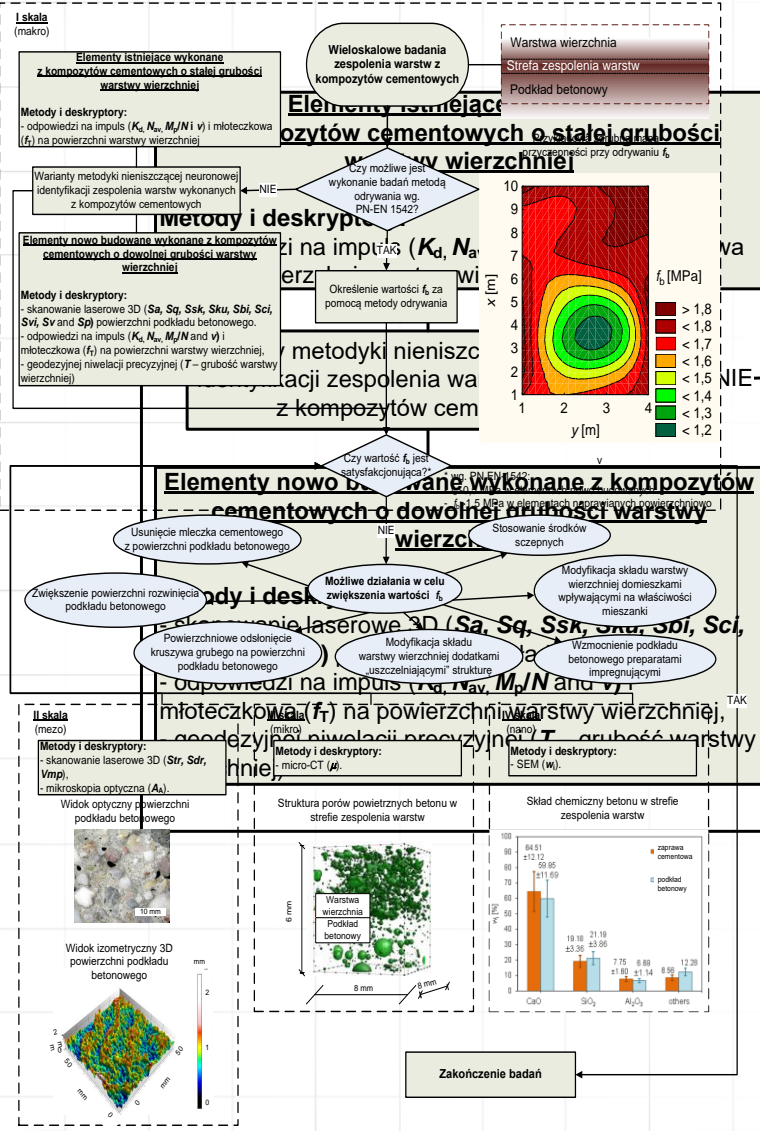
Skala IV (nano)
 $10^{-9}m$



Przydatność dostępnych metod badawczych i deskryptorów

Nazwa metody	Podstawowe oceniane deskryptory	Przydatność w skali
Odrywania	f_b - przyczepność przy odrywaniu	I, II
Skanowania laserowego 3D	S_{ku} - kurtoza powierzchni, S_{tr} - wydłużenie struktury powierzchni, S_a - średnia wysokość powierzchni, S_{dr} - rozwinięty stosunek pola międzyfazowego powierzchni, S_q - średniokwadratowa wysokość powierzchni, S_{sk} - skośność powierzchni, V_{mp} - objętość piku materiału.	I, II
Odpowiedzi na impuls	K_d - sztywność dynamiczna, M_p/N - tempo przyrostu dynamiki drgań, N_{av} - średnia zmienność dynamiki drgań, ν - współczynnik wadliwości.	I, II
Młoteczkowa	A - amplituda impulsu nadawczego, f_T - częstotliwość fali ultradźwiękowej odbitej od dna.	I, II
Mikroskopia optyczna	A_A - udział odstoniętego kruszywa	II, III
Rentgenowska mikrotomografia komputerowa	μ - materiałowy współczynnik pochłaniania promieni rentgenowskich	III
Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM)	w_i - udział procentowy tlenków	III, IV

Metodyka badań poziomu zespolenia warstw z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym



* wg. PN EN-1542:
- $f_b > 0,5$ MPa w elementach nowo budowanych
- $f_b > 1,5$ MPa w elementach naprawianych powierzchniowo

Metodyka badań poziomu zespolenia warstw z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym

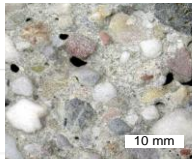


Metodyka badań poziomu zespolenia warstw z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym

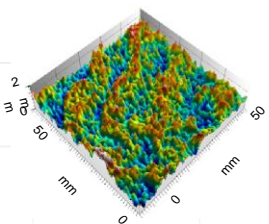
II skala
(mezo)

Metody i deskryptory:
 - skanowanie laserowe 3D (*Str, Sdr, Vmp*),
 - mikroskopia optyczna (*A_A*).

Widok optyczny powierzchni podkładu betonowego



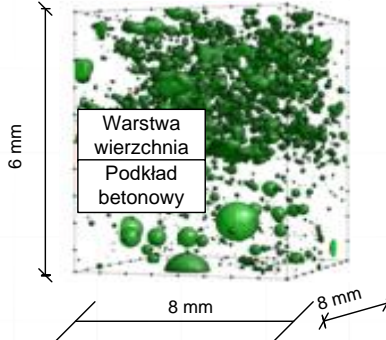
Widok izometryczny 3D powierzchni podkładu betonowego



III skala
(mikro)

Metody i deskryptory:
 - micro-CT (μ).

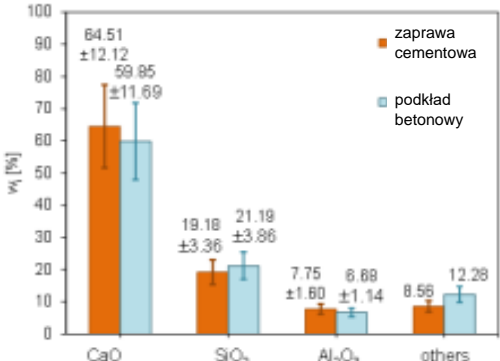
Struktura porów powietrznych betonu w strefie zespolenia warstw



IV skala
(nano)

Metody i deskryptory:
 - SEM (w_i).

Skład chemiczny betonu w strefie zespolenia warstw



Składnik	zaprawa cementowa [%]	podkład betonowy [%]
CaO	64.51 ±12.12	59.85 ±11.69
SiO ₂	19.18 ±3.36	21.19 ±3.86
Al ₂ O ₃	7.75 ±1.60	6.88 ±1.14
others	8.55	12.28

Diagnoza poziomu zespolenia

Monografia

Łukasz Sadowski: **Adhesion in layered cement composites.**

Cham: Springer Nature

Switzerland, cop. 2019. 163 s.

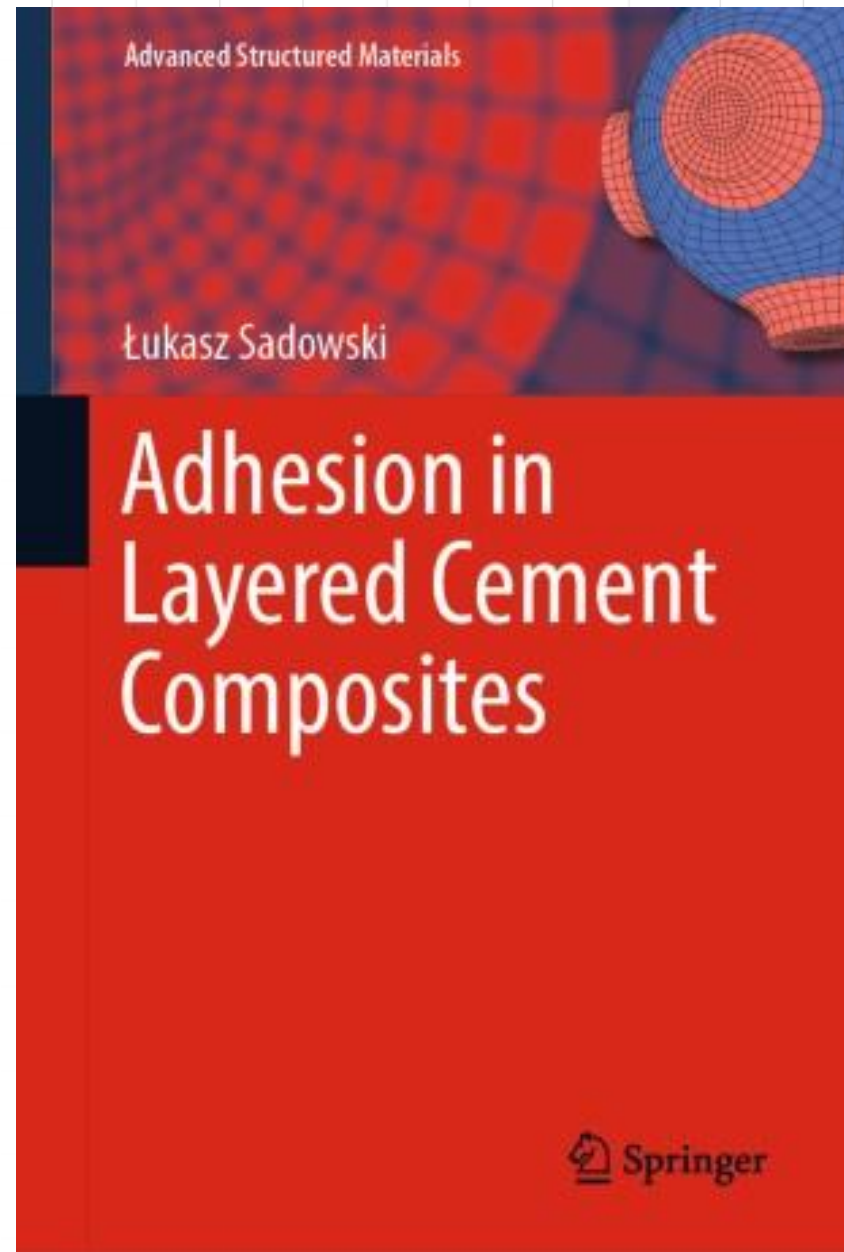
ISBN: 978-3-030-03782-6;

978-3-030-03783-3

(Advanced Structured
Materials, ISSN 1869-8433;
vol. 101)

Lokalizacja elektroniczna:

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-03783-3>

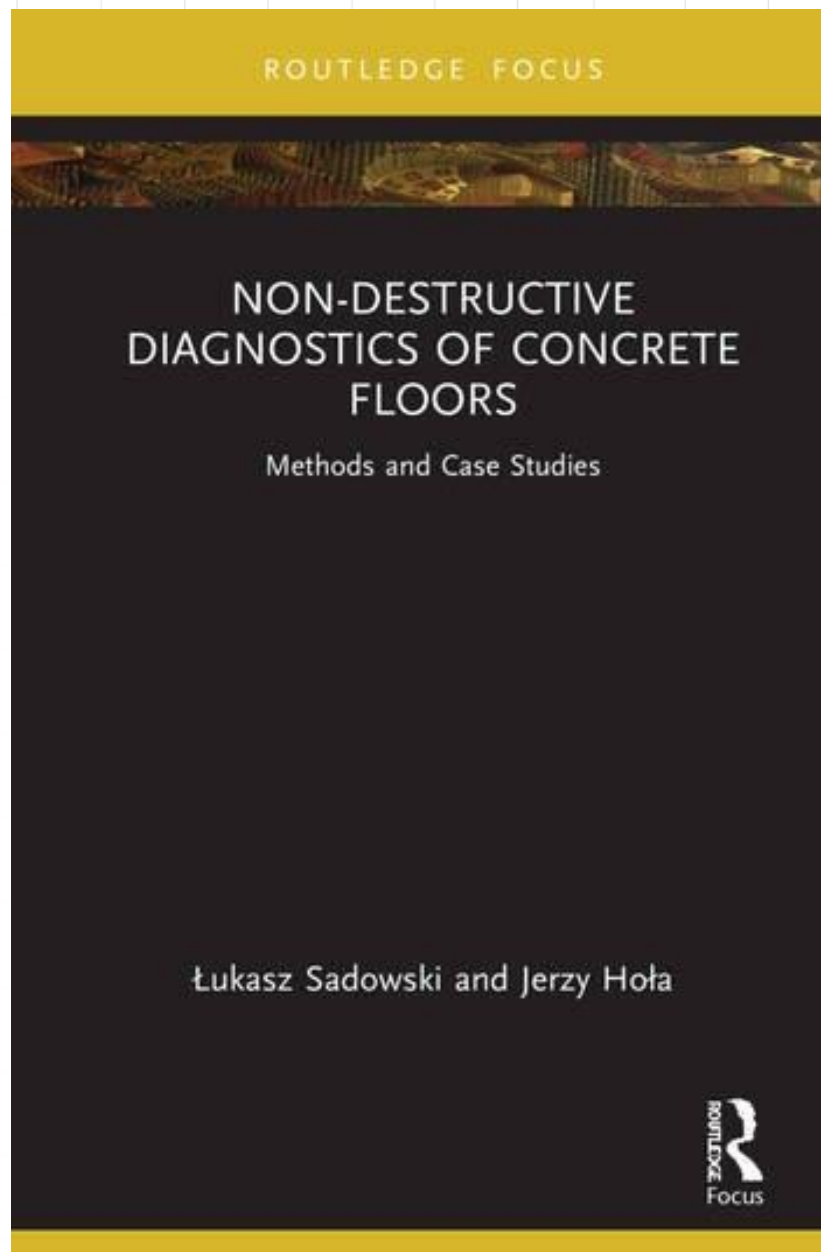


Monografia

Łukasz Sadowski, Jerzy Hoła:
**Non-Destructive Diagnostics
of Concrete Floors: Methods
and Case Studies.** CRC Press,
cop. 2022. 200 s. ISBN:
9781032264523

Lokalizacja elektroniczna:
[https://www.routledge.com/
Non-Destructive-Diagnostics-
of-Concrete-Floors-Methods-
and-Case-Studies/Sadowski-
Hola/p/book/9781032264523](https://www.routledge.com/Non-Destructive-Diagnostics-of-Concrete-Floors-Methods-and-Case-Studies/Sadowski-Hola/p/book/9781032264523)

#





Politechnika
Wroclawska

Dziękuję za uwagę

Łukasz Sadowski

Politechnika Wroclawska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

lukasz.sadowski@pwr.edu.pl

Zebranie Sekcji Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych

Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk, 18.11.2024