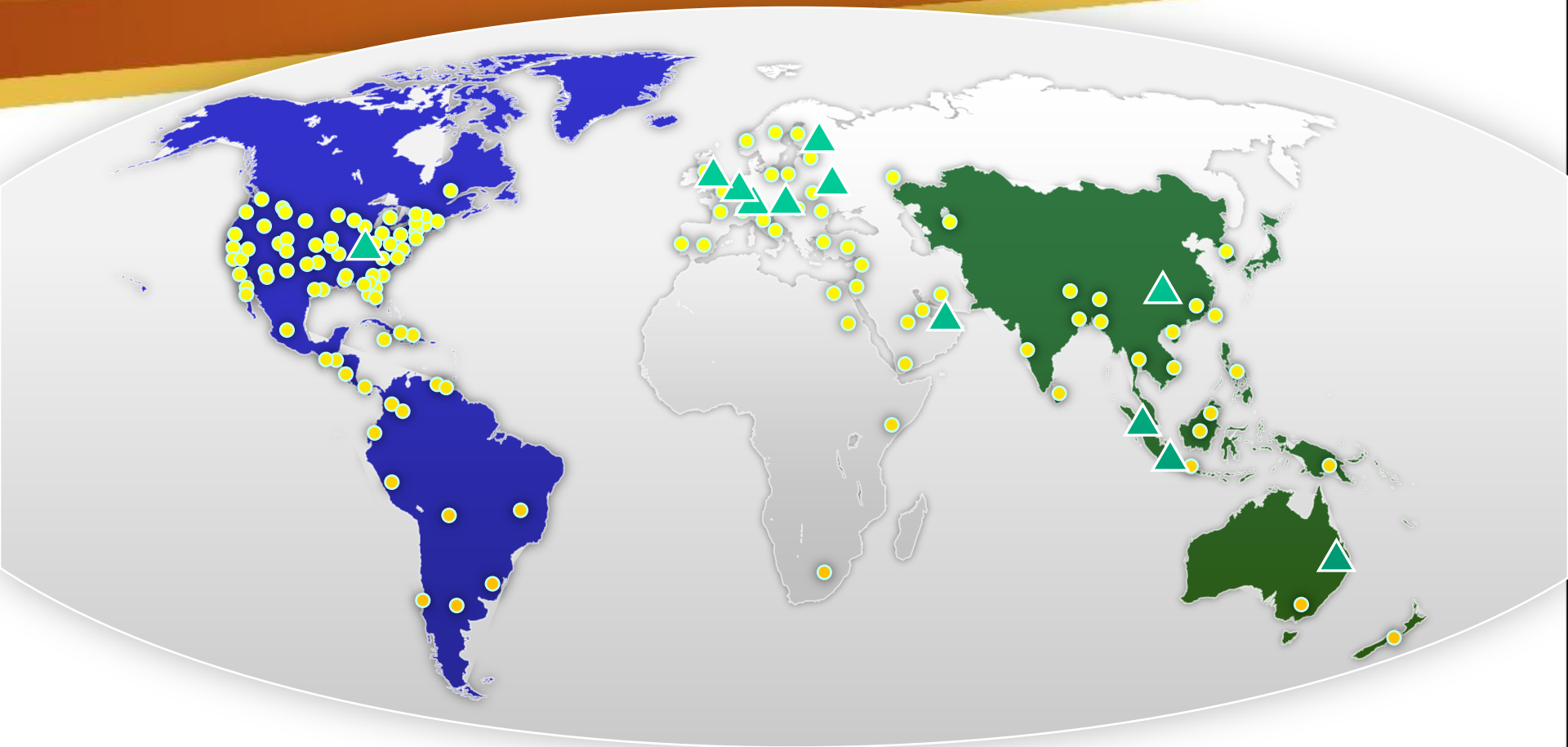


**Redukcja grubości i wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni dzięki stabilizacji podbudowy georusztem trójosiowym**

**mgr inż. Piotr  
Mazurowski**

Menadżer ds. Technologii Optymalizacji Nawierzchni



600+ pracowników

30+ lat doświadczenia

# Czym się zajmujemy?

Tensar®

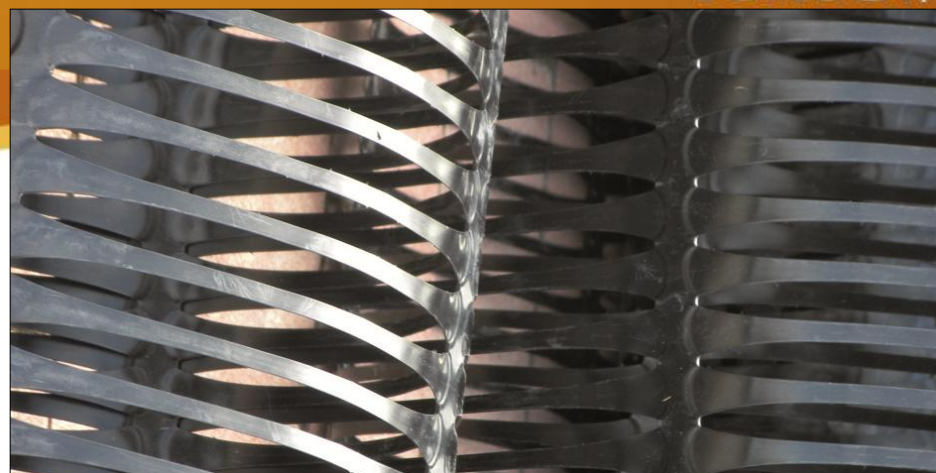


Georuszty do stabilizacji słabego podłoża,  
systemy gruntu zbrojonego oraz materiały  
do zbrojenia warstw asfaltowych

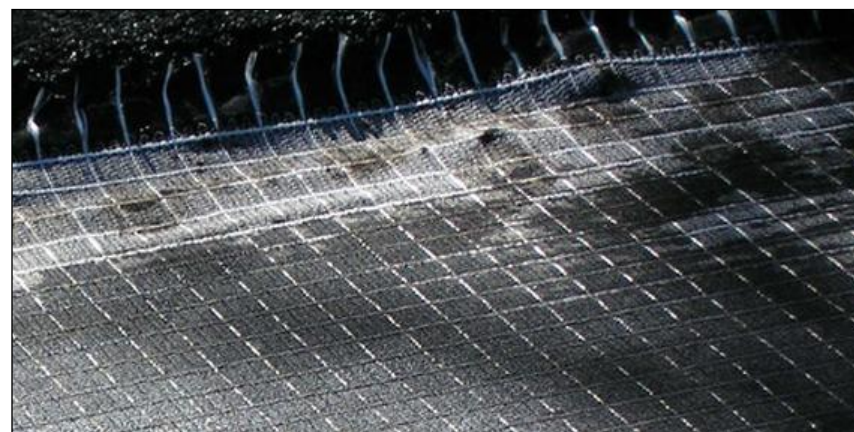




**Georuszty Tensar TriAx**



**Georuszty Tensar RE**



**Kompozyty do zbrojenia warstw asfaltowych**



**Tensar**

## Systemy ścian oporowych z gruntu zbrojonego



## Materac geokomórkowy Stratum







**Georuszty trójosiowe Tensar TriAx**

# Georuszty trójosiowe w konstrukcji nawierzchni

**Georuszty trójosiowe Tensar TriAx** są stosowane w budownictwie drogowym od ponad 10 lat.

Dotychczas stosowane były przede wszystkim w warstwach ulepszanego podłoża konstrukcji wykonywanych na gruncie o niskiej nośności









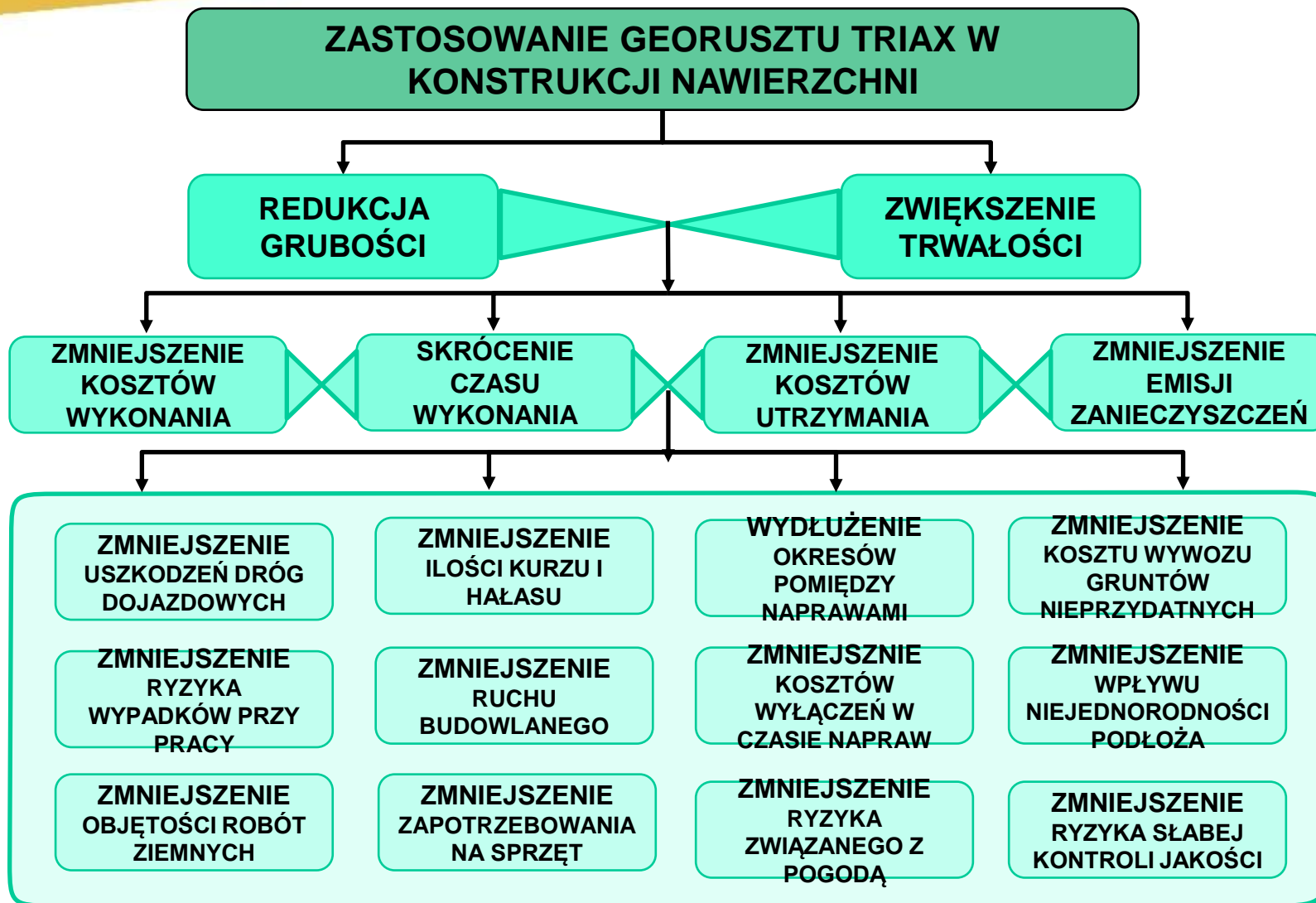


## Optymalizacja konstrukcji nawierzchni

to wykorzystanie warstw kruszywa stabilizowanego georusztem w celu zredukowania grubości konstrukcji (w tym warstw asfaltowych) przy zachowaniu wymaganej trwałości.

Alternatywnie: zwiększenie trwałości konstrukcji przy zachowaniu jej grubości lub kombinacja obu efektów.

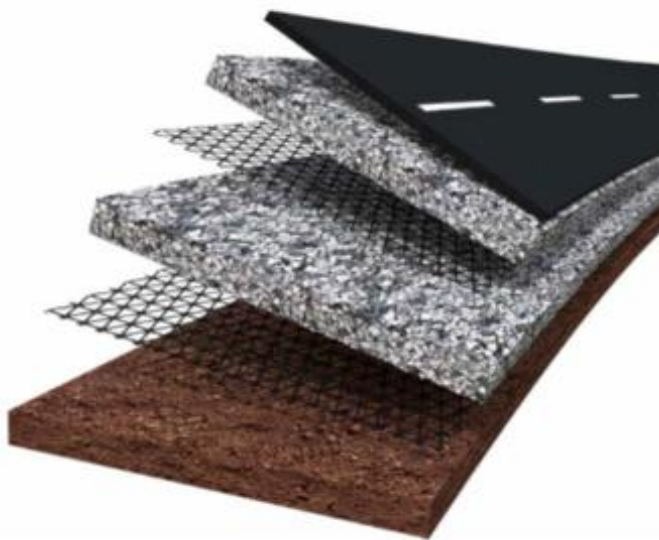






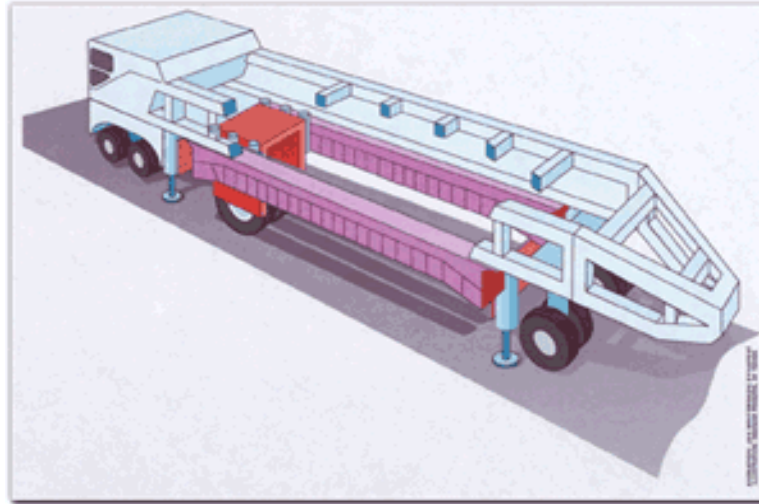
# Optymalizacja konstrukcji nawierzchni

Optymalizacja nawierzchni jest możliwa zarówno dla konstrukcji wykonywanych na słabym podłożu, jak i dla konstrukcji wykonywanych na nośnym podłożu



# Program badawczy USACOE - badania HVS w pełnej skali

USACOE – United States Army Corps Of Engineers



## CEL

- Uzyskanie danych z testu w pełnej skali dla georusztów TriAx do wykorzystania w projektowaniu nawierzchni zgodnie z AASHTO '93 i/lub metodami mechanistyczno-empirycznymi.
- Analiza uzyskanych wyników w połączeniu z wszystkim wcześniejszymi badaniami georusztów Tensar.
- Wykorzystanie bazy danych do potwierdzenia prawidłowości metody projektowej.



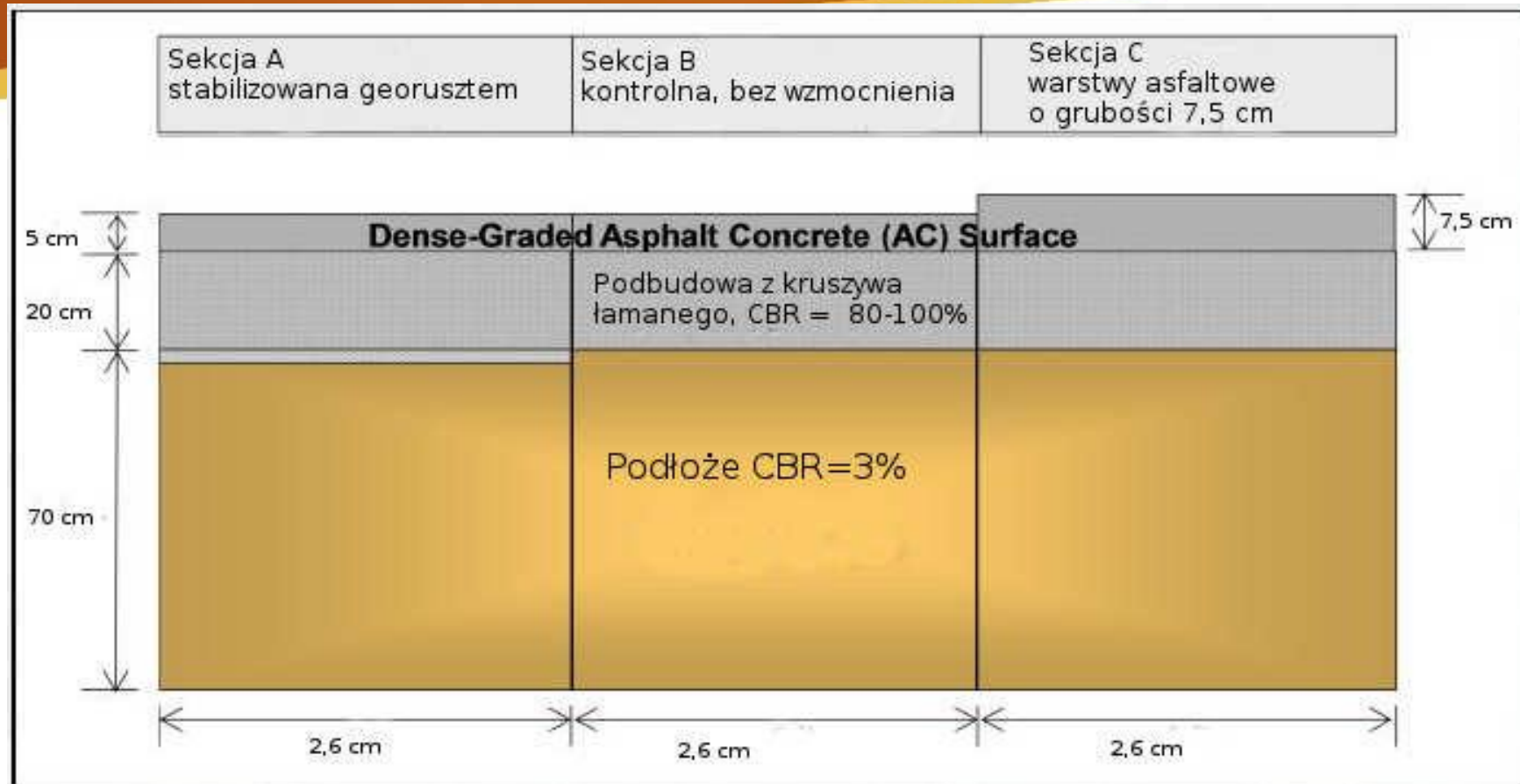
# Przyspieszony test w pełnej skali w USACOE (US Army Corps of Engineers)

Tensar



Accelerated Pavement Testing

# Przyspieszony test USACOE TX140, podłoże CBR 3%



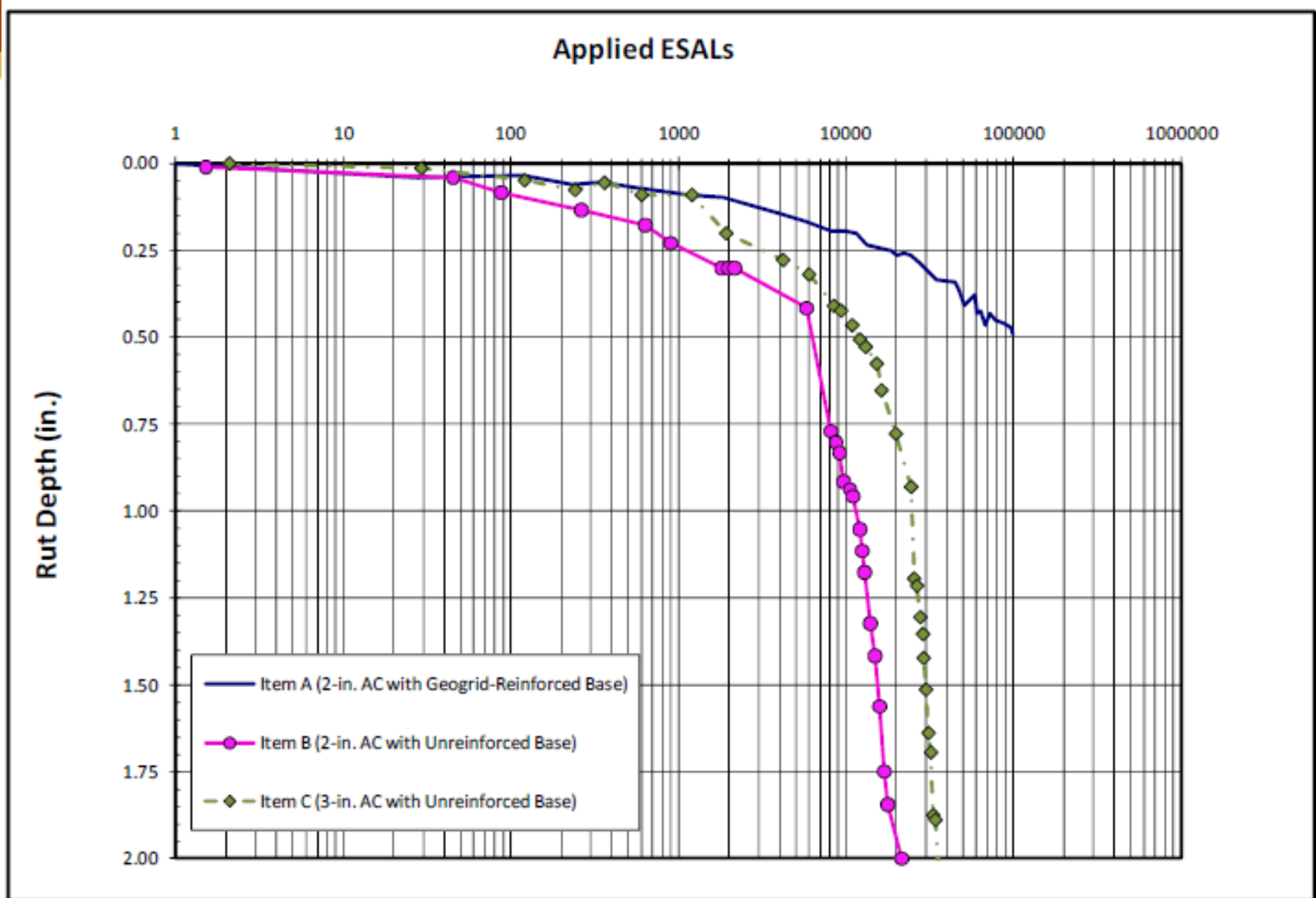
**Sekcja A:** warstwy asfaltowe: 5 cm + 20 cm podbudowy z kruszywa stabilizowanego georusztem

**Sekcja B:** warstwy asfaltowe: 5 cm + 20 cm podbudowy z kruszywa bez wzmocnienia

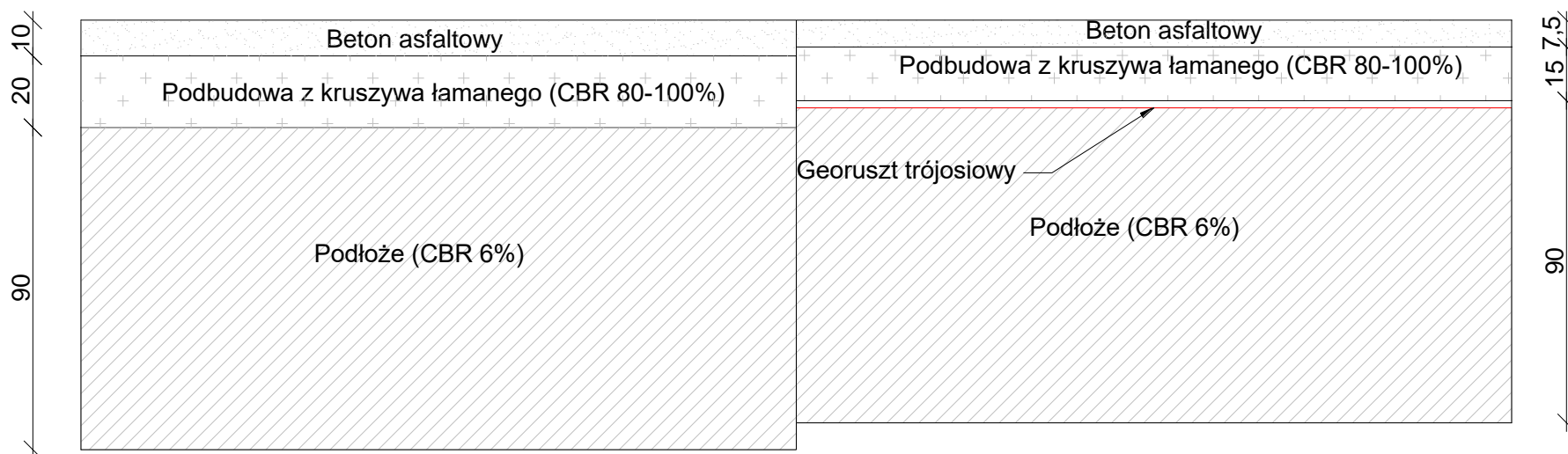
**Sekcja C:** warstwy asfaltowe: 7,5 cm + 20 cm podbudowy z kruszywa bez wzmocnienia



# Przyspieszony test USACOE TX140, podłoże CBR 3%



# Przyspieszony test USACOE, faza 3 podłoże CBR 6%

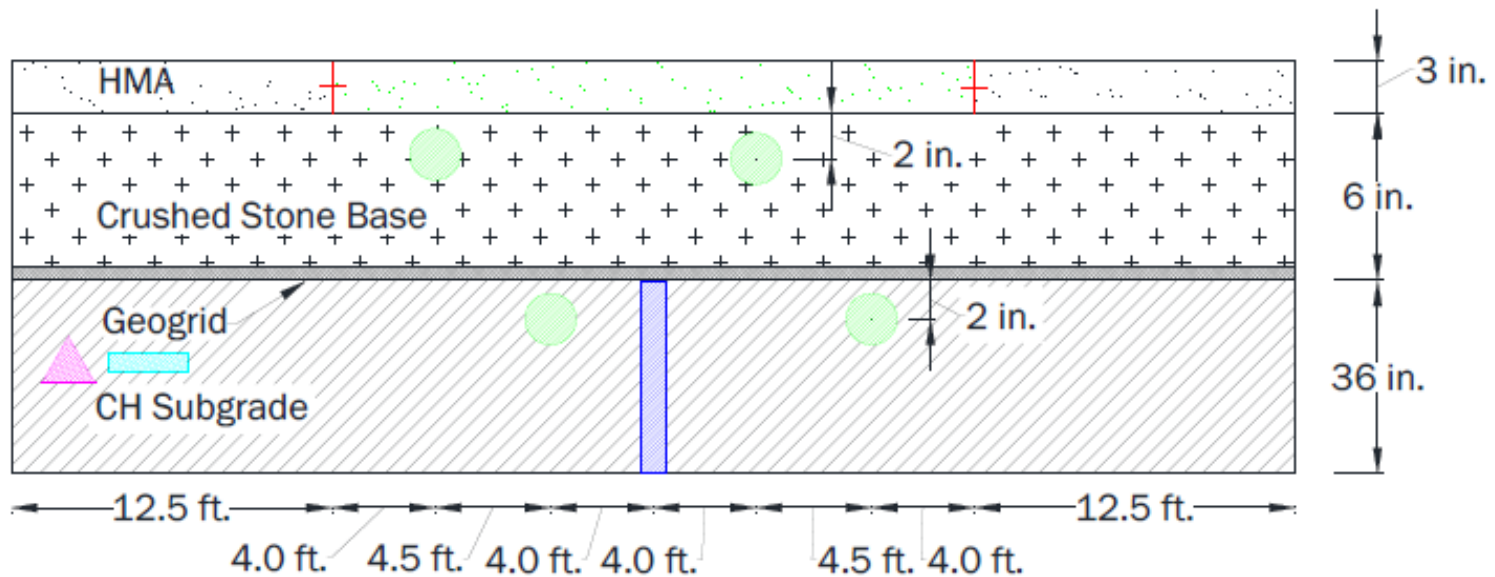







**Seksja 1 (unstabilized):** warstwy asfaltowe: 10 cm + 20 cm podbudowy z kruszywa łamanego bez wzmocnienia

**Seksja 2 i 3 (Item 1, Item 2):** warstwy asfaltowe: 7,5 cm + 15 cm podbudowy z kruszywa stabilizowanego georusztem (dwie odmiany georusztu TriAx)

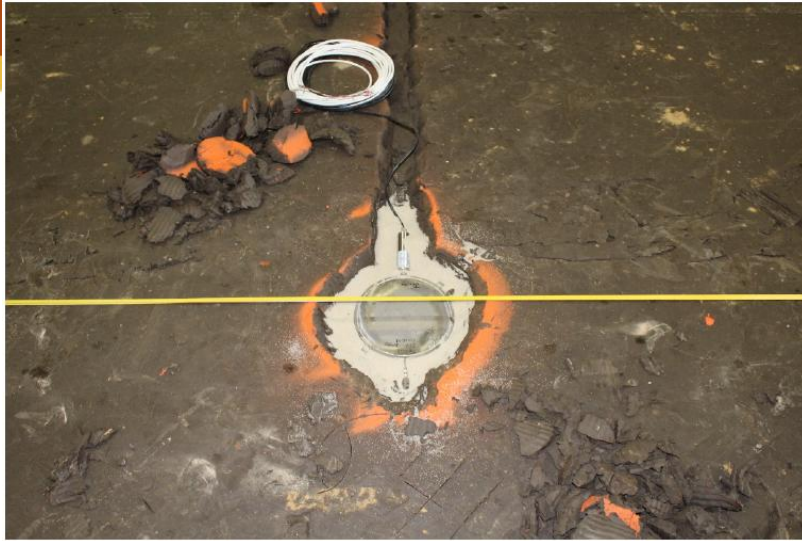
**800 000 przejeść osi standardowych**



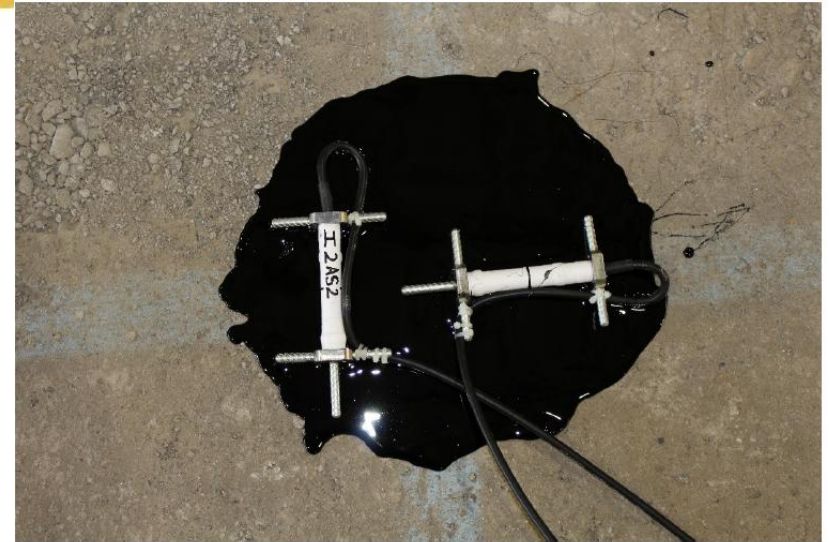


-  czujnik pomiaru naprężenia pionowego
-  czujnik ugięć
-  czujnik pomiaru odkształceń poziomych
-  czujnik wilgotności
-  czujnik pomiaru ciśnienia w porach i wilgotności

NOT TO SCALE



czujnik pomiaru naprężenia pionowego



czujniki pomiaru odkształceń poziomych

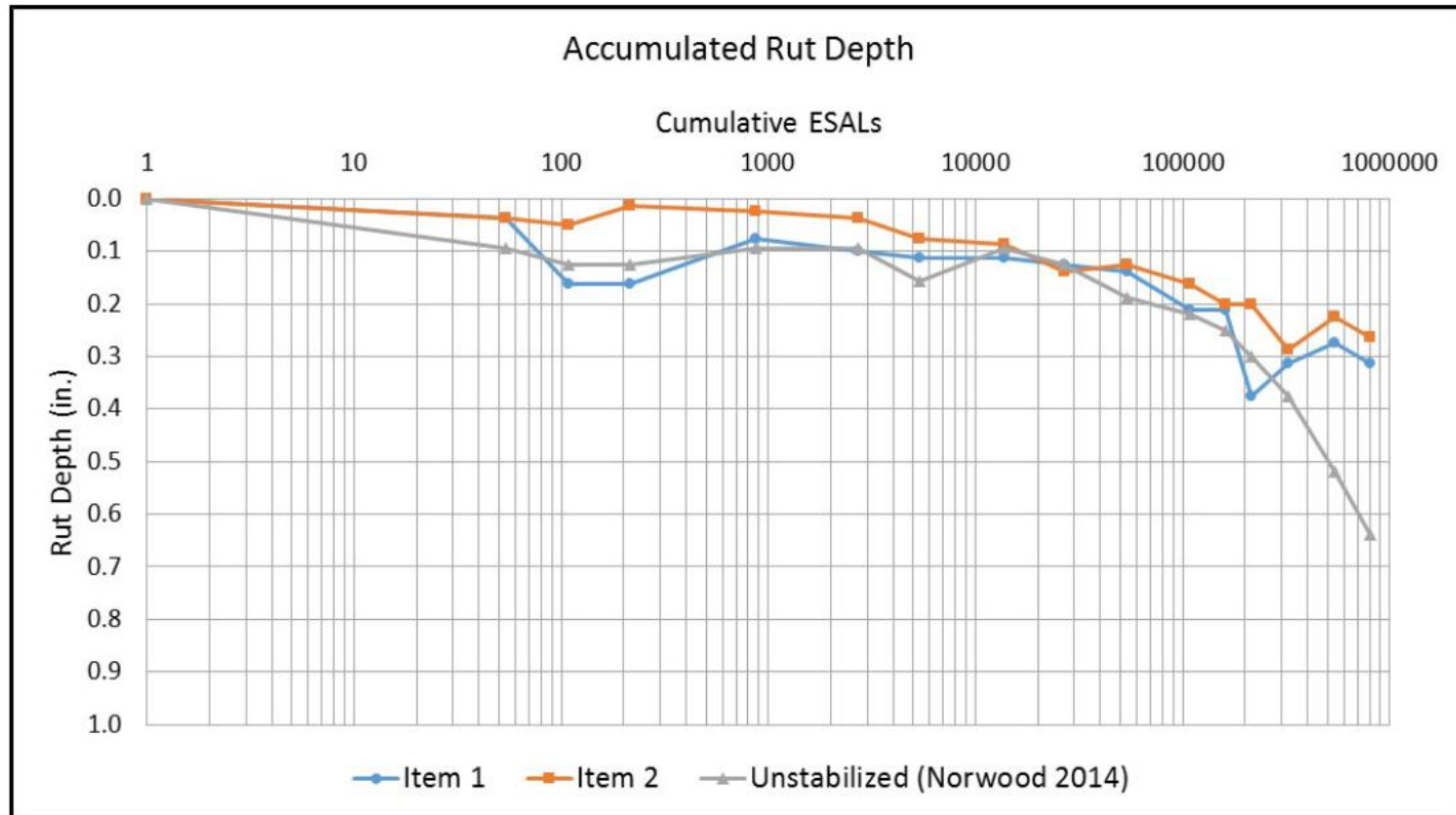
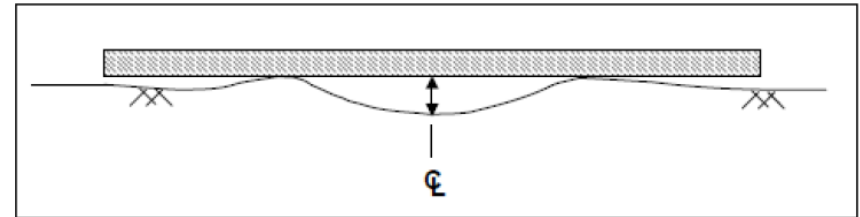


czujnik ugięć

# Obciążenie ruchem – do 800 000 przejeżdż osi

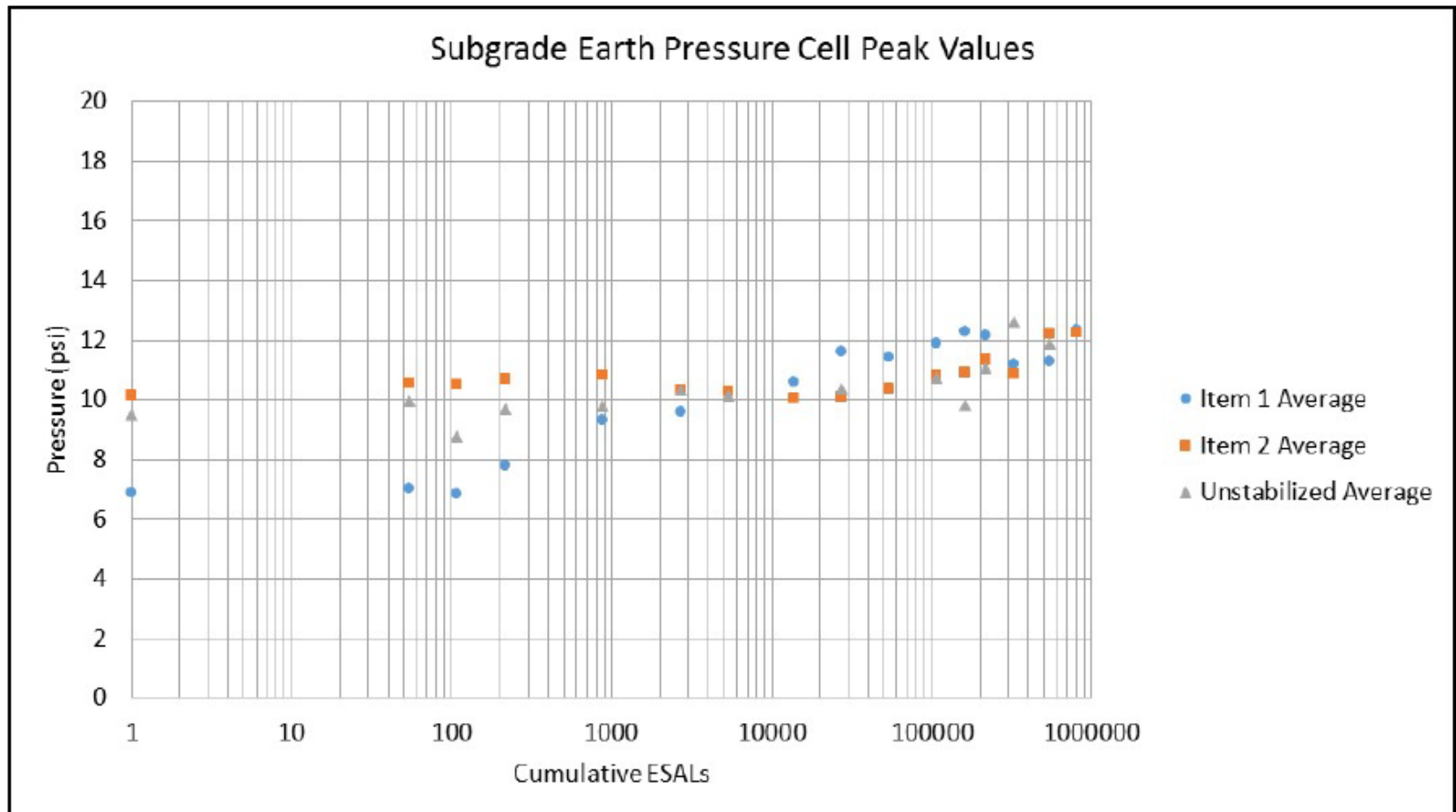
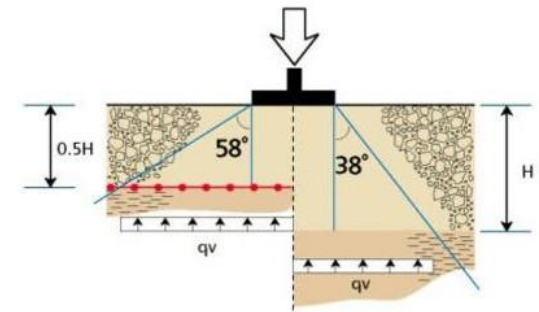
## Pomiar głębokości koleiny

Figure 18. Measurement of maximum rut depth.

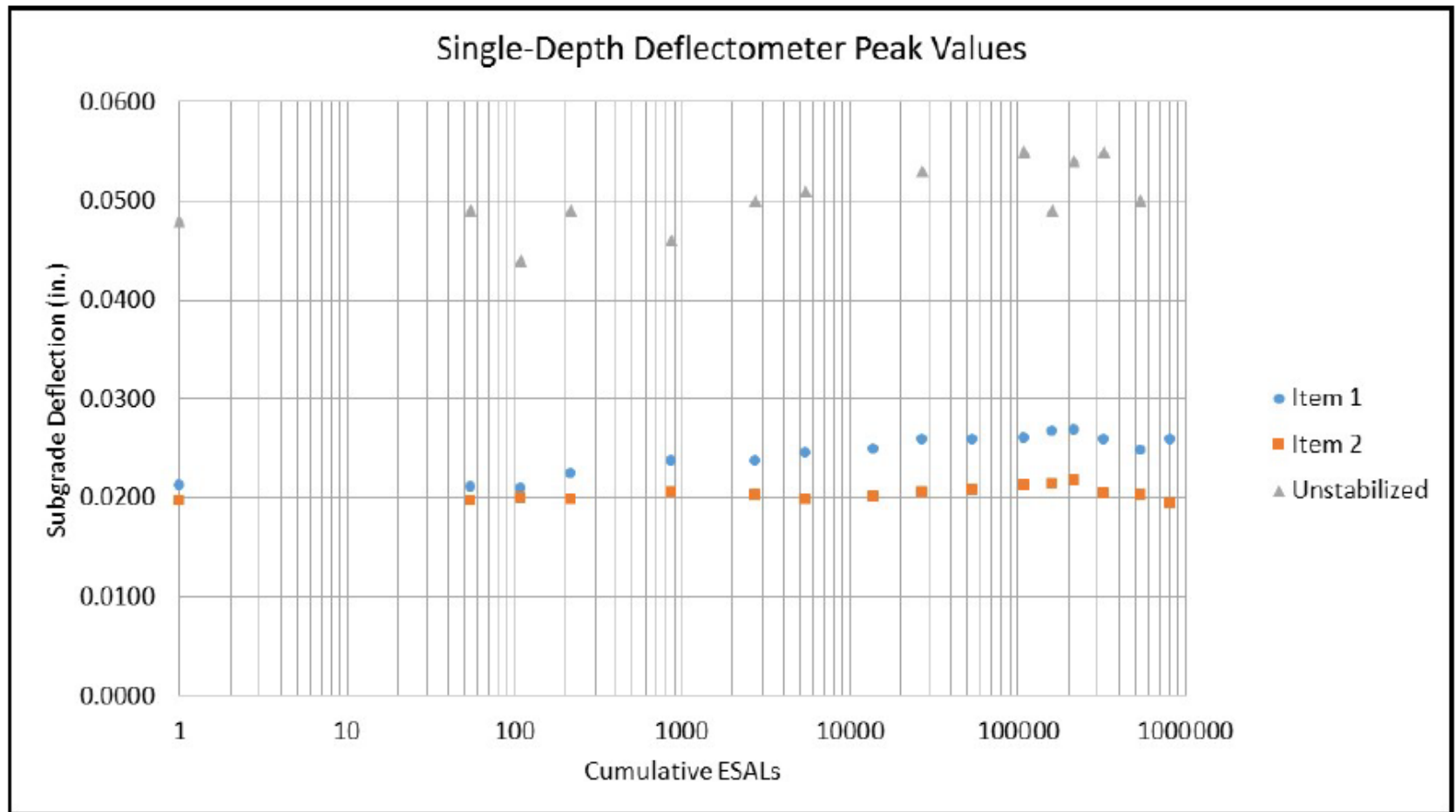




# Pomiar naprężenia pionowego na podłożu

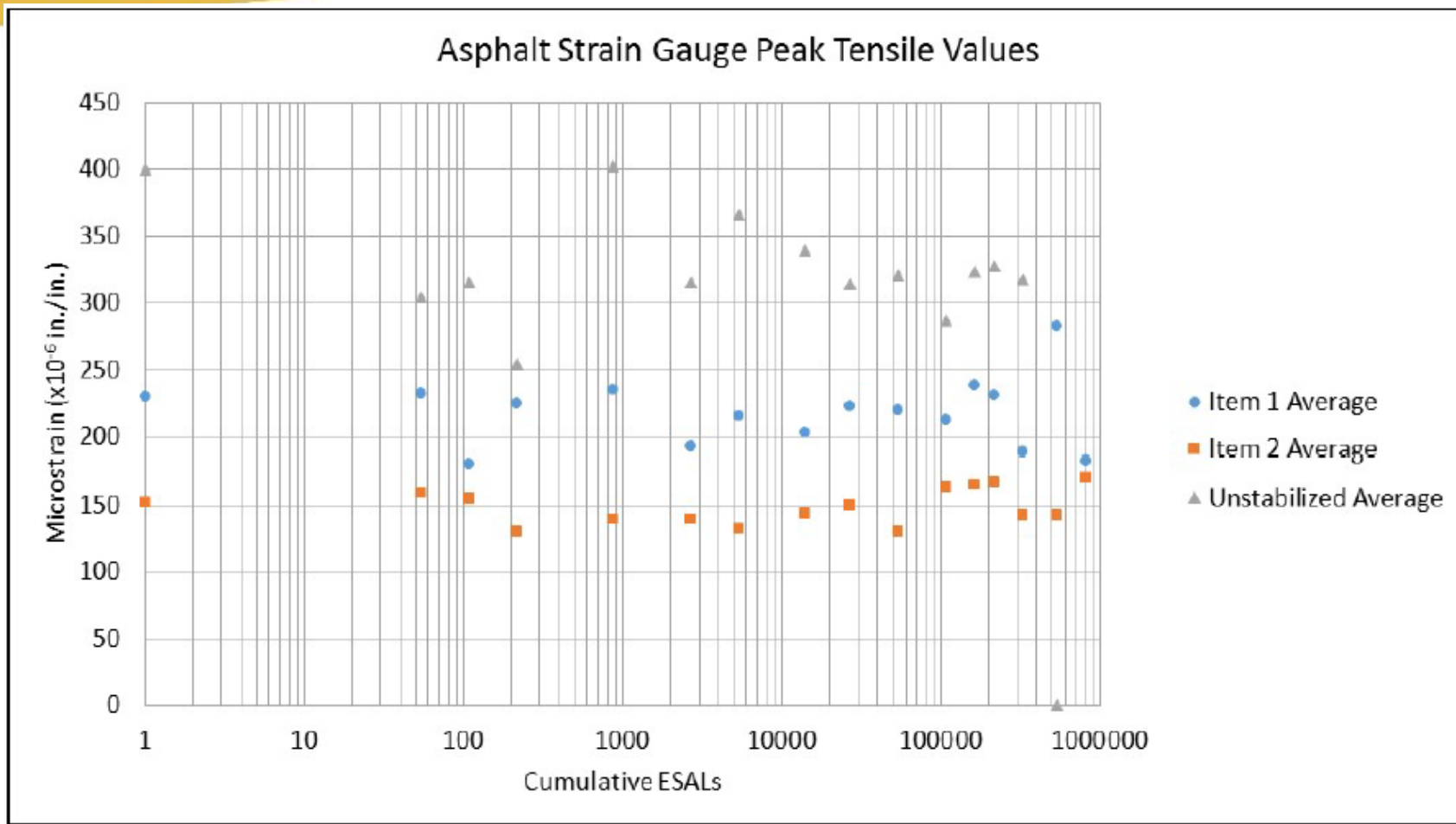


Zbliżone wartości pomimo 25% różnicy w grubości nawierzchni



Zmniejszenie wielkości ugięć o ponad 50%

# Pomiar odkształceń poziomych na spodzie warstw asfaltowych

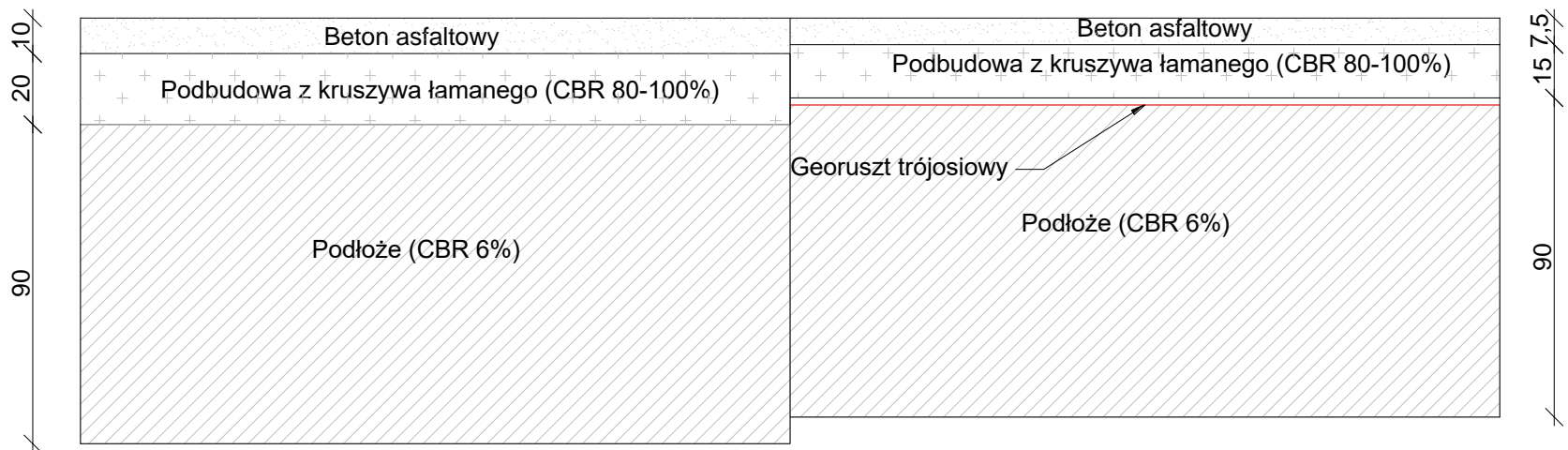


Znacząca redukcja wartości odkształceń



Konstrukcje z podbudową stabilizowaną georusztem trójosiowym Tensar TriAx zachowały się co najmniej tak samo dobrze, jak konstrukcja kontrolna bez georusztu, pomimo zmniejszenia grubości:

- warstw asfaltowych o 2,5 cm
- podbudowy z kruszywa o 5 cm



Zastosowanie warstw podbudowy z kruszywa stabilizowanego georusztem Tensar TriAx możemy uwzględnić w projektowaniu nawierzchni. Stosujemy jedną z dwóch metod:

- Zmodyfikowaną metodę empiryczną AASHTO'93
- Metoda mechanistyczno-empiryczna

# Modyfikacja metody AASHTO 1993

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

$W_{18}$  – ruch projektowy w osiach standardowych 80 kN (18 000 funtów)

$Z_R$  – odchylenie standardowe

$S_o$  – błąd standardowy prognozy ruchu i prognozy właściwości użytkowych

$S_N$  – Liczba Strukturalna nawierzchni, określająca wymaganą całkowitą grubość nawierzchni, obliczana wg wzoru:

$$= a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots$$

$a_i$  - współczynnik materiałowy i-tej warstwy

$D_i$  – grubość i-tej warstwy

$m_i$  – współczynnika drenażu i-tej warstwy

$\Delta PSI$  – różnica pomiędzy wyjściowym projektowym wskaźnikiem przydatności użytkowej nawierzchni  $p_o$  (Present Serviceability Index) a końcowym projektowym wskaźnikiem przydatności użytkowej nawierzchni  $p_t$

$M_r$  – moduł odkształcenia podłoża (w psi – funty na cal kwadratowy)



# Modyfikacja metody AASHTO'93

Wartości współczynnika  $a_2$  dla warstwy kruszywa stabilizowanego georusztem trójosiowym, ustalone na podstawie wyników badań

Table 2-1. Enhanced Layer Coefficient Values as determined from SpectraPave4-PRO Software

MSL Aggregate thickness (in)	Subgrade Resilient Modulus (psi)				
	5,000	6,500	8,000	9,500	11,000
6	0.273	0.271	0.269	0.267	0.265
8	0.247	0.245	0.243	0.240	0.238
10	0.231	0.229	0.227	0.225	0.223
12	0.216	0.214	0.212	0.211	0.209
14	0.205	0.204	0.202	0.201	0.199
16	0.197	0.196	0.194	0.193	0.192
18	0.191	0.189	0.188	0.187	0.186

Grubość w-wy stabilizowanej georusztem [cm]	Moduł odkształcenia podłoża [MPa]				
	35	45	55	65	75
15	0,273	0,271	0,269	0,267	0,265
20	0,247	0,245	0,243	0,240	0,238
25	0,231	0,229	0,227	0,225	0,223
30	0,216	0,214	0,212	0,211	0,209
35	0,205	0,204	0,202	0,201	0,199
40	0,197	0,196	0,194	0,193	0,192
45	0,191	0,189	0,188	0,187	0,186

$$S_N = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots$$

Standardowa wartość  $a_2$  dla kruszywa niezwiązanego to:

$$a_2 = 0,140$$

# Metoda mechanistyczno-empiryczna

W metodzie mechanistyczno-empirycznej uwzględniamy wpływ georusztu poprzez:

- Zwiększenie wartości modułu sprężystości warstwy kruszywa
- Zastosowanie współczynnika zwiększającego obliczoną trwałość zmęczeniową

Oba parametry zostały określone na podstawie analizy wyników badań oraz obliczeń odwrotnych

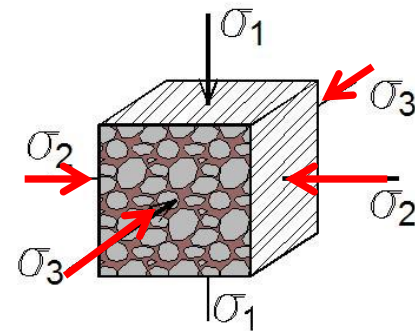
Wprowadzając do warstwy kruszywa trójosiowy georuszt o sztywnych węzłach ograniczamy możliwość poziomego odkształcania się warstwy.

Zwiększa się w ten sposób suma naprężeń głównych działających na kruszywo.

Przekłada się to bezpośrednio na **zwiększenie modułu sprężystości** warstwy kruszywa, a co za tym idzie – jej **nośności**.

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

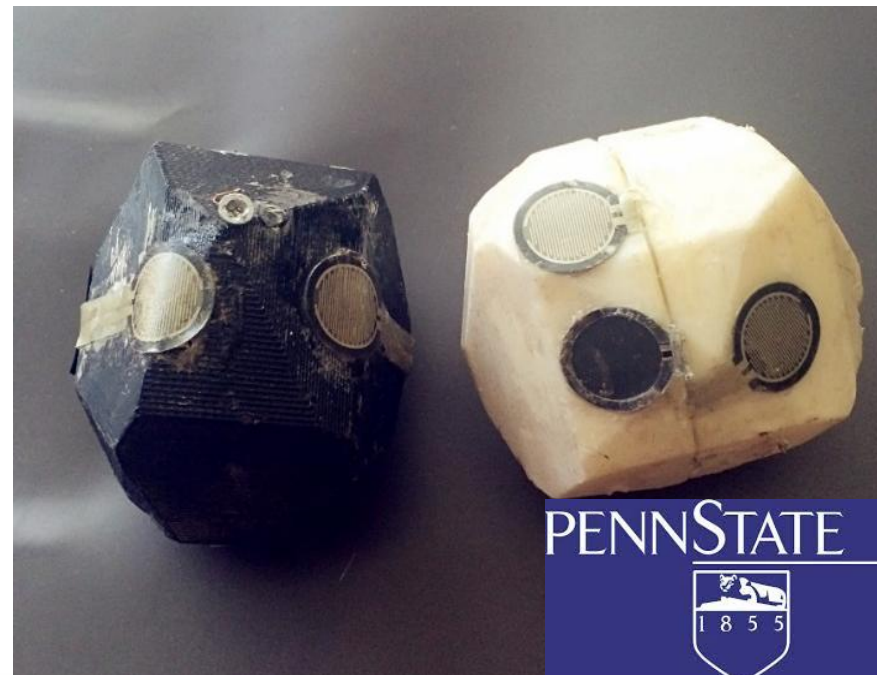
$$E = k_1 \theta k_2$$

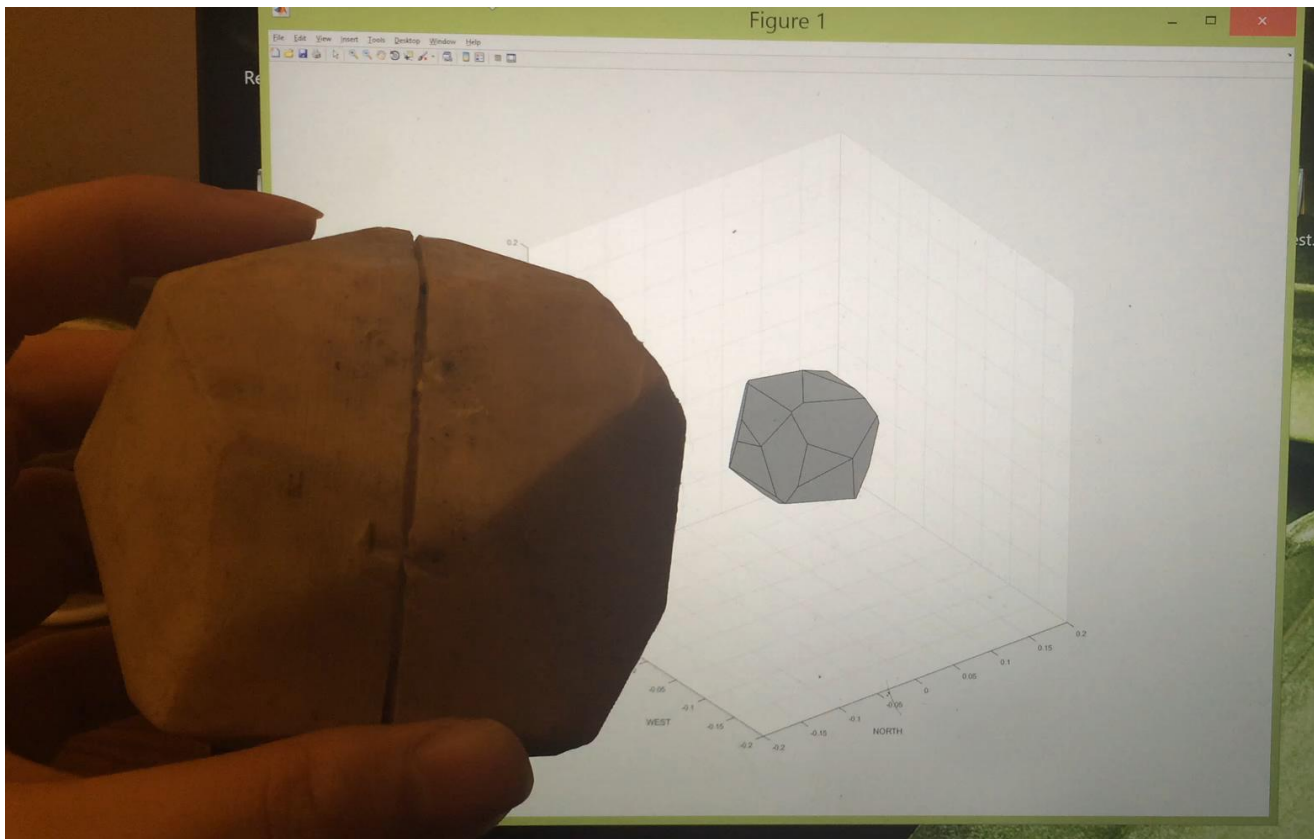




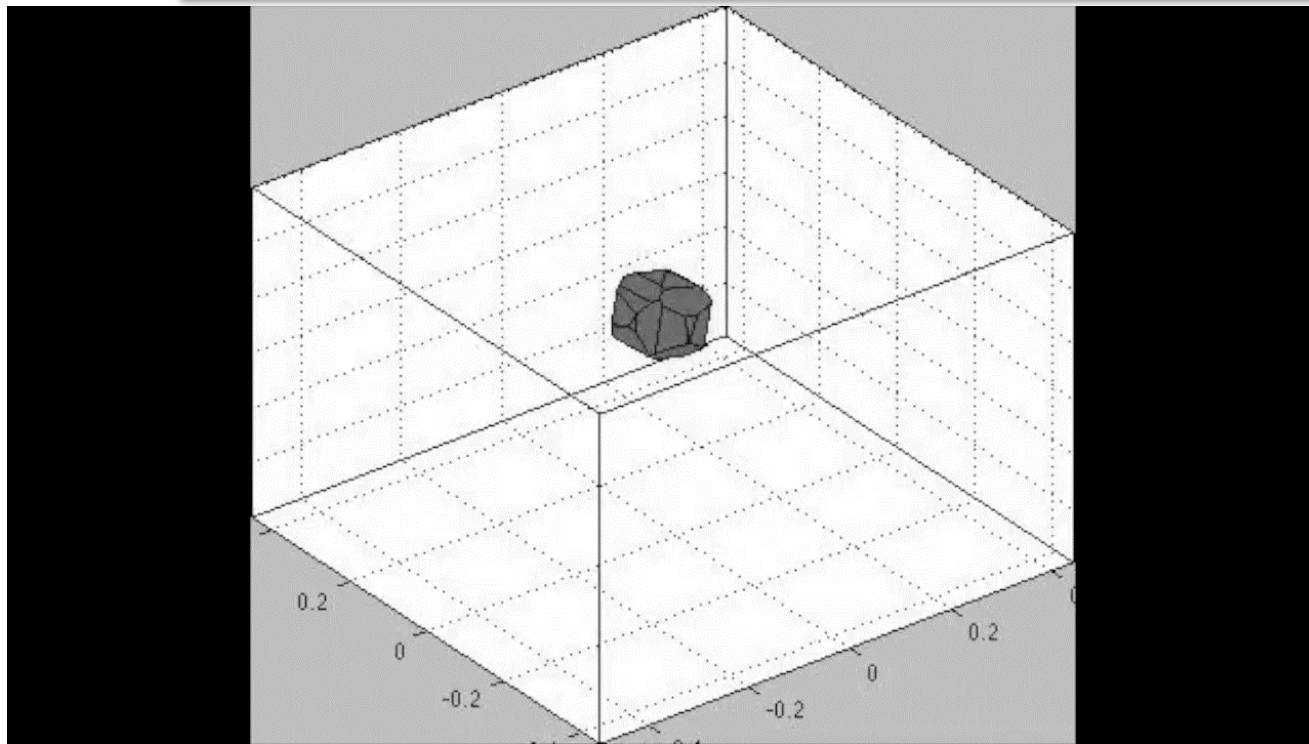
# Smart Rock

Badania potwierdzające występowanie mechanizmu zazębienia („interlock”) i unieruchomienia ziaren kruszywa w oczkach georusztu trójosiowego





# Pomiar zarówno obrotu jak i przemieszczeń w poziomie i pionie



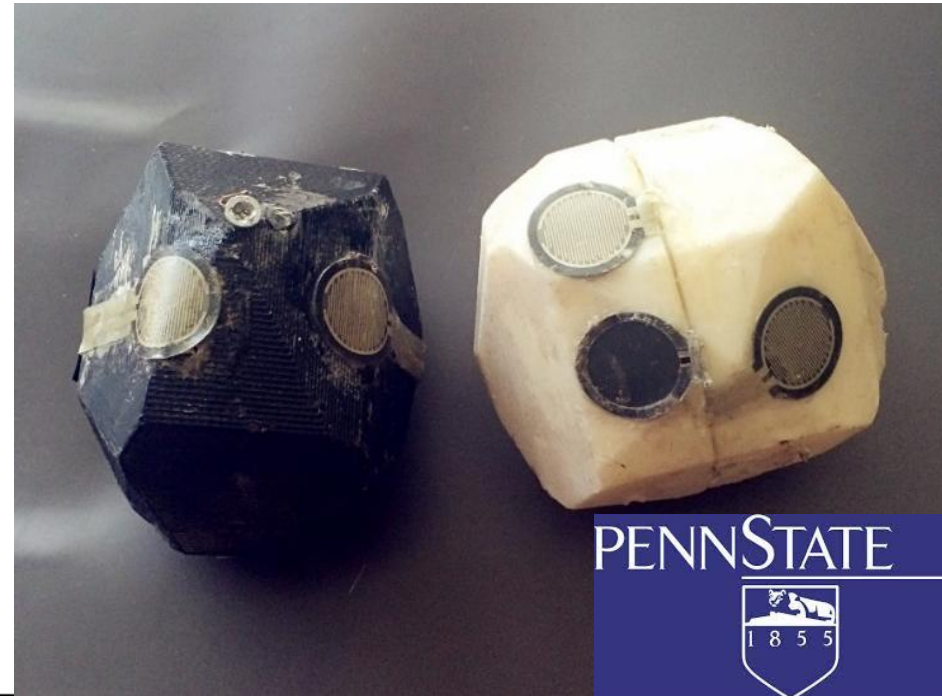
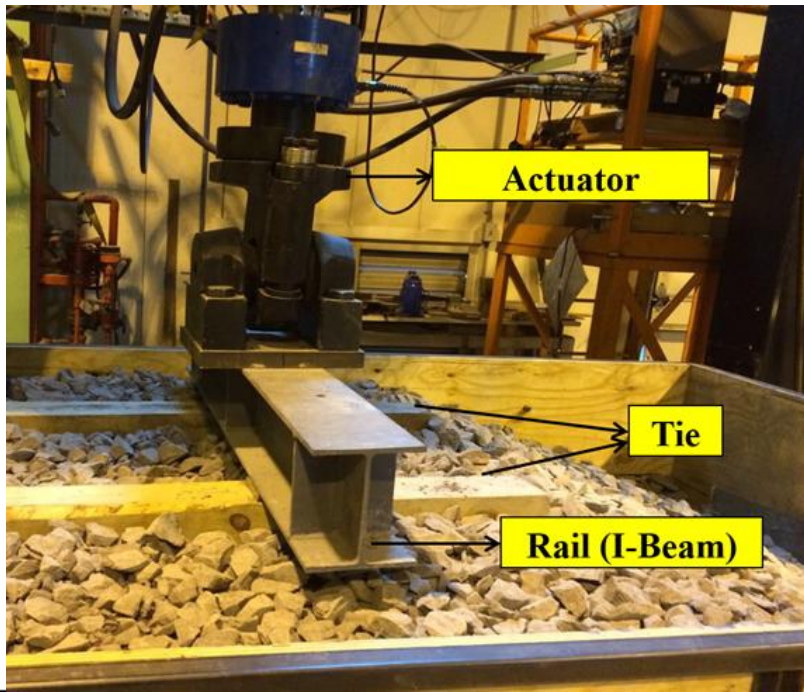


# Wpływ georusztu TriAx na ograniczenie możliwości przemieszczeń ziaren kruszywa

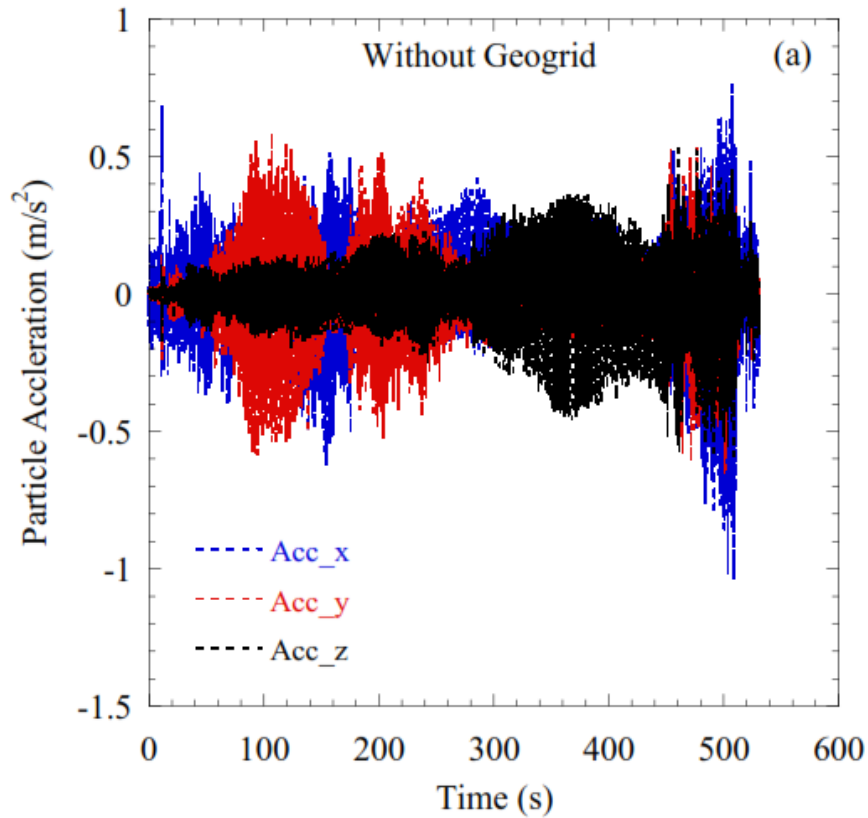
Badania na Uniwersytecie PennState dla obciążeń kolejowych (badania dla obciążeń drogowych trwają)

Georuszt TriAx TX190L + 25 cm tłucznia

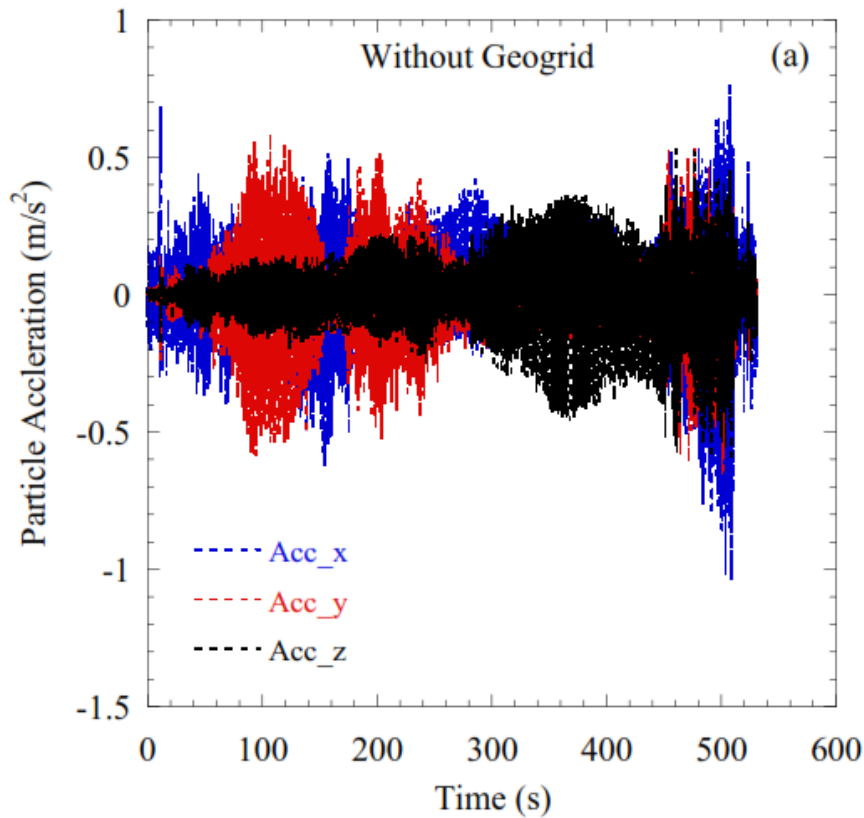
SmartRock ułożony na poziomie 10 cm nad georusztem



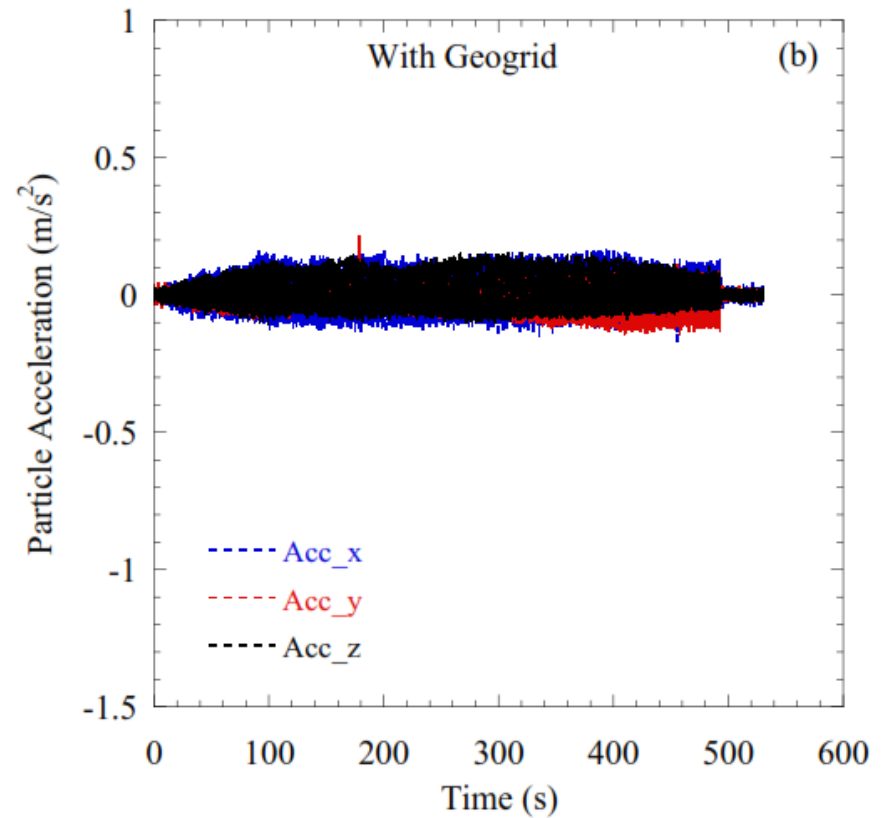
Bez georusztu



Bez georusztu

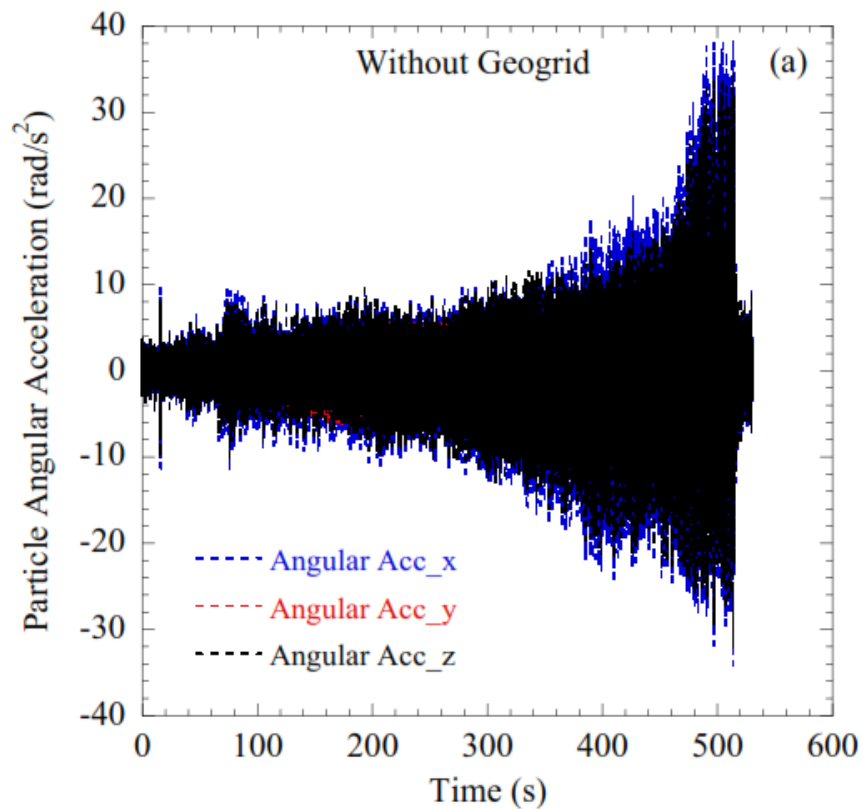


## Z georusztem

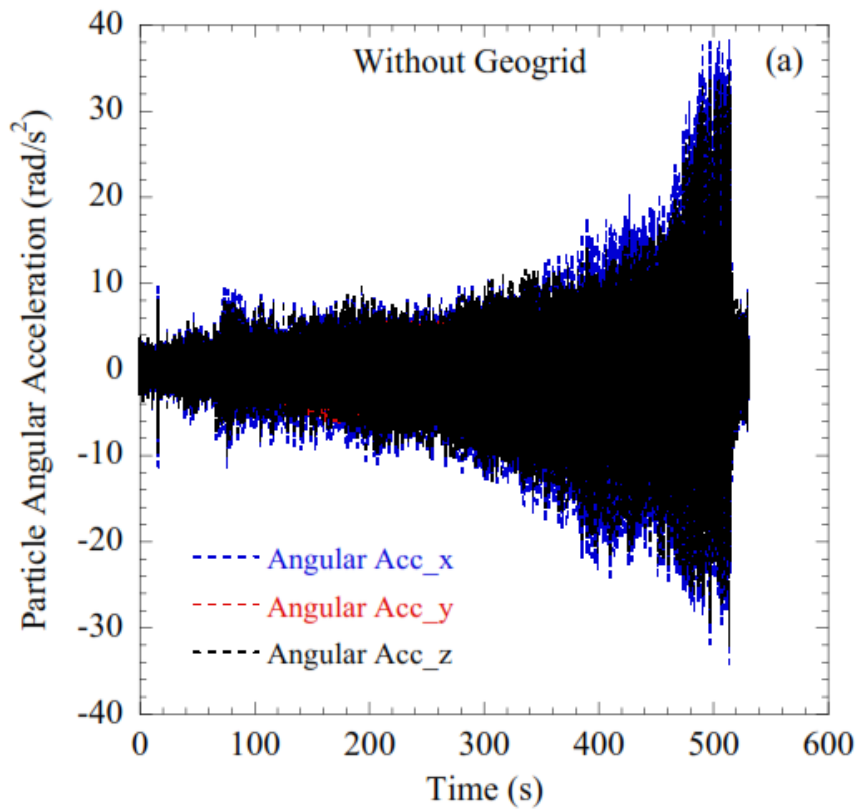




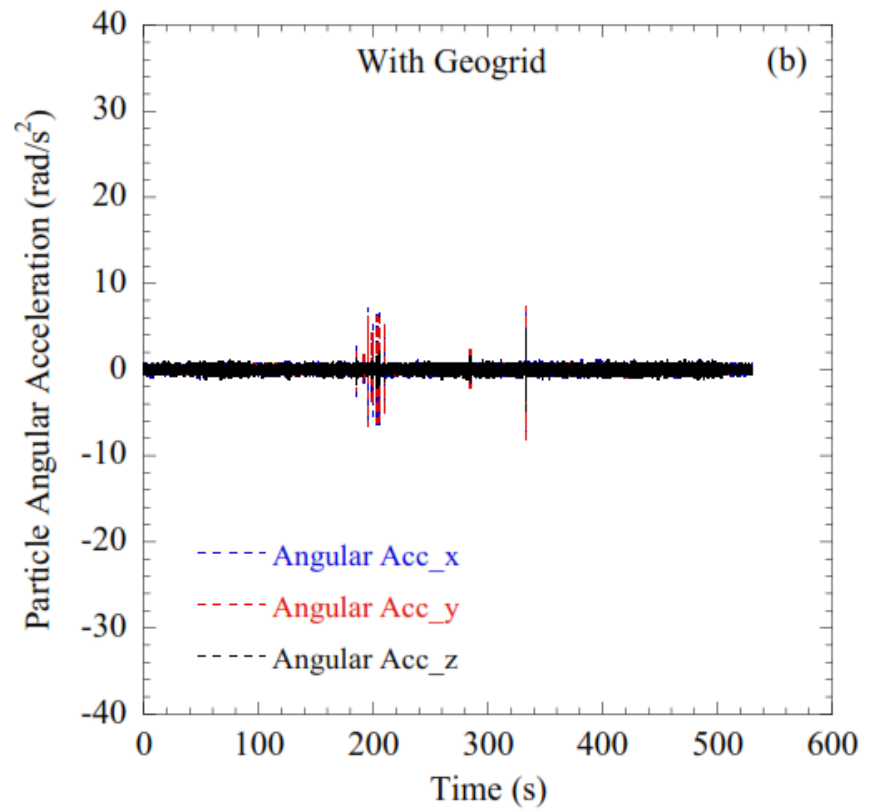
## Bez georusztu



## Bez georusztu

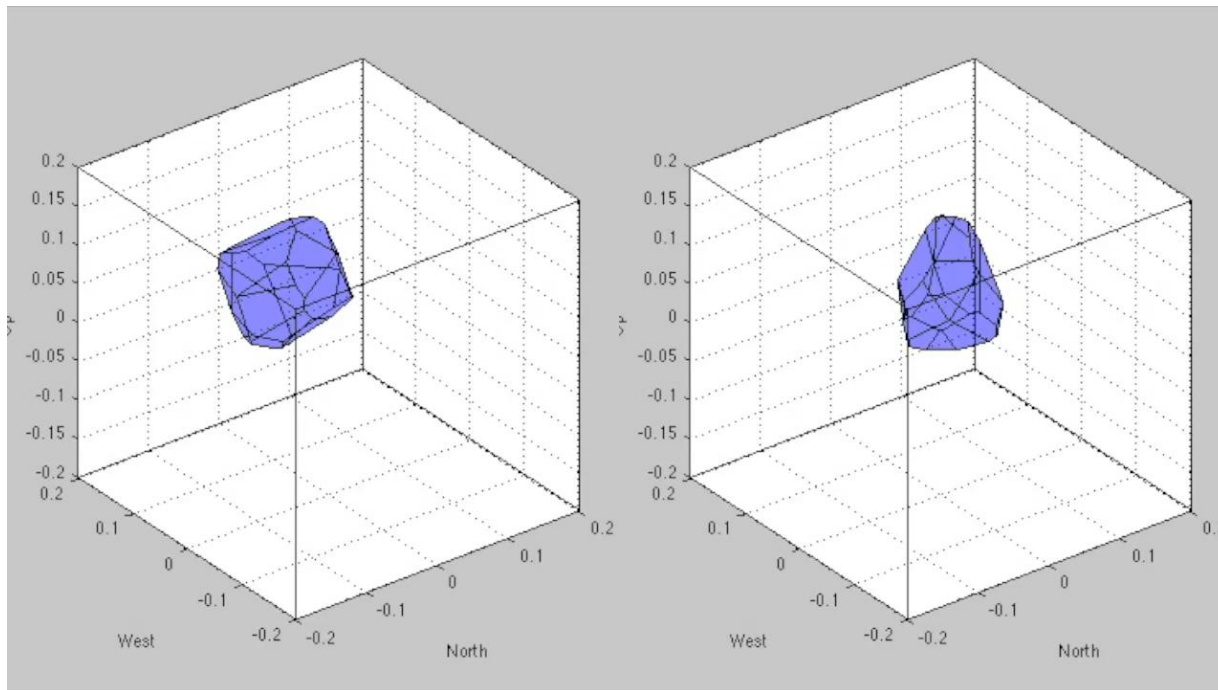
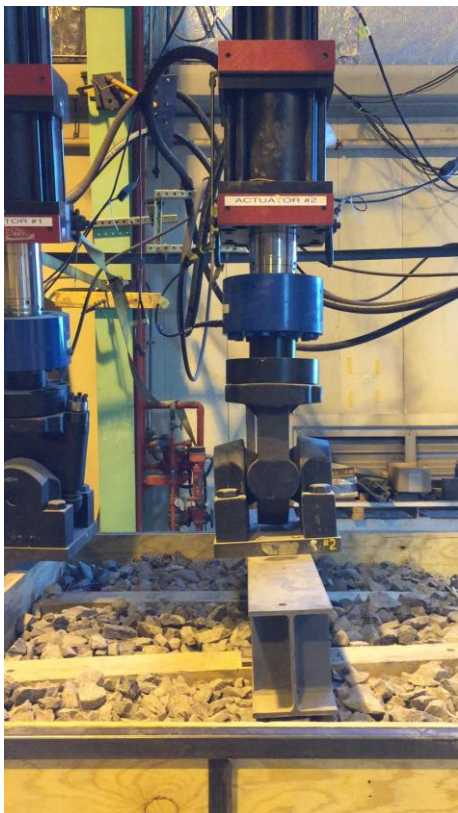


## Z georusztem



## Bez georusztu

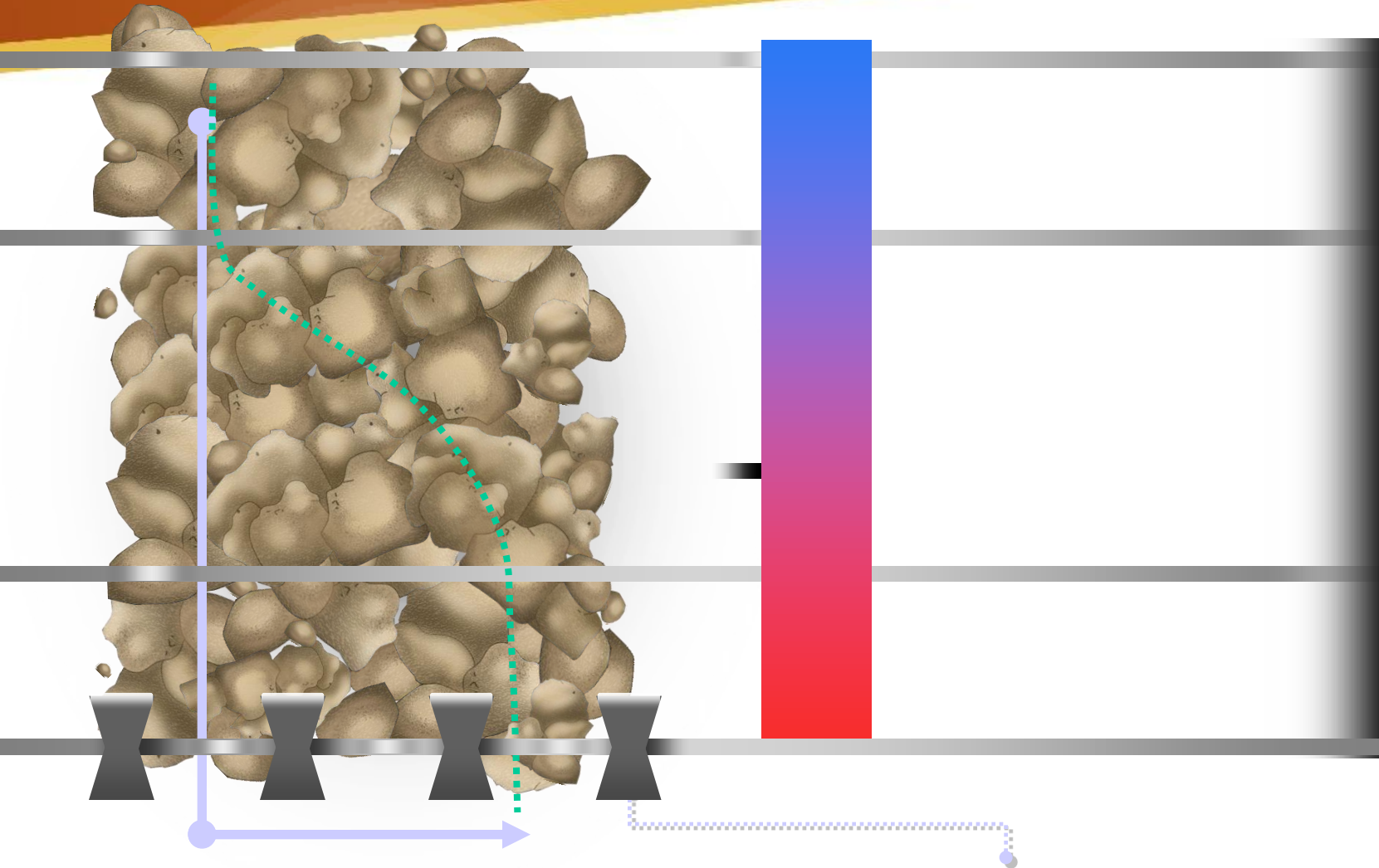
## Z georusztem



Presented at TRB2016 conference,  
"Effect of Geogrid on Railroad Ballast Studied by SMART ROCK"



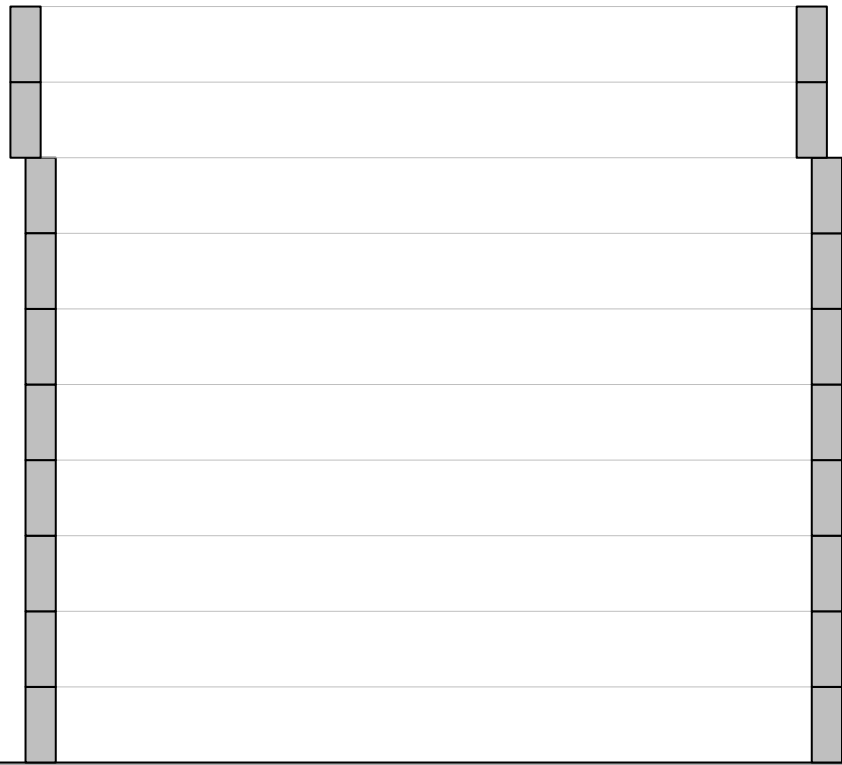
Określenie zakresu wpływu georusztu – badania na uniwersytecie Győr (Węgry) - 2012





- Badanie bezpośredniego ścinania w aparacie skrzynkowym o wymiarach 1 x 1 x 1 m
- Możliwość ścinania próbki w różnych płaszczyznach
- Badania sekcji kontrolnej oraz sekcji z georusztem TriAx 190L
- Pomiary na poziomie 0, 100, 200 i 300 mm od georusztu

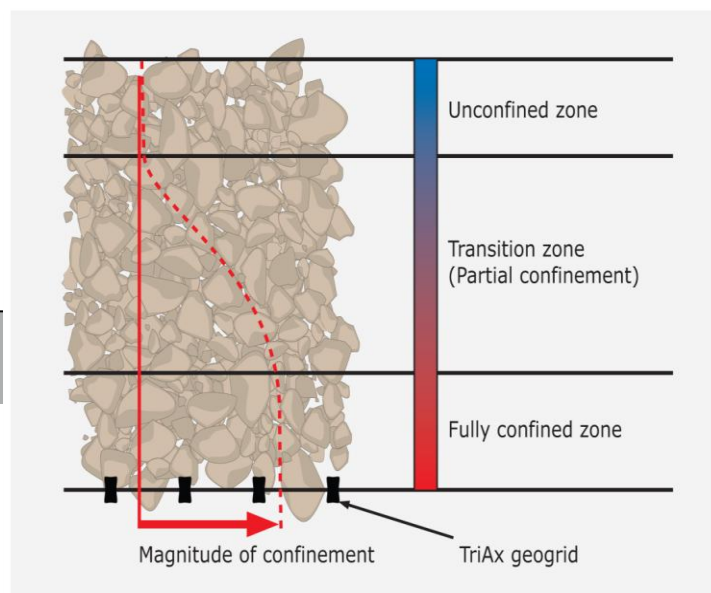
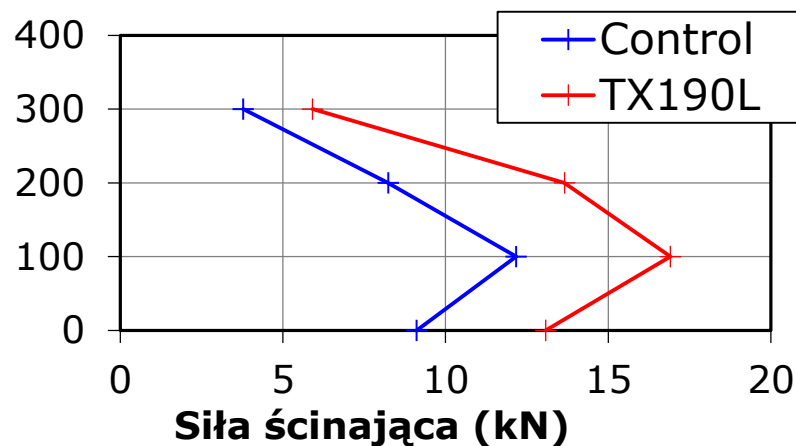
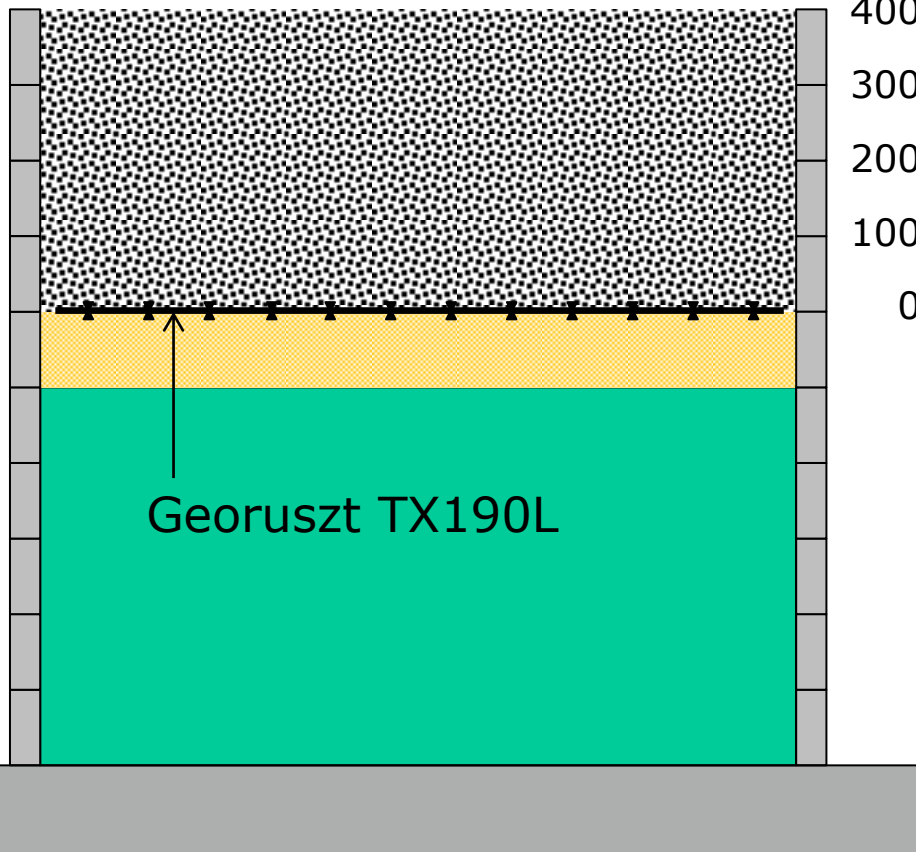




Skrzynia może być  
ściana na różnych  
poziomach



# Określenie zakresu wpływu georusztu – badania na uniwersytecie Gyor (Węgry) - 2012



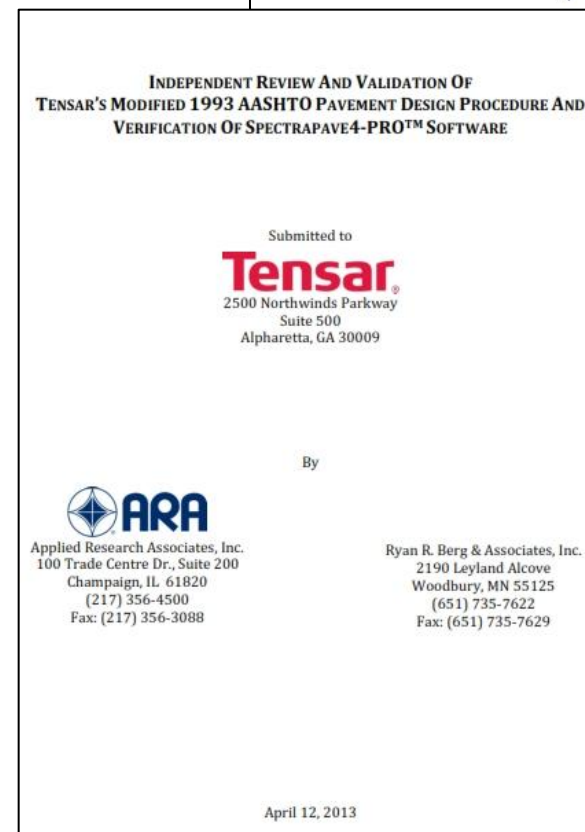


# Weryfikacja programów SpectraPave4-Pro i Spectra M-E wykonana przez ARA

**Tensar**

- Weryfikacja metod projektowych: empirycznej – program SpectraPave4-Pro oraz mechanistyczno-empirycznej – program Spectra M-E wykonana przez niezależną instytucję

**ARA** (Applied Research Associates, Inc.) – firma inżynieryjno-konsultingowa działająca na zlecenie inwestorów publicznych i prywatnych, z siedzibą w Albuquerque w stanie Nowy Meksyk oraz licznymi biurami na terenie USA i Kanady. Zatrudnia ponad 1000 specjalistów z różnych branż i zajmuje się przede wszystkim projektami z zakresu bezpieczeństwa i obronności, infrastruktury, energii i środowiska oraz geotechniki.



**ARA**  
ates, Inc.  
Suite 200  
1820  
yer, P.E.  
k, PhD, P.E.



Amerykańska norma  
AASHTO R 50-09  
„Wzmocnienie  
geosyntetykami  
podbudowy z kruszywa w  
nawierzchniach podatnych

Standard Practice for

**Geosynthetic Reinforcement of the  
Aggregate Base Course of Flexible  
Pavement Structures**



AASHTO Designation: R 50-09<sup>1</sup>

**1. SCOPE**

- 1.1. This standard practice provides guidance to pavement designers interested in incorporating geosynthetics for the purpose of reinforcing the aggregate base course of flexible pavement structures. Geosynthetic reinforcement is intended to provide structural support of traffic loads over the life of the pavement.
- 1.1.1. For the purpose of this guide, base reinforcement is the use of a geosynthetic within, or directly beneath, the granular base course.
- 1.1.2. When referring to geosynthetics, the discussion is limited to geotextiles, geogrids, or geogrid/geotextile composites.

**2. REFERENCED DOCUMENTS**

- 2.1. *AASHTO Standard:*
- M 288, Geotextile Specification for Highway Applications
- 2.2. *Other References:*
- Geosynthetics Materials Association (GMA) White Paper I—“Geosynthetics in Pavement Systems Applications,” May 1999. Available at [bookstore@ifai.com](mailto:bookstore@ifai.com).
  - Geosynthetic Materials Association (GMA) White Paper II—“Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures,” June 2000. Available at [bookstore@ifai.com](mailto:bookstore@ifai.com).
  - National Highway Institute (NHI) Participant Notebook—*Geosynthetic Design and Construction Guidelines*, April 1999. Available at [www.nhi.fhwa.dot.gov](http://www.nhi.fhwa.dot.gov).

**3. INTRODUCTION**

- 3.1. Because the benefits of geosynthetic reinforced pavement structures may not be derived theoretically, test sections are necessary to obtain benefit quantification. Studies have been done that demonstrate the value added by a geosynthetic in a pavement structure. These studies, necessarily limited in scope, remain the basis for design in this field.
- 3.2. This standard practice is very empirical in nature and restricted to applications already demonstrated to be useful. The practitioner will need to consult the references and locate a tested



- 6.1. Geosynthetics are used in the pavement structure for structural support of traffic loads over the design life of the pavement. The geosynthetic is expected to provide one or both of these benefits: (1) improved or extended service life of the pavement, or (2) reduced thickness of the structural section.

Geosyntetyk powinien zapewnić uzyskanie jednej lub obu następujących korzyści: (1) zwiększenie okresu eksploatacji nawierzchni, lub (2) zredukowanie grubości konstrukcji.

- 3.1. Because the benefits of geosynthetic reinforced pavement structures may not be derived theoretically, test sections are necessary to obtain benefit quantification. Studies have been done that demonstrate the value added by a geosynthetic in a pavement structure. These studies, necessarily limited in scope, remain the basis for design in this field.

Ponieważ nie można określić teoretycznie korzyści z zastosowania geosyntetyku w konstrukcji nawierzchni, niezbędne jest wykonanie odcinków testowych w celu określenia wpływu geosyntetyku.

Optymalizacja nawierzchni z wykorzystaniem georusztów TriAx pozwala na:

- Redukcję grubości konstrukcji nawierzchni
- Wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni
- Skrócenie czasu realizacji
- Zmniejszenie robót ziemnych
- Zmniejszenie ruchu budowlanego
- Zmniejszenie nakładów na utrzymanie
- Redukcję emisji zanieczyszczeń do atmosfery

**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ**