

**Wzmocnienie podłoża
jako jeden ze sposobów
zwiększenia trwałości zmęczeniowej
nawierzchni bitumicznej**

**Zbigniew Tabor
Zarząd Dróg Wojewódzkich
w Katowicach**

Lublin, 28 listopada 2018

Trwałość zmęczeniowa dróg

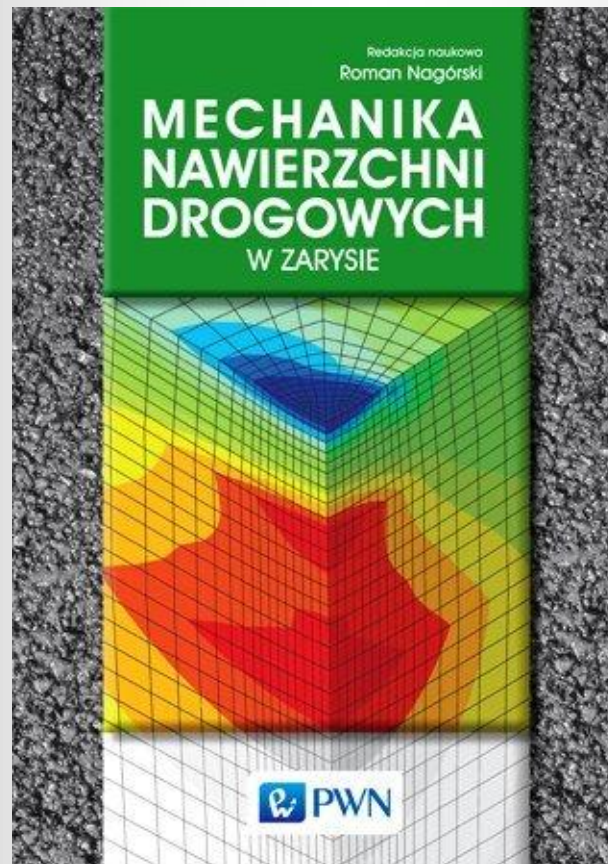
W budownictwie drogowym istnieją dwa sprzeczne ze sobą oczekiwania:

- zwiększenie trwałości nawierzchni drogowych,
- zmniejszenie kosztów budowy albo przebudowy dróg.

W konstrukcji nawierzchni podatnej najbardziej kosztowne są warstwy bitumiczne.

Od dawna w celu obniżenia kosztów zmniejsza się grubości pakietu bitumicznego. Samo jednak zmniejszenie grubości wpływa negatywnie na trwałość zmęczeniową konstrukcji.

Sposób pracy nawierzchni drogowej jest bardzo skomplikowany. Został opisany przez prof. Romana Nagórskiego w książce „Mechanika nawierzchni drogowych w zarysie”



Pewnym ułatwieniem są wzory empiryczne określenia trwałości zmęczeniowej.

Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych wg:

- Instytutu Asfaltowego

$$N_{asf} = 18,4 \cdot C \cdot (6,167 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_{xx}^{-3,291} \cdot |E_{MMA}|^{-0,854})$$

- Shella

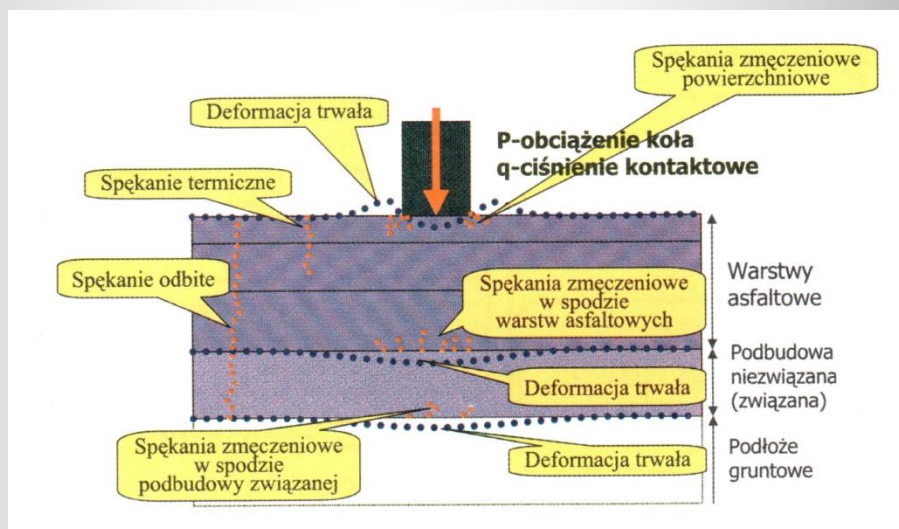
$$N_{asf} = \frac{[(0,856 \cdot V_b + 1,08) \cdot (E_{MMA})^{-0,36}]^5}{\varepsilon_{xx}}$$

Kryterium deformacji trwałych

$$N_k = \left(\frac{k}{\varepsilon_{zp}} \right)^{\frac{1}{m}}$$

Ze wzorów opisujących kryteria spękań wynika, że w celu zwiększenia trwałości zmęczeniowej należy zmniejszyć odkształcenia rozciągające na spodzie warstw bitumicznych. Można to zrobić zwiększając grubość nawierzchni lub zwiększając moduł sztywności warstw asfaltowych.

Podobnie w przypadku kryterium deformacji, zmniejszenie odkształceń pionowych podłoża gruntowego zwiększa trwałość zmęczeniową nawierzchni.



Wzmocnienia podłoża

Jedną z metod wzmocniania podłoża jest jego stabilizacja, która ma za zadanie trwale zwiększyć nośność podłoża gruntowego.

Warstwy stabilizowanej nie zaliczamy do warstw konstrukcyjnych nawierzchni, jest to element robót ziemnych.

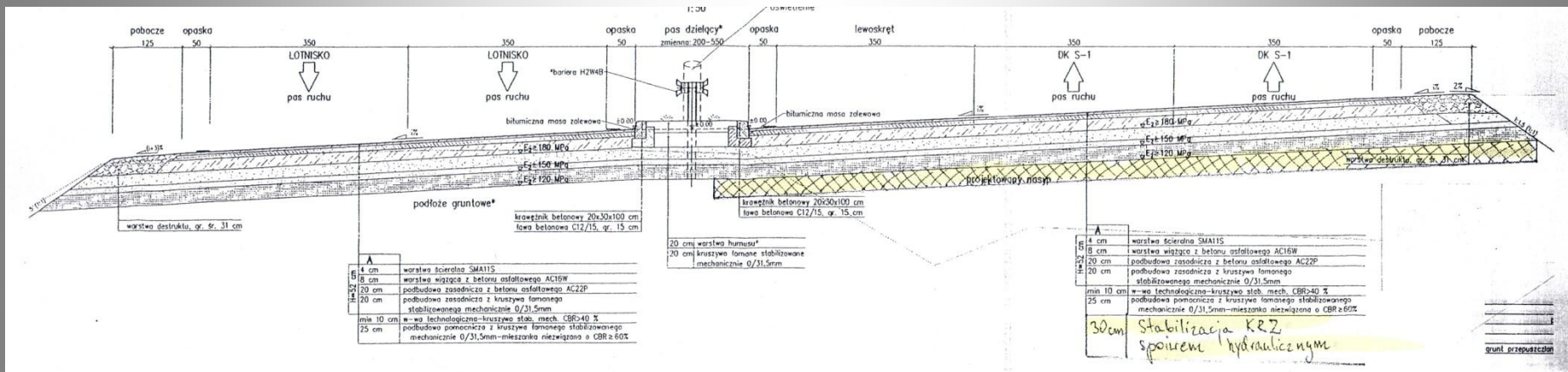
Zadaniem zastabilizowanego podłoża jest:

- właściwe wbudowanie i zagęszczenia wyżej leżących warstw konstrukcji nawierzchni,
- zwiększenia nośności gruntu rodzimego w czasie budowy i w czasie eksploatacji nawierzchni,
- zwiększenia odporności nawierzchni na powstawanie wysadzin.

Budowa odcinka drogi DW 913 od drogi S1 do lotniska w Pyrzowicach

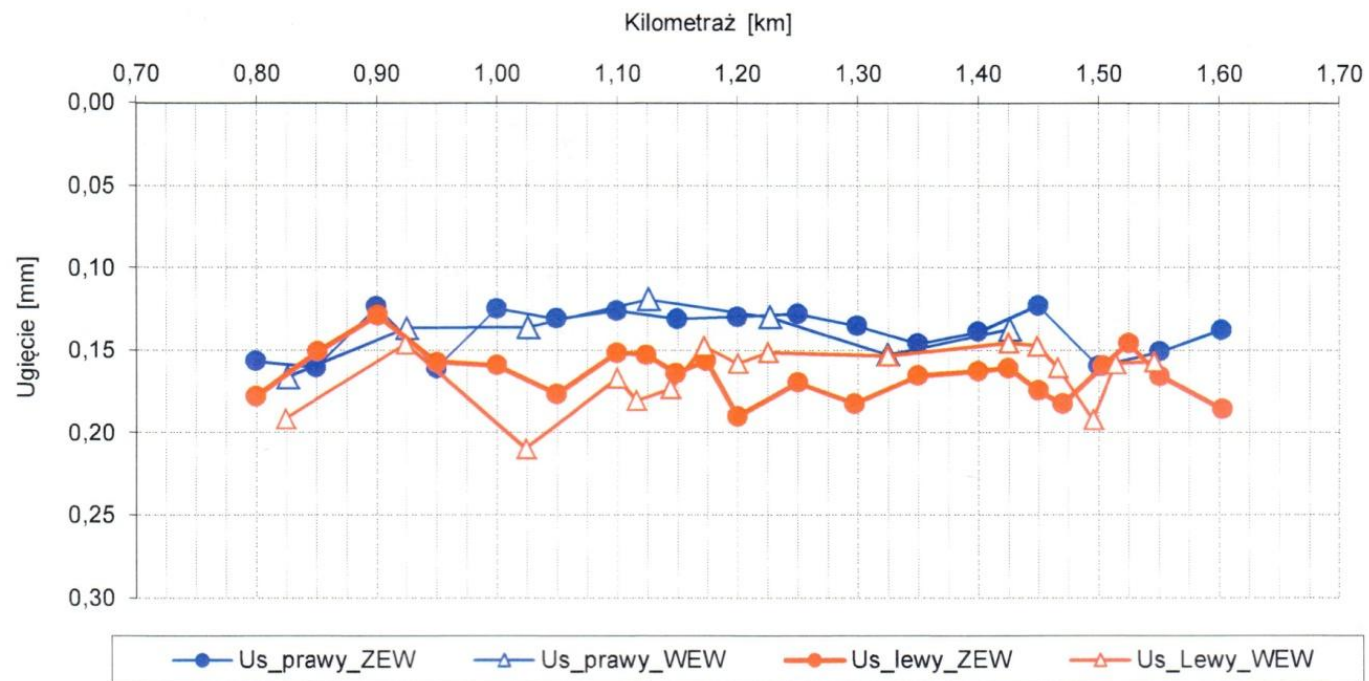
jezdnia lewa

jezdnia prawa



dodatkowa stabilizacja 30 cm

Porównanie rzeczywistych ugięć nawierzchni na jezdni lewej i prawej odcinka DW913 w Pyrzowicach



Porównanie trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni na jezdni lewej i prawej odcinka DW913 w Pyrzowicach

Tabela 5.4.2 Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni – droga DW913 jezdni prawa

Odkształcenia poziome na spodzie warstw MMA	Odkształcenia pionowe na powierzchni podłoża gruntowego	Obliczeniowa trwałość konstrukcji nawierzchni			Wymagana trwałość zmęczeniowa nawierzchni
		ze względu na spękania zmęczeniowe warstw asfaltowych	ze względu na deformacje strukturalne	Obliczeniowa trwałość zmęczeniowa konstrukcji	
ϵ_r $\mu\text{m/m}$	ϵ_p $\mu\text{m/m}$	N_f $\times 10^6$ [oś obl. 100 kN] /pas		N_f oś 100 kN/pas	N_f oś 100kN/pas/30lat
33,7	35,3	33,1	>> 33,1	33,1 mln	23,7 mln
Warunek spełniony					

Tabela 5.4.4 Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni – droga DW913 jezdni lewa

Odkształcenia poziome na spodzie warstw MMA	Odkształcenia pionowe na powierzchni podłoża gruntowego	Obliczeniowa trwałość konstrukcji nawierzchni			Wymagana trwałość zmęczeniowa nawierzchni
		ze względu na spękania zmęczeniowe warstw asfaltowych	ze względu na deformacje strukturalne	Obliczeniowa trwałość zmęczeniowa konstrukcji	
ϵ_r $\mu\text{m/m}$	ϵ_p $\mu\text{m/m}$	N_f $\times 10^6$ [oś obl. 100 kN] /pas		N_f oś 100 kN/pas	N_f oś 100kN/pas/30lat
39,0	56,4	23,94	>> 23,94	23,94 mln	23,7 mln
Warunek spełniony					

Na obszarze administracyjnym województwa śląskiego często występują pod istniejącymi drogami grunty gliniaste i pylaste, które są gruntami wysadzinowymi.

Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach od wielu lat z powodzeniem stosuje przy przebudowie dróg stabilizację takich gruntów cementem z dodatkiem środka jonowymiennego.



Podstawowym składnikiem środków jonowymiennych są zeolity oraz sole, głównie chlorki magnezu i wapnia, które wpływają na zdolności jonowymienne zeolitów.

Sole zostały tak dobrane, aby zlikwidować w mieszance wszelkie procesy, które powodują przyspieszony proces starzenia się wiązań cementu.



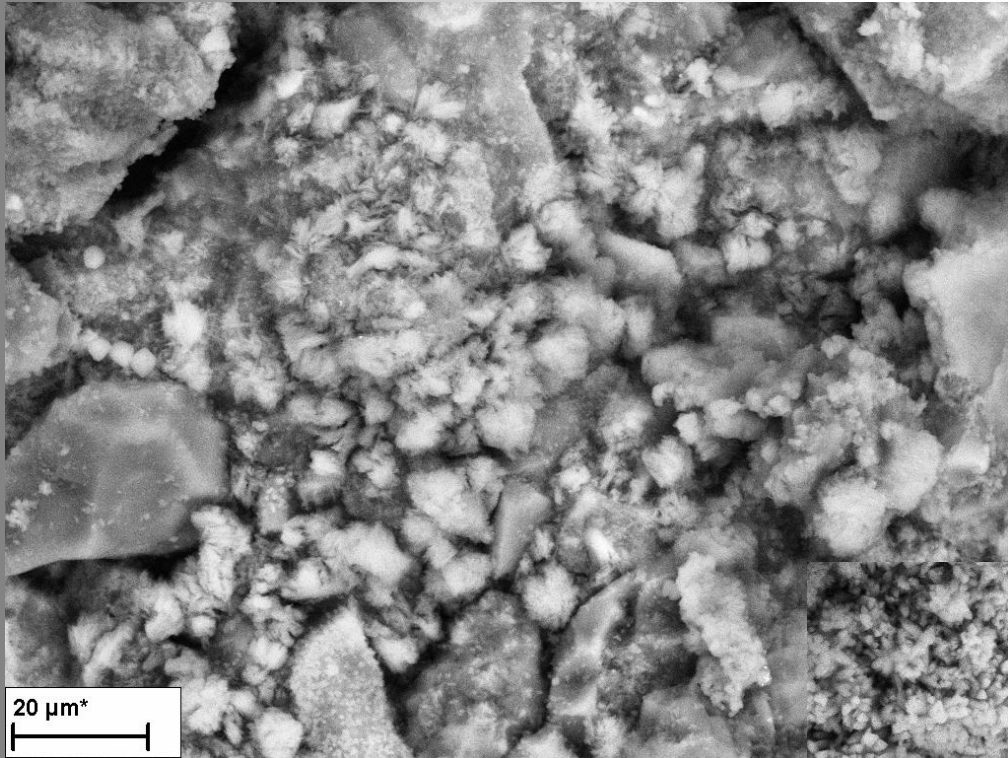
Dodatek jonowymienny, reaguje z jonami cementu aktywizując i wspomagając proces wymiany jonowej pomiędzy cząsteczkami stabilizowanego gruntu, cementem oraz innymi substancjami pomocniczymi będącymi składowymi preparatu.

Wymiana jonów powoduje wytworzenie się nowych, trudno rozpuszczalnych w wodzie związków, które wydzielają się w postaci bardzo drobnych kryształków. Kryształki te zrastają się w silne długoigłowe połączenia krystaliczne tzw. fazy CSH (calcium-silicate-hydrates), która odpowiada za wzrost wytrzymałości stabilizowanego gruntu.

Stały wzrost kryształów powoduje ciągłe wypełnianie się pustych przestrzeni w mieszance, a to wpływa na utrzymanie, a nawet poprawę parametrów (przy optymalnym doborze receptury) w okresie użytkowania konstrukcji.

Stabilizowane podłoże jest mrozoodporne przy jednoczesnym zagwarantowaniu, iż w stabilizowanej powierzchni prawie nie występują spękania.

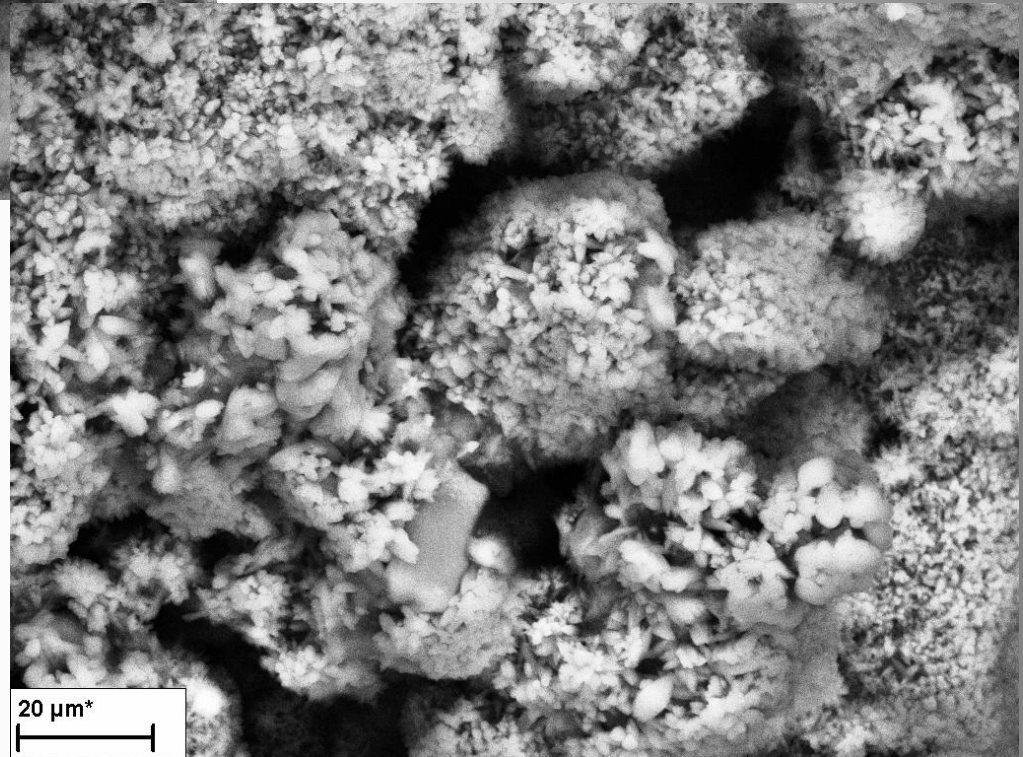
Powiększenie x 2000



↓ cement CEM I 32,5 + śr. jonowymienny

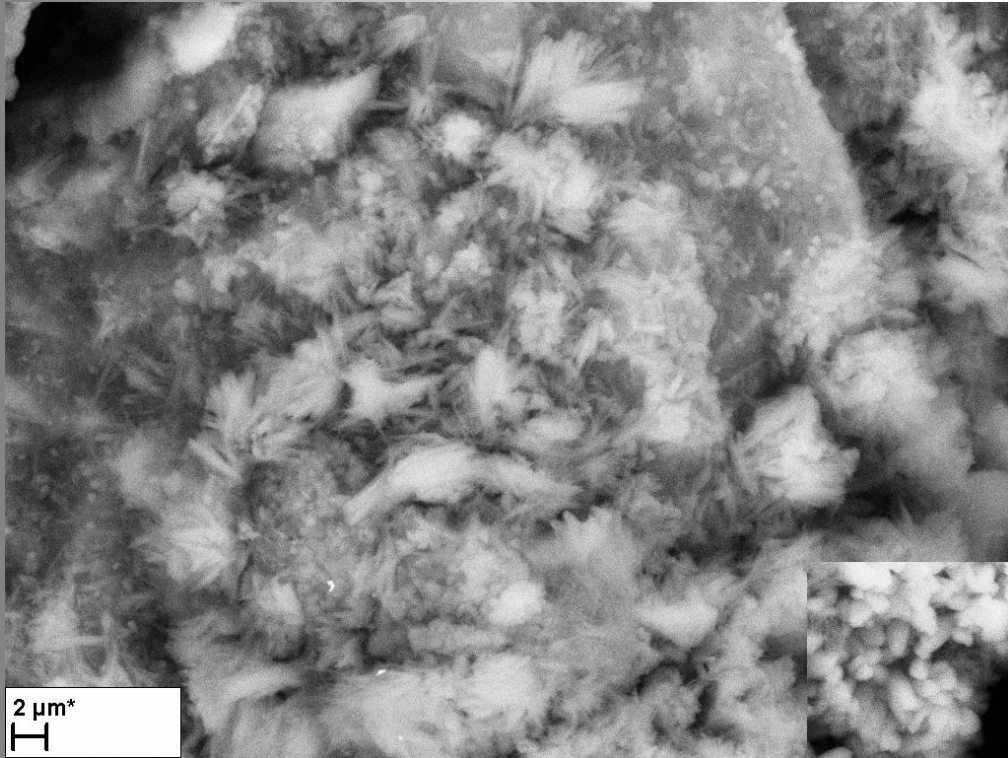
20 μm^*

↑ cement CEM I 32,5

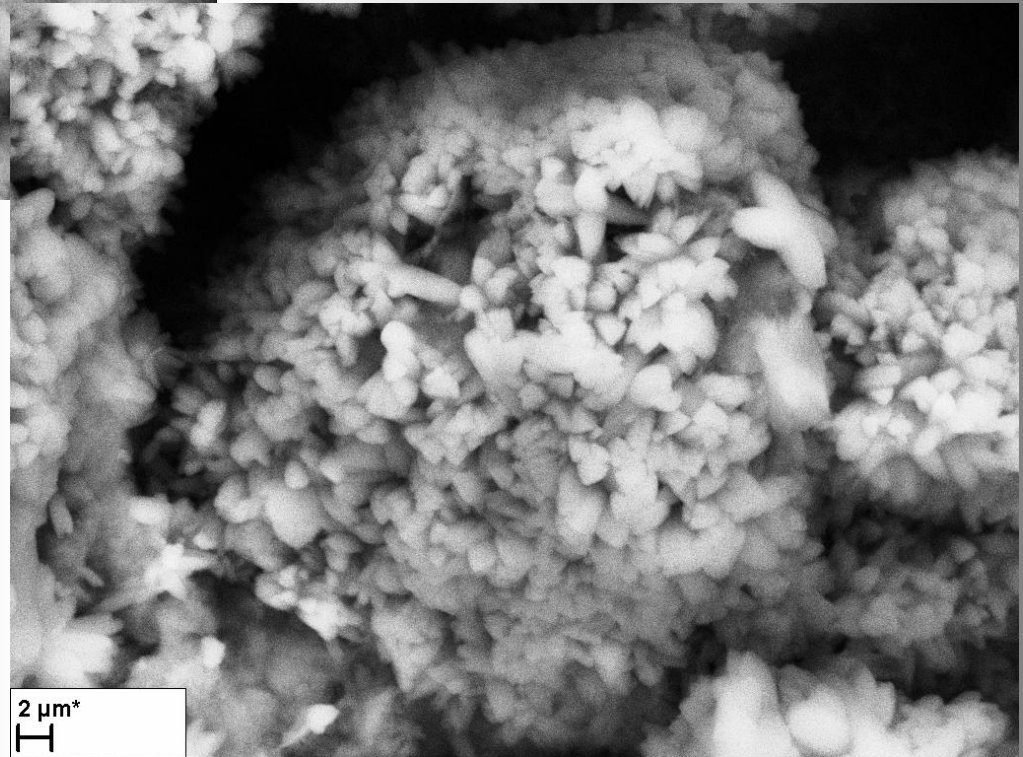


20 μm^*

Powiększenie x 5000



↓ cement CEM I 32,5 + śr. jonowymienny



2 μm*
┌└

↑ cement CEM I 32,5

2 μm*
┌└

Technologia stabilizacji podłoża gruntowego na przykładzie zniszczonego odcinka DW932 w Świerklanach



Rozbiórka odcinka DW932 w Świerklanach



Rozebrany odcinek DW932 w Świerklanach





Rozsypywanie cementu





Dozowanie środka jonowymiennego

Mieszanie gruntu z cementem
i środkiem jonowymiennym ↓



Zastabilizowana warstwa gruntu i zagęszczona przez walce





Rozkładanie i zagęszczanie
warstwy podbudowy pomocniczej



Pomiar VSS i wyznaczenie modułów odkształcenia E_1 oraz E_2



Oznaczenie: **VSS**

Zleceniodawca: DROG-BUD Sp. z o.o., Lubojenka, ul. Prosta 88/90

Nr labor.: Data i czas: 3 X 2013

Rodzaj materiału: KKK Badanie wykonał: Krawczyński

Budowa: Przebudowa DW 932 (ul. Wodzisławska) w Świerkianach

Objekt: ul. Wodzisławska

Miejsce próbki (Km): (0+428) pas prawy, 2m od krawędzi

Warstwa: kruszywo stromeńskie pół MKH

Średnica deski: 300 mm Pogoda: Złotocenie MC

E_1 : 160,7 E_2 : 281,3 E_2/E_1 : 1,8

Punkt	Faza próby	Napięcie kontaktowe [MPa]	Odształcenia [mm]	Czas ustalenia [s]	
1	I. CYKL OBCIĄŻENIA	0,00	0,00	120	
2		0,05	0,08		
3		0,10	0,15		
4		0,15	0,22		
5		0,20	0,28		
6		0,25	0,32		
7		0,30	0,36		
8		0,35	0,38		
9		0,40	0,44		
10		0,45	0,48		
11	ODSZTAŁCENIE	0,35	0,47		
12		0,25	0,46		
13		0,15	0,43		
14		0,05	0,38		
15		0,00	0,31		
16		II. CYKL OBCIĄŻENIA	0,05		0,34
17			0,10		0,36
18			0,15		0,38
19	0,20		0,40		
20	0,25		0,43		
21	0,30		0,46		
22	0,35		0,47		
23	0,40		0,49		
24	0,45	0,53			

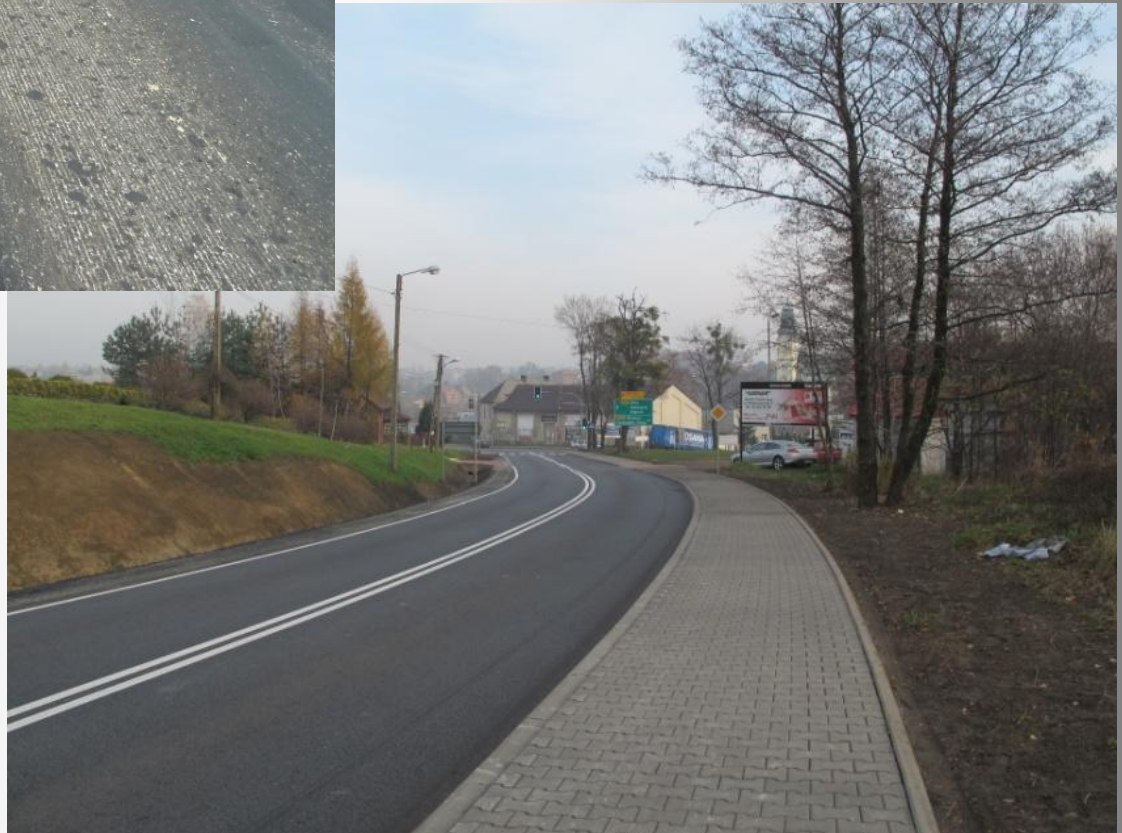
Notatka:

NIEVELT-Labor Polska Sp. z o.o.



Porównanie przed
przebudową

i po przebudowie



**Ocena skuteczności stabilizacji
cementem ze środkiem jonowymiennym
na przykładzie DW932 i DW408.**

Przebudowa drogi DW932

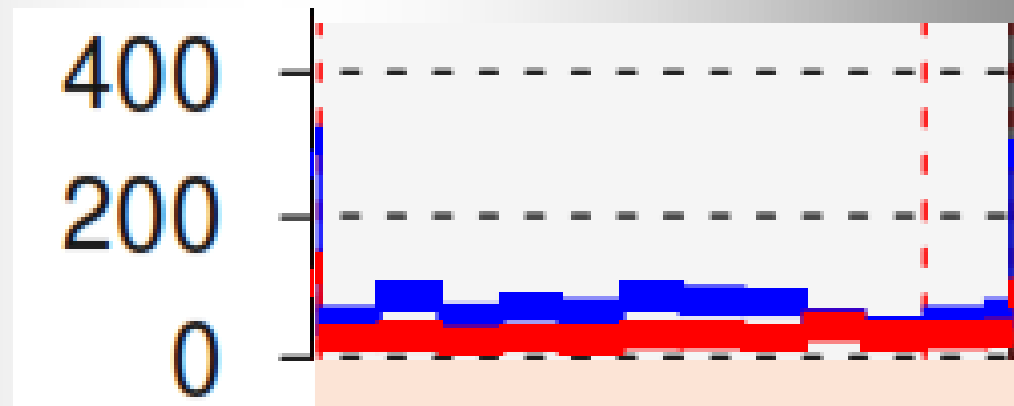
Po przebudowie drogi DW932 w 2013 roku zmierzone ugięcia nawierzchni wynosiły 50-100 μm .

Po trzech latach eksploatacji ponownie dokonano pomiarów ugięć:

Ugięcie maksymalne (TSD)

2016

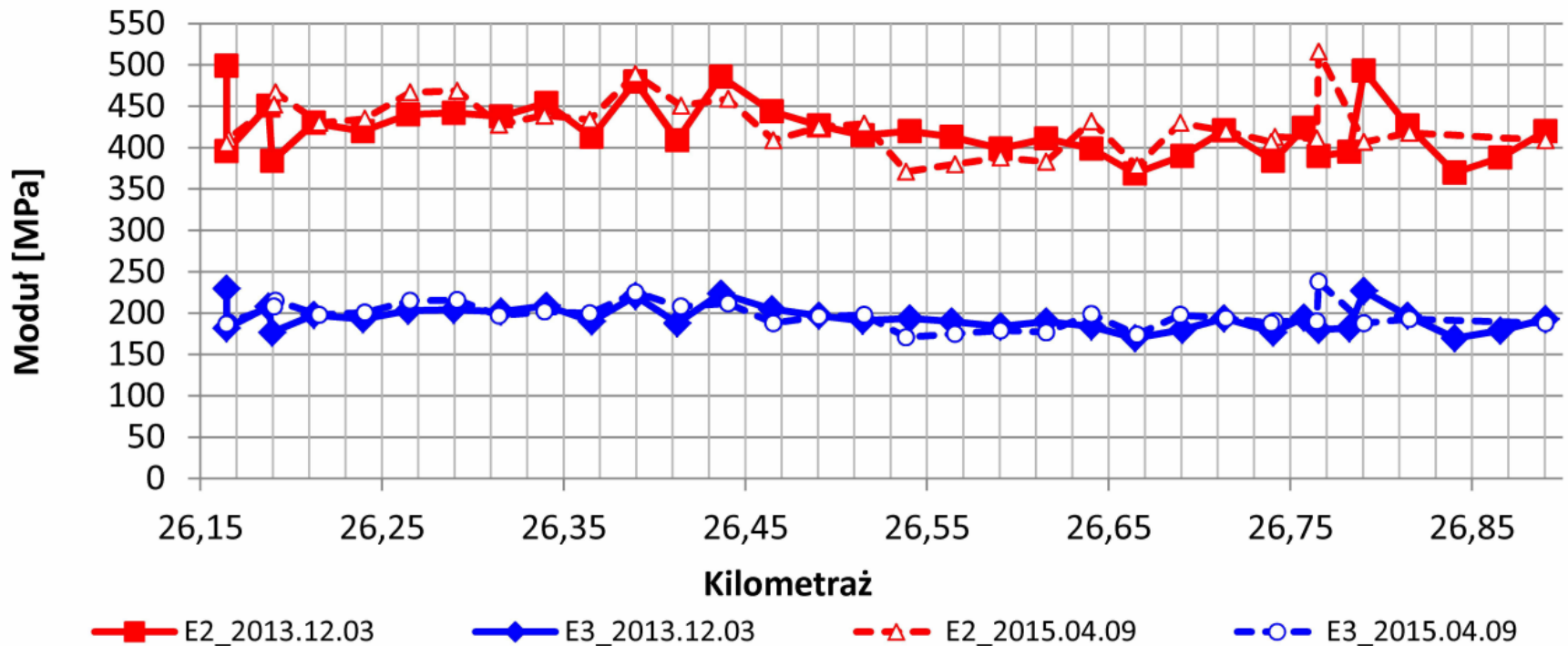
Wartość średnia ugięcia maksymalnego ■
Wartość średnia krzywizny ugięcia ■



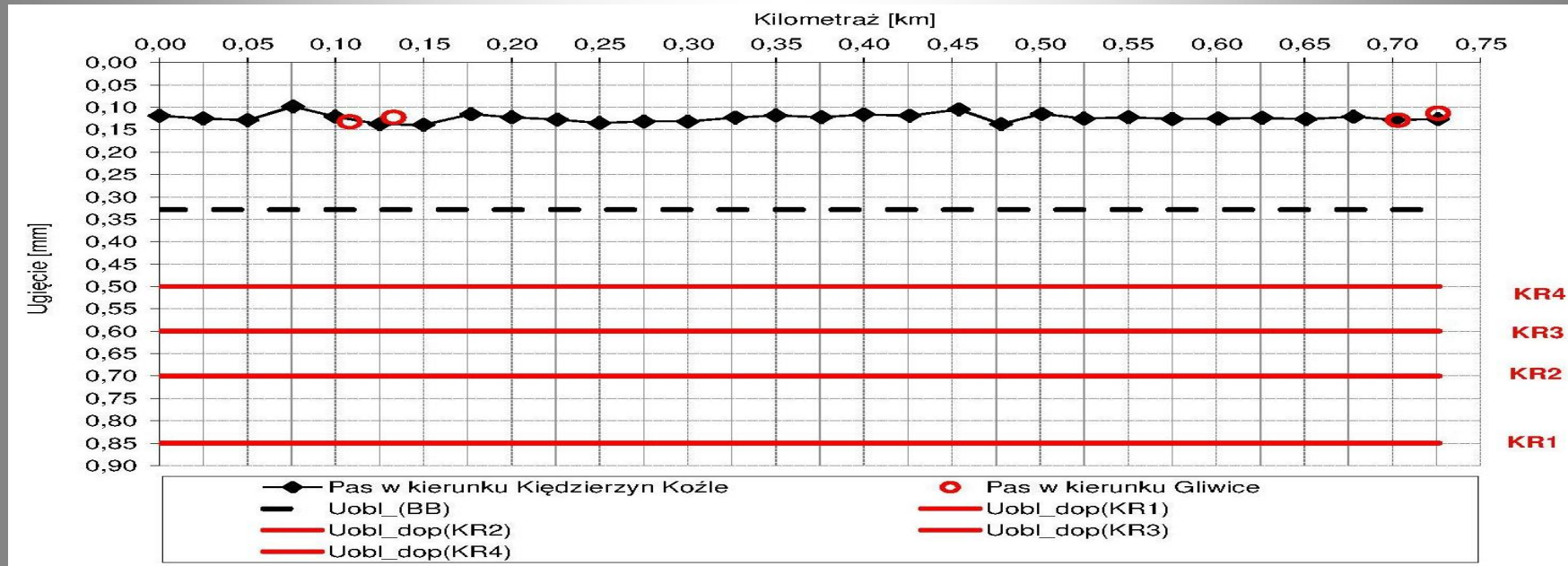
Przebudowa drogi DW408

Porównanie modułów sztywności podbudowy pomocniczej E_2 oraz stabilizowanego gruntu E_3 .

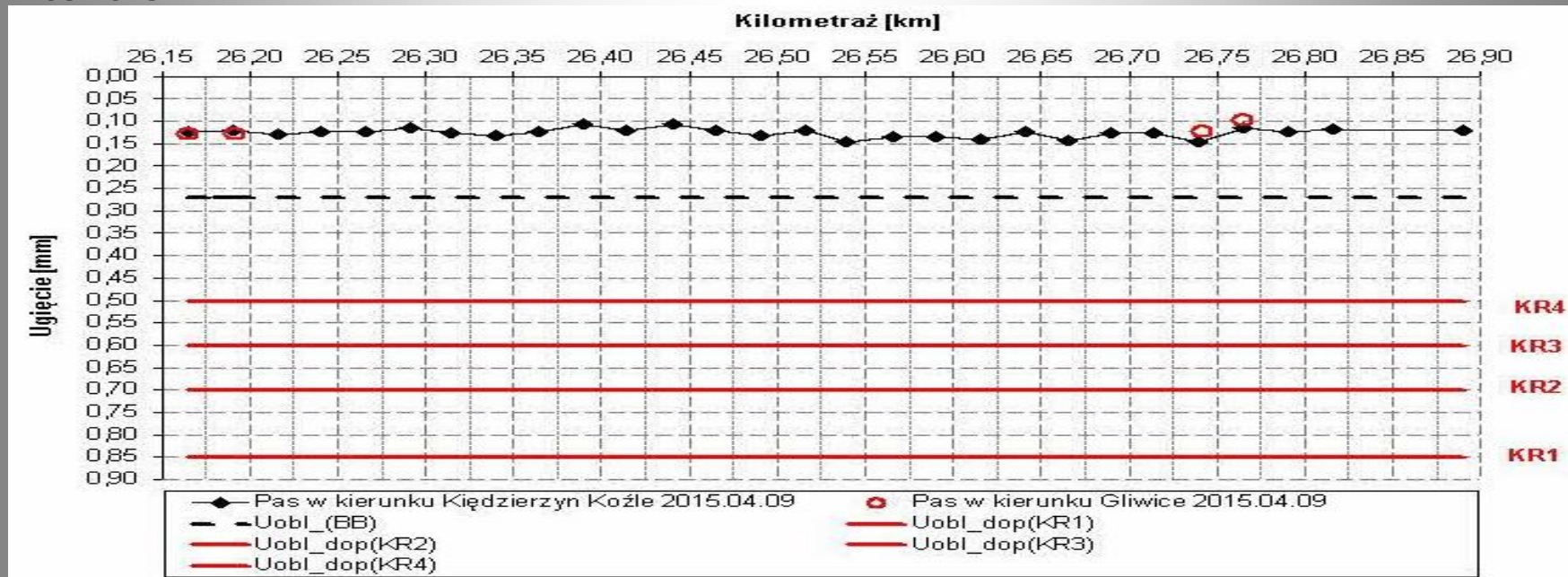
Pomiary wykonano w roku 2013 i 2015.



DW408 2013



DW408 2015



Podsumowanie

Stabilizacja gruntów wysadzinowych cementem z dodatkiem środka jonowymiennego wykazuje następujące zalety:

- możliwość stabilizacji gruntów, których zawartość frakcji pylastych przekracza 20%,
- skrócenie czasu prowadzonych prac; po 48 godzinach pielęgnacji można kontynuować dalsze prace,
- brak konieczności wymiany gruntów słabonośnych oraz wysadzinowych,
- **uzyskanie wysokich parametrów nośności**, wytrzymałości na ścislenie oraz powstanie warstwy mrozoodpornej,
- **wzrost trwałości zmęczeniowej nawierzchni bitumicznej przez zmniejszenie odkształceń spodu warstw asfaltowych.**



Dziękuję Państwu za uwagę

Zbigniew Tabor

Lublin, 28 listopada 2018