

# **EFEKTYWNE ZAGĘSZCZANIE PODBUDÓW Z KŁSM METODĄ "SLUSHINGU"**

**dr inż. Aleksander Zborowski**

**TPA Dział Badań i Rozwoju**

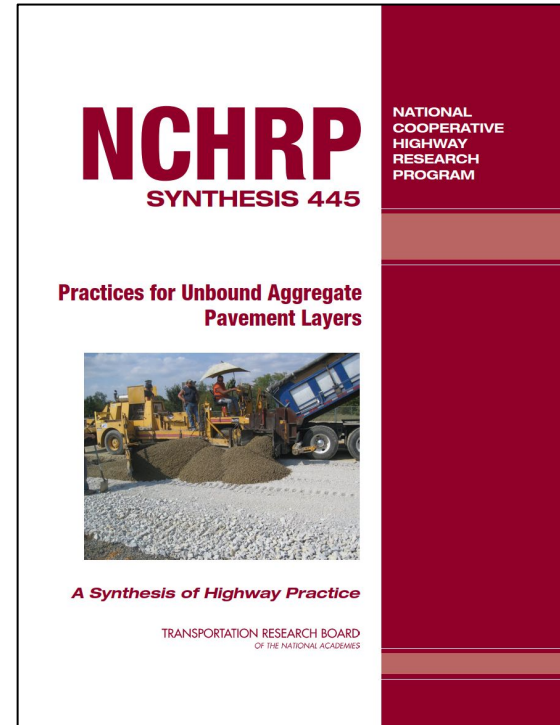
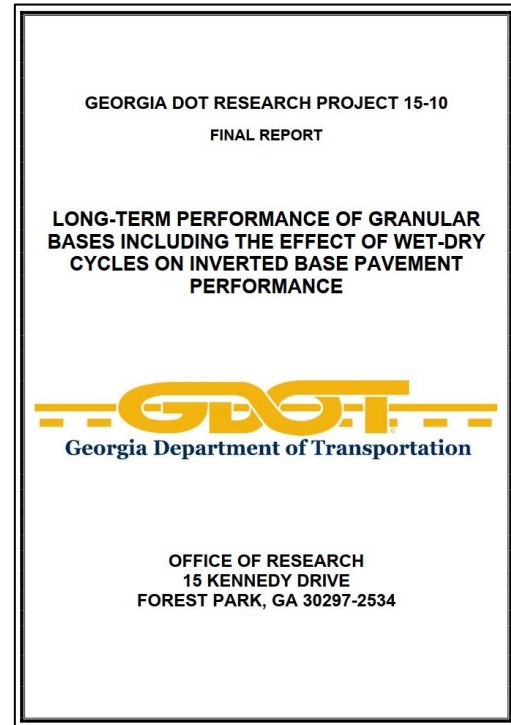
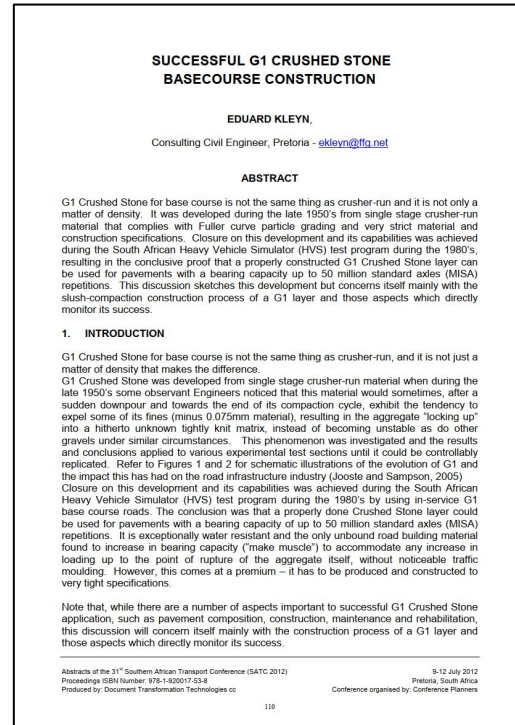
**X Śląskie Forum Drogowe, 12-14 czerwca 2024**



# TEORIA

## ZASADA DZIAŁANIA I ZAŁOŻENIA

# DOKUMENTY ŹRÓDŁOWE



# CO TO JEST SLUSHING?

- Najlepiej opisującym technologię tłumaczeniem jest termin „Szlamowanie”.
- Proces został opracowany w Republice Południowej Afryki w latach 80 XX wieku.
- Metoda polega na zagęszczaniu warstwy podbudowy zasadniczej z właściwie uziarnionego i wytrzymałego kruszywa łamanego zawierającego odpowiednio dużą ilość pyłów za pomocą kontrolowanego zalewania warstwy wodą oraz szybkiego, statycznego zagęszczania walcami.
- Korzyści jakie wynikają z zastosowania tej metody to znacznie lepsze zagęszczenie warstwy, a przez to znacząco zwiększona nośność oraz dodatkowo większa szczelność, która zapewnia dużą odporność warstwy na erozję.
- Ze względu na sposób zagęszczania – wałowanie statyczne bez wibracji, kruszywo jest mniej narażone na rozpad ziaren i przyrost ilości pyłów i dzięki temu może osiągać lepsze parametry.



# OGÓLNA ZASADA DZIAŁANIA

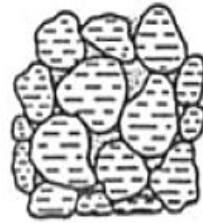
- Metoda ta zwiększa gęstość upakowania warstwy kruszywa poprzez nadmierne nawodnienie podczas procesu zagęszczania. Po początkowym klasycznym zagęszczaniu (z umiarkowaną energią wibracji) warstwa jest zalewana i wałowana statycznie ciężkim walcem poruszającym się z dużą prędkością.
- Proces ten prowadzi do pozbycia się wolnych przestrzeni w szkielecie mineralnym poprzez zastąpienie ich przez szlam stanowiący mieszaninę pyłów i wody. Szlam działa początkowo jak smar, który ułatwia właściwe ułożenie i wzajemne zazębienie się ziaren kruszywa zwiększając jego gęstość, zaś w końcowym etapie procesu jego nadmiar wydostaje się na powierzchnię w postaci osadu.



Opracowano na podstawie: „Inverted Pavements, A TRB Webinar AFP70 – Mineral Aggregate, 18 July 2016

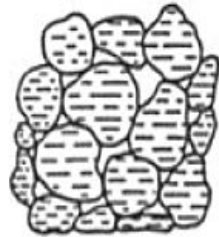
„Successful G1 Crushed Stone Basecourse Construction”, Eduard Kleyn – Abstracts of the 31st Southern African Transport Conference (SATC 2012)

# SPOSOBY OSIĄGANIA MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI KRUSZYWA W WARSTWIE

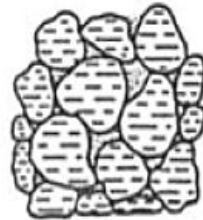


wystarczająco pyłów

# SPOSOBY OSIĄGANIA MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI KRUSZYWA W WARSTWIE

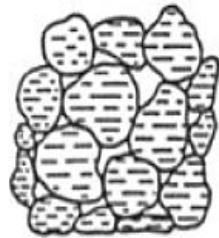


za mało pyłów

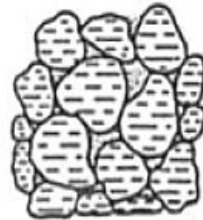


wystarczająco pyłów

# SPOSOBY OSIĄGANIA MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI KRUSZYWA W WARSTWIE



za mało pyłów



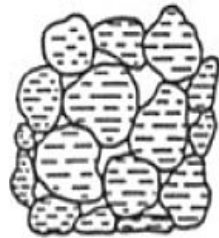
wystarczająco pyłów



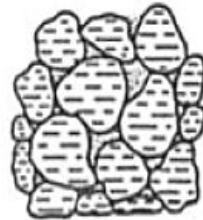
Crushing



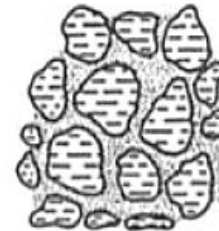
# SPOSOBY OSIĄGANIA MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI KRUSZYWA W WARSTWIE



za mało pyłów



wystarczająco pyłów

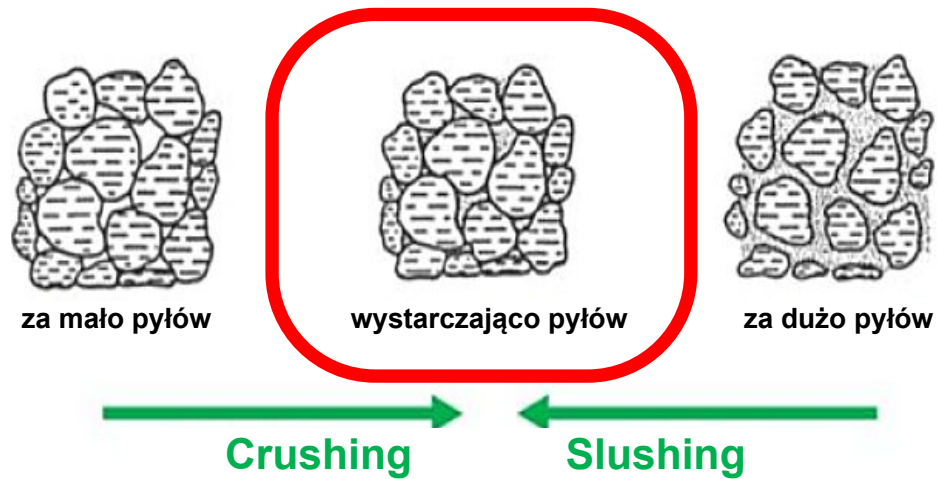


za dużo pyłów



Crushing

# SPOSOBY OSIĄGANIA MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI KRUSZYWA W WARSTWIE



# EFEKT ZASTOSOWANIA SLUSHINGU

- Po przeschnięciu osad zostaje usunięty przez szczotkowanie mechaniczne pozostawiając na powierzchni stabilną strukturę z mocno zablokowanym i częściowo odkrytym kruszywem o dobrze rozwiniętej powierzchni właściwej, która dodatkowo poprawia szczepność międzywarstwową umożliwiając wzajemne przenikanie się ziaren pomiędzy sąsiadującymi warstwami nawierzchni.
- W efekcie gotowa warstwa posiada optymalne uziarnienie szkieletu, z ilością pyłów właściwą dla uzyskania możliwie maksymalnej nośności, ale na tyle niską, aby minimalizować nasiakliwość materiału i dzięki temu zwiększać



Opracowano na podstawie: „Inverted Pavements, A TRB Webinar AFP70 – Mineral Aggregate, 18 July 2016

„Successful G1 Crushed Stone Basecourse Construction”, Eduard Kleyn – Abstracts of the 31st Southern African Transport Conference (SATC 2012)



# WIDOK KOŃCOWY POWIERZCHNI WARSTWY



Opracowano na podstawie: „Inverted Pavements, A TRB Webinar AFP70 – Mineral Aggregate, 18 July 2016

„Successful G1 Crushed Stone Basecourse Construction”, Eduard Kleyn – Abstracts of the 31st Southern African Transport Conference (SATC 2012)

# WERYFIKACJA METODY W PRAKTYCE



# I ODCINEK PRÓBNY PRUSZKÓW - NOWA BAZA STRABAG BMTI



# I ODCINEK PRÓBNY - INFORMACJE

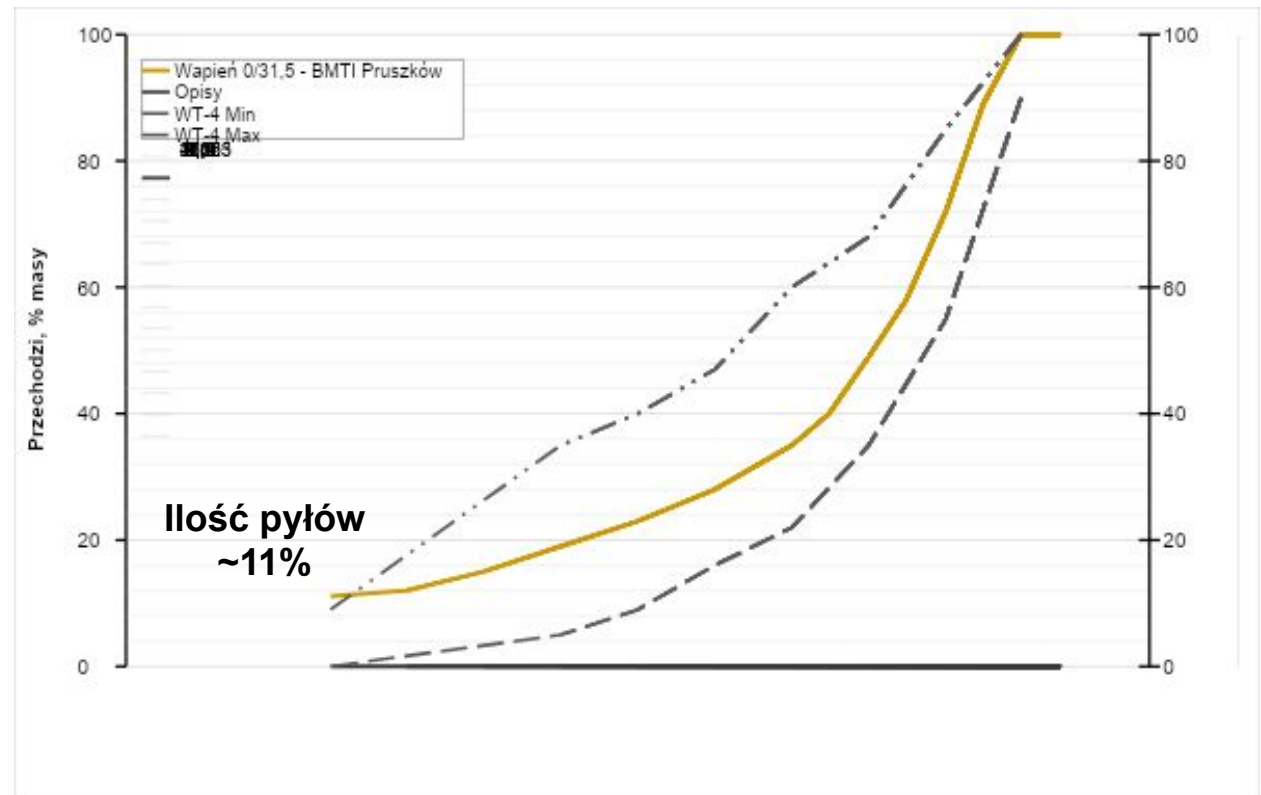
## KONSTRUKCJA

grubość	[cm]
KŁSM 0/31,5 Wapień	15
warstwa ulepszonego podłoża stabilizowanego cementem	40
podłożo gruntowe	-

← Slushing

- Dla porównania sąsiadujący odcinek zagęszczono metodą tradycyjną

## UZIARNIENIE KŁSM 0/31,5 Wapień





# I ODCINEK PRÓBNY - ZAGĘSZCZANIE





# I ODCINEK PRÓBNY - PO ZAGĘSZCZENIU





# I ODCINEK PRÓBNY - PO WYSCHNIĘCIU





# I ODCINEK PRÓBNY - PO SZCZOTKOWANIU





# II ODCINEK PRÓBNY

## DROGA SERWISOWA PRZY DW 935 OBWODNICA RACIBORZA

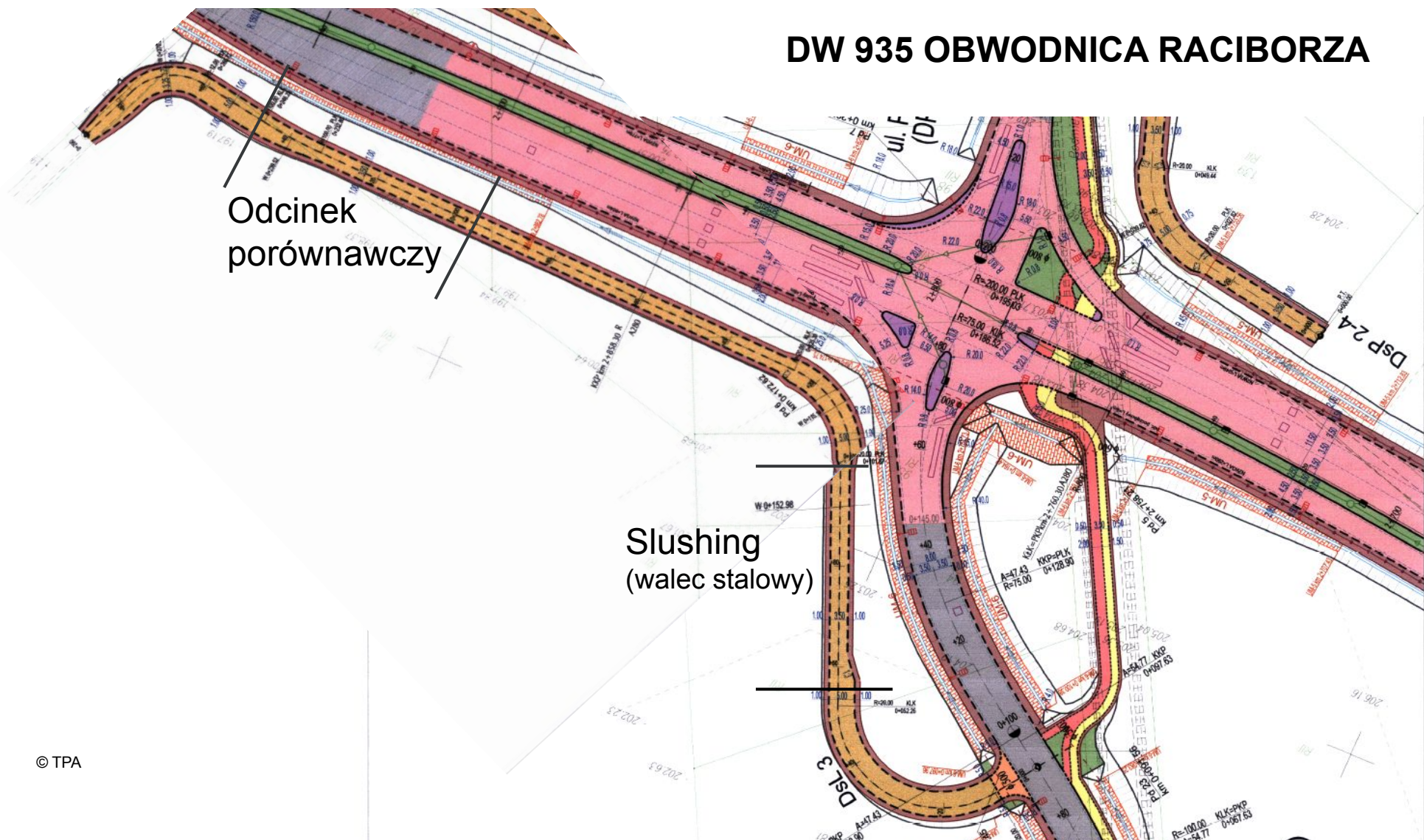


# PLAN SYTUACYJNY

## DW 935 OBWODNICA RACIBORZA

Odcinek porównawczy

Slushing  
(walec stalowy)



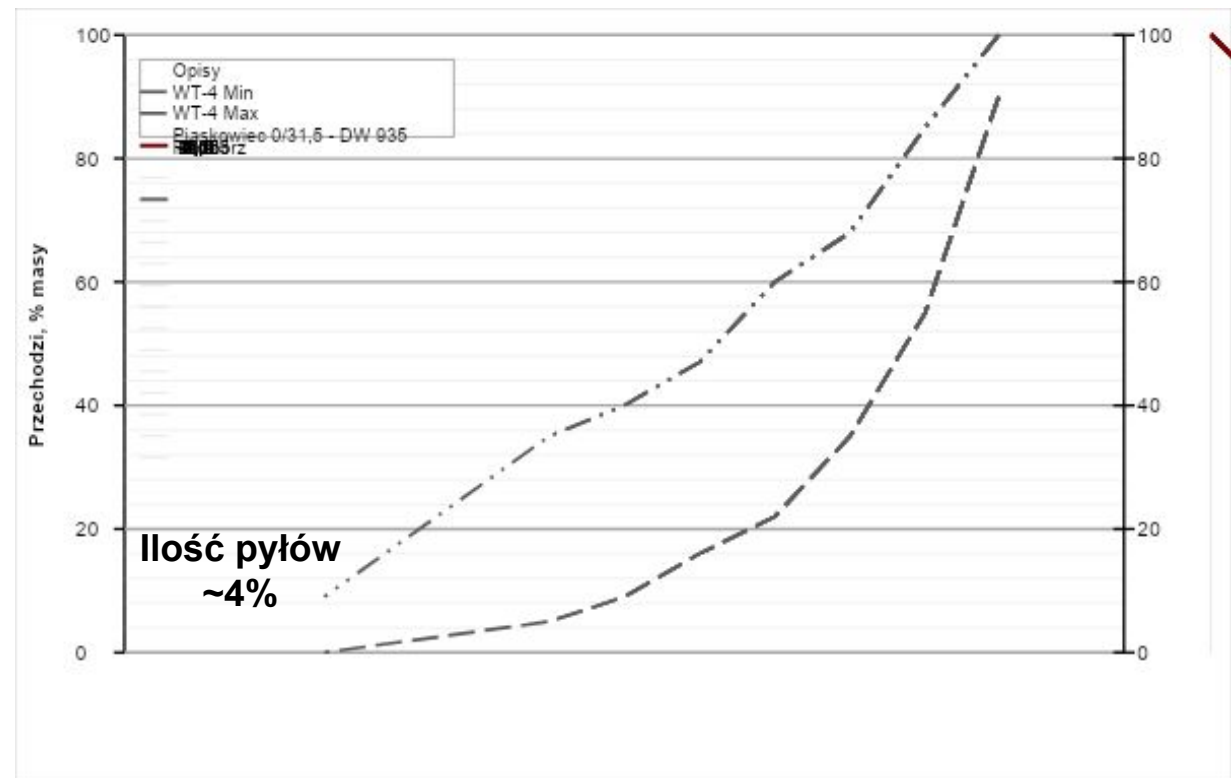
# II ODCINEK PRÓBNY - INFORMACJE

## KONSTRUKCJA

grubość	[cm]
KŁSM 0/31,5 Piaskowiec	20
KŁSM 0/63	30
warstwa ulepszanego podłoża stabilizowanego cementem	30
podłoże gruntowe	-

← Slushing

## UZIARNNIENIE KŁSM 0/31,5 Piaskowiec





# II ODCINEK PRÓBNY - ZAGĘSZCZANIE

ODCINEK PORÓWNAWCZY



SLUSHING



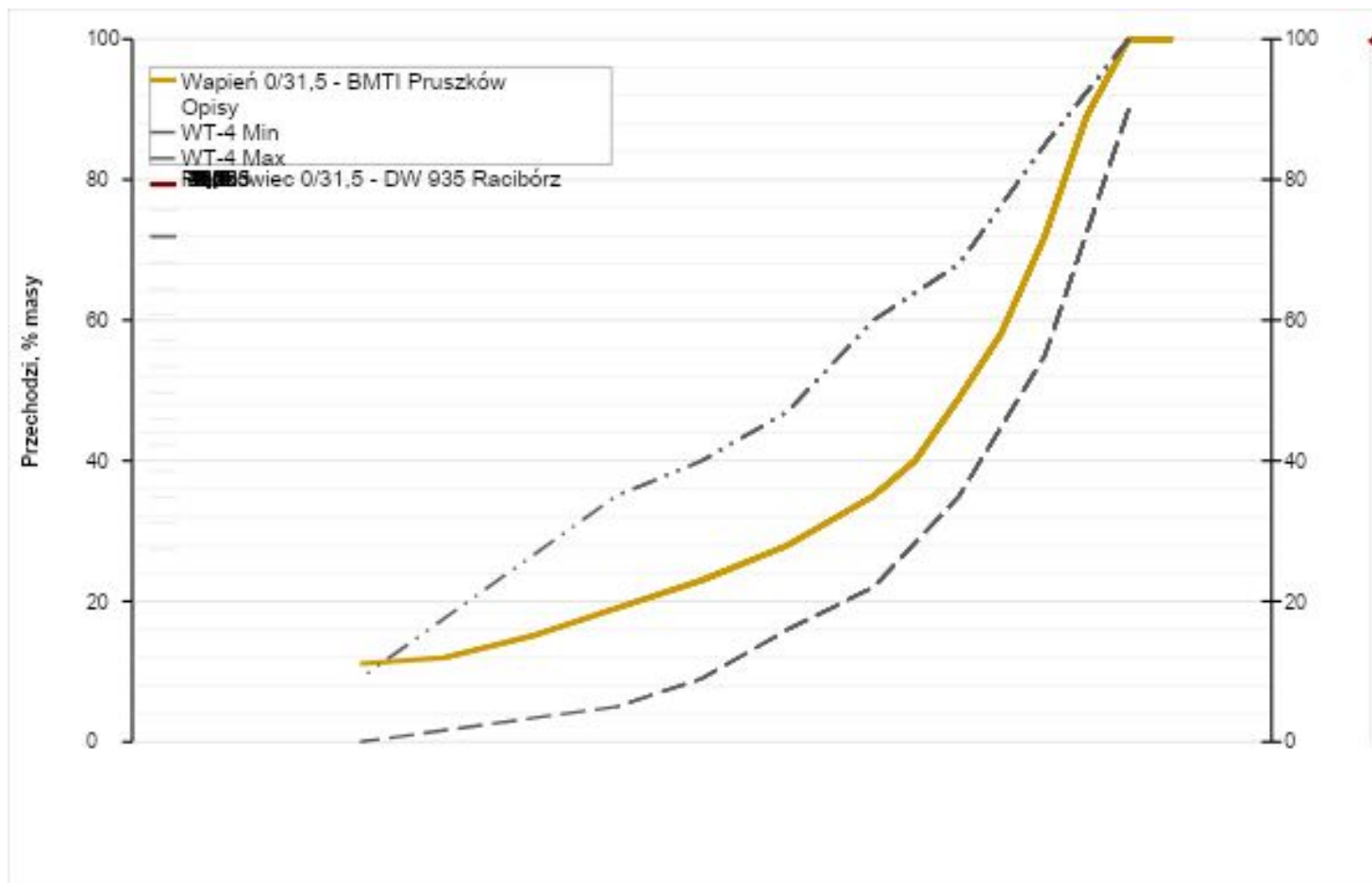


# II ODCINEK PRÓBNY – WIDOK PO SLUSHINGU I SZCZOTKOWANIU



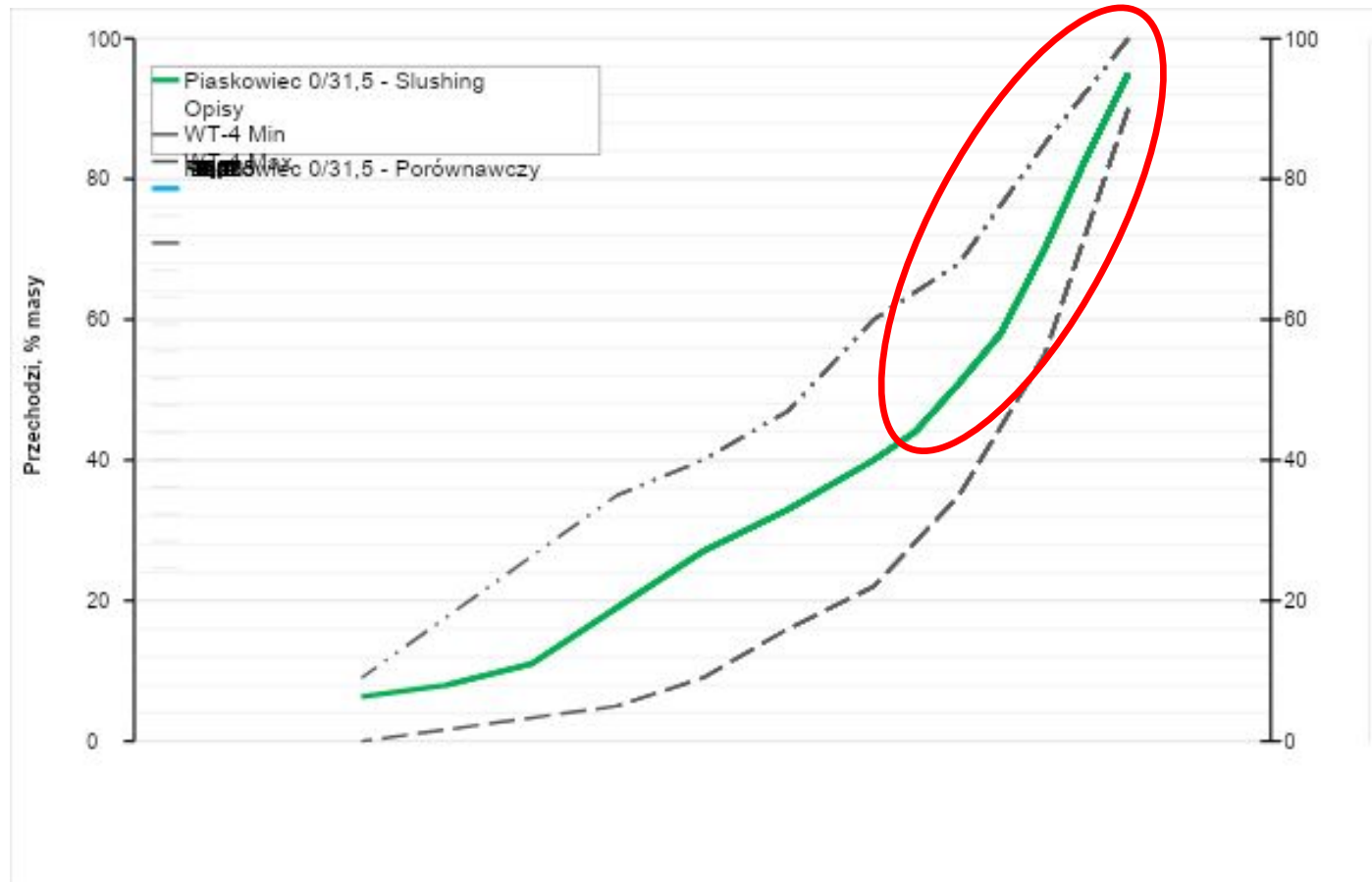
# WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH

# PORÓWNANIE UZIARNIENIA KRUSZYW 0/31,5



# UZIARNNIENIE KRUSZYWA PO ZAGĘSZCZENIU

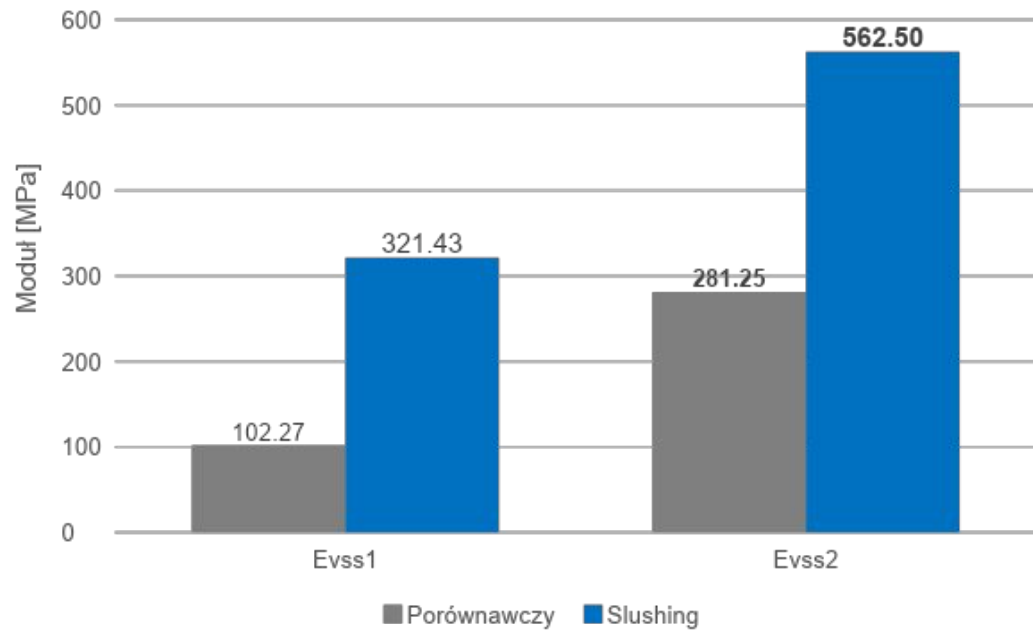
## PIASKOWIEC 0/31,5 - ZAGĘSZCZANIE TRADYCYJNE VS. SLUSHING



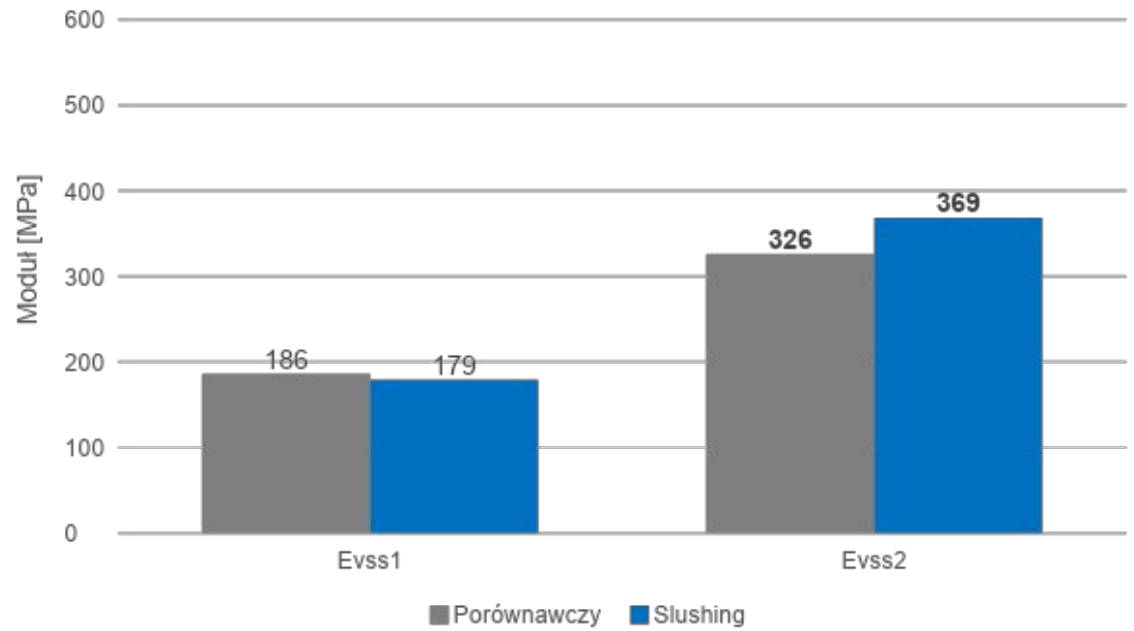
# NOŚNOŚĆ WARSTWY PODBUDOWY

## WYNIKI BADAŃ VSS

### Wapień 0/31,5 - Pruszków BMTI



### Piaskowiec 0/31,5 – DW 935 Racibórz





# PODSUMOWANIE I WNIOSKI

# PODSUMOWANIE

- PRZEDSTAWIONE WYNIKI POCHODZĄ Z BADAŃ NA ZALEDWIE 2 ODCINKACH DOŚWIADCZALNYCH I TYLKO 2 RODZAJACH KRUSZYW (WAPIEŃ I PIASKOWIEC). OSTATECZNE POTWIERDZENIE SKUTECZNOŚCI METODY ORAZ OKREŚLENIE WYMAGAŃ ODNOŚNIE MATERIAŁÓW I WARSTW WYMAGA SPRAWDZENIA NA WIĘKSZEJ ILOŚCI DOSTĘPNYCH W POLSCE MATERIAŁÓW
- POZIOM SKUTECZNOŚCI ZAGĘSZCZANIA METODĄ SLUSHINGU WYMAGA KAŻDORAZOWO SPRAWDZENIA I POTWIERDZENIA DLA DANEGO RODZAJU SKAŁY I POCHODZENIA KRUSZYWA JAK RÓWNIEŻ KONKRETNEJ LOKALIZACJI BUDOWY
- METODA SLUSHINGU MA RÓWNIEŻ WYMIAR EKOLOGICZNY I EKONOMICZNY PONIEWAŻ MOŻE DAWAĆ MOŻLIWOŚĆ WIĘKSZEGO WYKORZYSTANIA KRUSZYW LOKALNYCH CZASAMI O NIECO GORSZYCH PARAMETRACH

# WNIOSKI Z WYKONANYCH EKSPERYMENTÓW

- **PRAWDŁOWO WYKONANY SLUSHING NA WARSTWIE Z ODPOWIEDNIO UZIARNIONYM KRUSZYWEM MOŻE POZWOLIĆ NA ZNACZĄCE POPRAWIENIE ZAGĘSZCZENIA, SZCZELNOŚCI ORAZ NOŚNOŚCI PODBUDOWY WYKONANEJ Z KŁSM 0/31,5 – NAWET 2-KROTNY WZROST MODUŁU WTÓRNEGO W BADANIU VSS**
- **RODZAJ SKAŁY ORAZ ILOŚĆ PYŁÓW W KRUSZYWIE MA DECYDUJĄCY WPŁYW NA EFEKTYWNOŚĆ SLUSHINGU – ODPOWIEDNIA ILOŚĆ PYŁÓW JEST NIEZBĘDNA ABY POWSTAŁ SZLAM**
- **OPTYMALNY SPOSÓB ZAGĘSZCZANIA PODCZAS SLUSHINGU, ZAGĘSZCZANIE STATYCZNE BEZ WIBRACJI, POZWALA UNIKNAĆ KRUSZENIA I MIAŻDŻENIA GRUBSZYCH FRAKCJI KRUSZYWA ORAZ WZROSTU ILOŚCI PYŁÓW W SZKIELECIE**
- **KOŃCOWY ETAP TECHNOLOGII CZYLI DOGĘSZCZENIE PO WYSCHNIĘCIU I SZCZOTKOWANIE POZWALA OSIĄGNĄĆ EFEKT ODKRYTEGO KRUSZYWA A PRZEZ TO BRAK „KOŻUCHA” Z PYŁÓW I EMULSJI NA POWIERZCHNI PO WYKONANIU SPRYSKU EMULSJĄ ORAZ FINALNIE LEPSZE ZAZĘBIENIE Z WYŻEJ LEŻĄCĄ WARSTWĄ MMA**
- **ZALEWAJĄC WARSTWĘ PODBUDOWY Z KRUSZYWA PODCZAS SLUSHINGU NIE DOPROWADZAMY DO PRZEWILGOCENIA NIŻEJ LEŻĄCYCH WARSTW PRZEDE WSZYSTKIM PODŁOŻA GRUNTOWEGO**

© TPA **PEŁNE WYKORZYSTANIE MOŻLIWOŚCI JAKIE DAJE TECHNOLOGIA SLUSHINGU MOŻE WYMAGAĆ ZMIANY W PRZEPISACH**  **ODNOŚNIE METOD BADAWCZYCH I WYMAGAŃ DLA TEGO RODZAJU MATERIAŁÓW**

# DBAMY O ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ!

EFEKTYWNE ZAGĘSZCZANIE PODBUDÓW Z  
KŁSM METODĄ „SLUSHINGU”

[aleksander.zborowski@tpaqi.com](mailto:aleksander.zborowski@tpaqi.com)

