

Wykorzystanie warstw kruszyw stabilizowanych georusztem heksagonalnym w procesie optymalizacji nawierzchni

mgr inż. Michał Gołos

Dyrektor

Tensar Polska Sp. z o.o.

VI Międzynarodowa Konferencja
Śląskie Forum Drogownictwa
Katowice, dn. 24-26.04.2018 r.

STABILIZACJA KRUSZYWA GEORUSZTEM. PODSUMOWANIE

Georuszty trójosiowe w konstrukcji nawierzchni

Georuszty trójosiowe/heksagonalne Tensor TriAx są z powodzeniem stosowane w budownictwie drogowym od ponad 10 lat.

- Są stosowane przede wszystkim w warstwach ulepszonego podłoża lub dolnych warstwach konstrukcji nawierzchni
- W warunkach występowania gruntów o niskiej nośności.
- Podłoża o nośności $E_2 < 25$ MPa ($CBR < 2\%$) – głównie grunty spoiste w stanie plastycznym, miękkoplastycznym lub bardzo miękkoplastycznym, które wymagają rozwiązania indywidualnego.
- Rozwiązanie: **Stabilizacja kruszywa georusztem**

Przykłady realizacji...





OPTYMALIZACJA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Optymalizacja konstrukcji nawierzchni

Nowe podejście zastosowania georusztów trójosiowych Tensor TriAx:

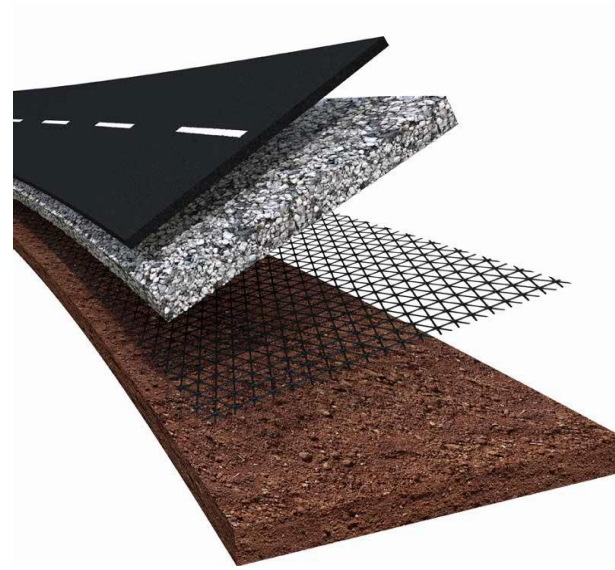
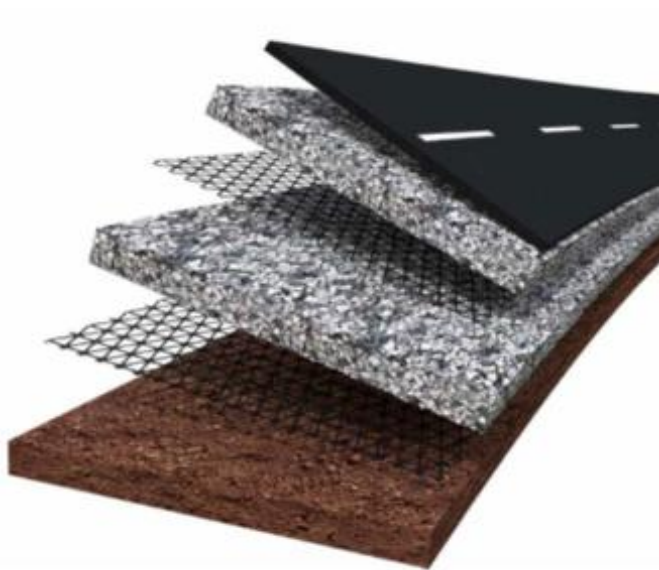
- Wykorzystanie warstw kruszywa stabilizowanego georusztem hexagonalnym w celu zredukowania grubości konstrukcji (kruszywo niezwiązane podbudowy oraz warstwy asfaltowe) przy zachowaniu wymaganej trwałości.
- Alternatywnie: zwiększenie trwałości konstrukcji przy zachowaniu jej grubości

lub

- Kombinacja obu efektów.
- Rozwiązanie: **Optymalizacja konstrukcji nawierzchni**

Optymalizacja konstrukcji nawierzchni

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



Optymalizacja konstrukcji nawierzchni. Gdzie stosować?

Zastosowanie trójosiowych georusztów heksagonalnych do optymalizacji konstrukcji nawierzchni drogowej układanych na nośnym podłożu:

Konstrukcja nawierzchni (nawierzchnia)	Warstwy górne konstrukcji nawierzchni	Warstwa ścieralna	
		Warstwa wiążąca	
		Podbudowa zasadnicza	Górna warstwa podbudowy zasadniczej
	Dolna warstwa podbudowy zasadniczej		
	Warstwy dolne konstrukcji nawierzchni	Podbudowa pomocnicza	
		Warstwa mrozoochronna	
Podłoże gruntowe nawierzchni	Warstwa ulepszanego podłoża		
	Grunt rodzimy w wykopie lub grunt nasypowy w nasypie, zakwalifikowany do jednej z grup nośności podłoża od G1 do G4.		

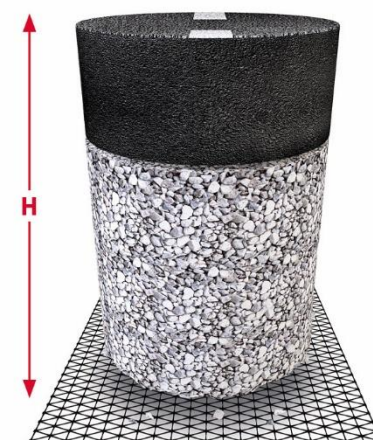
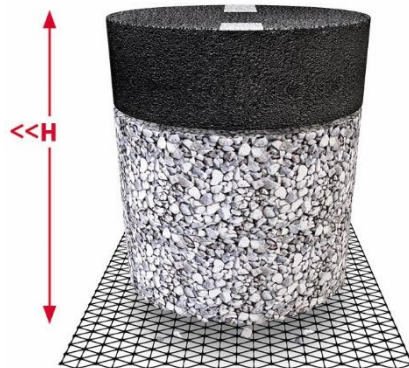
Rys. 4.1. Schemat i nazwy warstw konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych oraz warstwy ulepszanego podłoża

Wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni i/lub zredukowanie jej kosztu

OPCJA PIERWSZA

OPCJA DRUGA

OPCJA TRZECIA



1,000,000 OSI

1,000,000 OSI

DO 3,000,000 OSI

DO 6,000,000 OSI

Projekt wyjściowy

Taka sama trwałość
NAJNIŻSZE KOSZTY

Do 3 x trwałość
wyjściowa
TEN SAM KOSZT

Do 6 x trwałość wyjściowa
NAJNIŻSZE KOSZTY
BUDOWY I EKSPLOATACJI

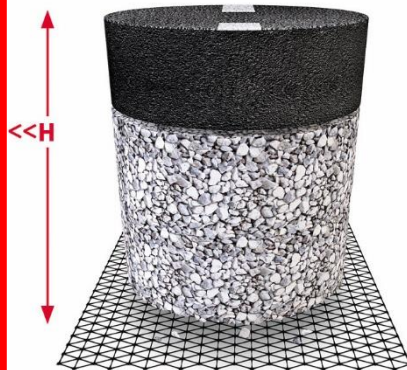
Wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni i/lub zredukowanie jej kosztu



1,000,000 OSI

Projekt wyjściowy

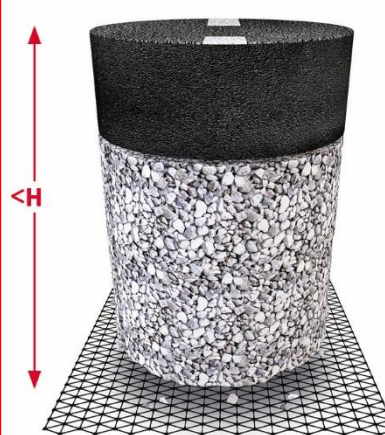
OPCJA PIERWSZA



1,000,000 OSI

Taka sama trwałość
NAJNIŻSZE KOSZTY

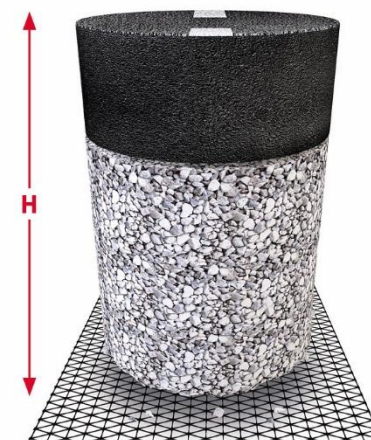
OPCJA DRUGA



DO 3,000,000 OSI

Do 3 x trwałość
wyjściowa
TEN SAM KOSZT

OPCJA TRZECIA



DO 6,000,000 OSI

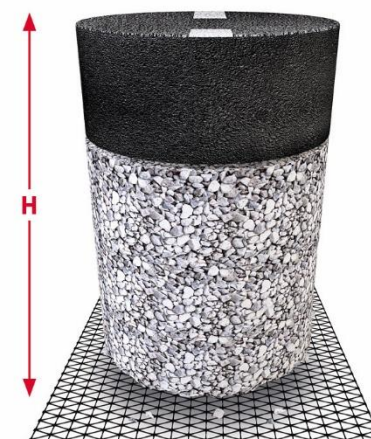
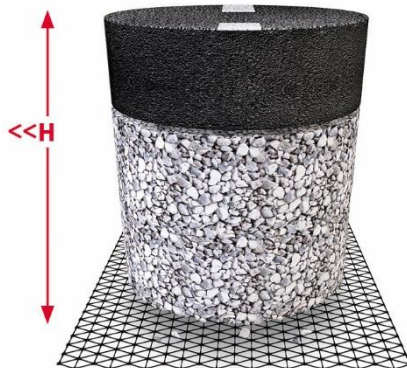
Do 6 x trwałość wyjściowa
NAJNIŻSZE KOSZTY
BUDOWY I EKSPLOATACJI

Wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni i/lub zredukowanie jej kosztu

OPCJA PIERWSZA

OPCJA DRUGA

OPCJA TRZECIA



1,000,000 OSI

1,000,000 OSI

DO 3,000,000 OSI

DO 6,000,000 OSI

Projekt wyjściowy

Taka sama trwałość
NAJNIŻSZE KOSZTY

Do 3 x trwałość
wyjściowa
TEN SAM KOSZT

Do 6 x trwałość wyjściowa
NAJNIŻSZE KOSZTY
BUDOWY I EKSPLOATACJI

Wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni i/lub zredukowanie jej kosztu



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 50-09¹

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.
 - 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.
 - National Highway Institute (NHI) Participant Notebook—*Geosynthetic Design and Construction Guidelines*, April 1999. Available at 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

Norma AASHTO R 50-09

Wzmocnienie geosyntetykami podbudowy z kruszywa w nawierzchniach podatnych

- 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.

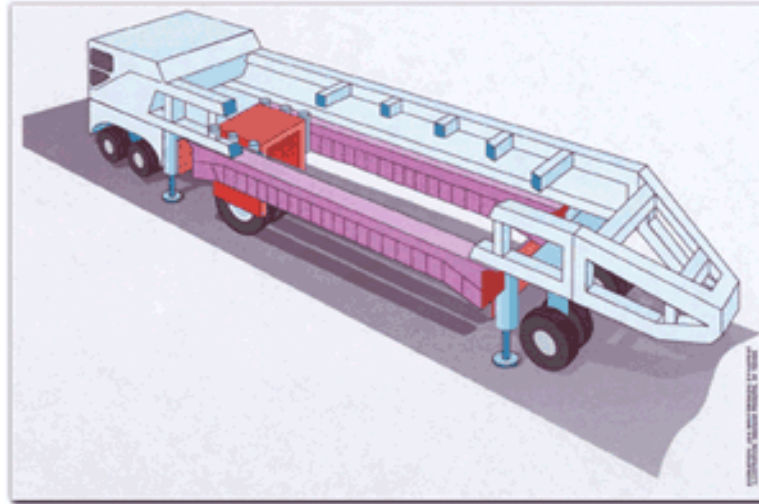
Geosyntetyk powinien zapewnić uzyskanie jednej lub obu następujących korzyści: (1) zwiększenie okresu eksploatacji nawierzchni, lub (2) zredukowanie grubości konstrukcji.

- 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.

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.

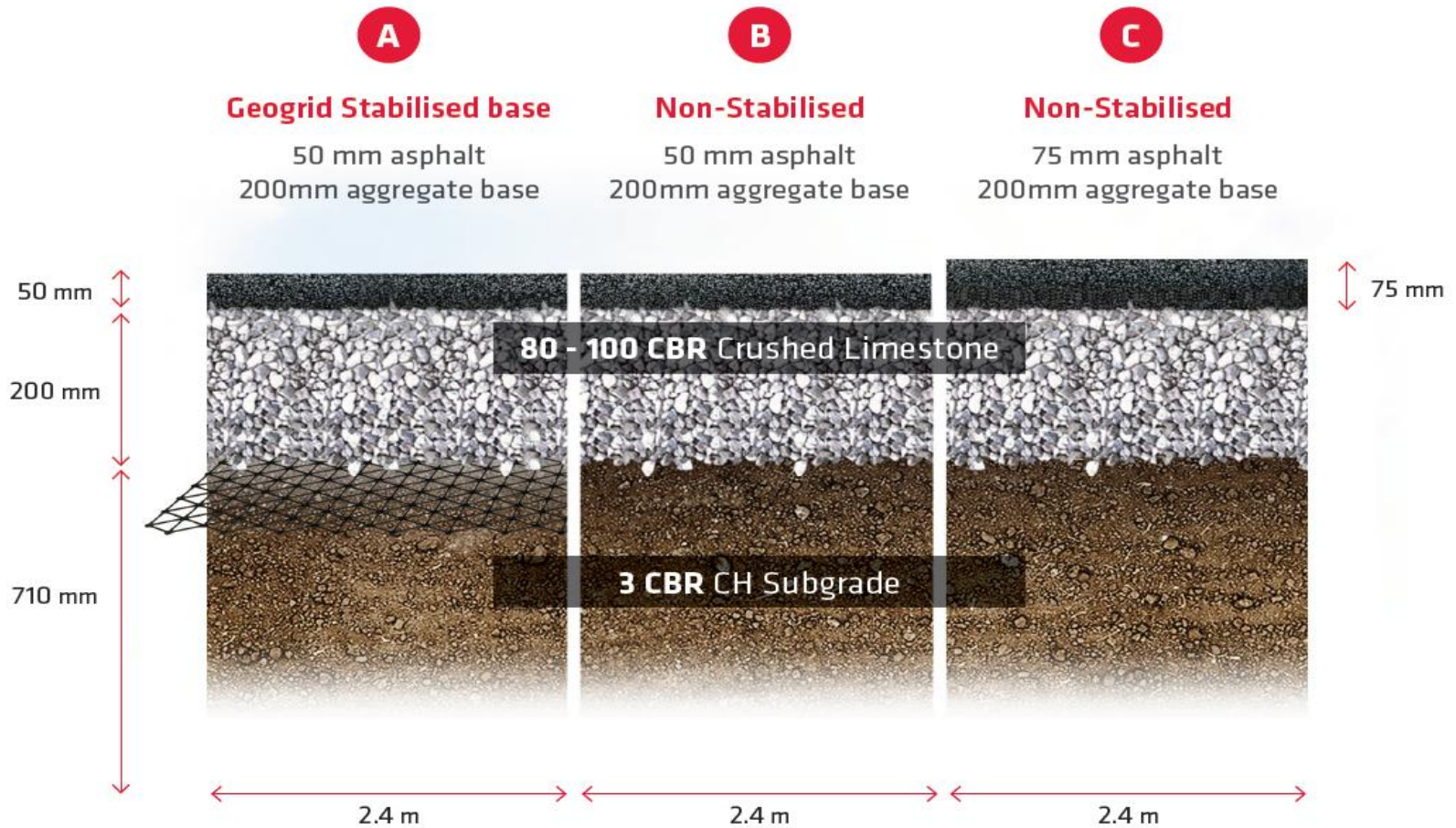
Przyspieszony test w pełnej skali w USACOE (US Army Corps of Engineers)



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



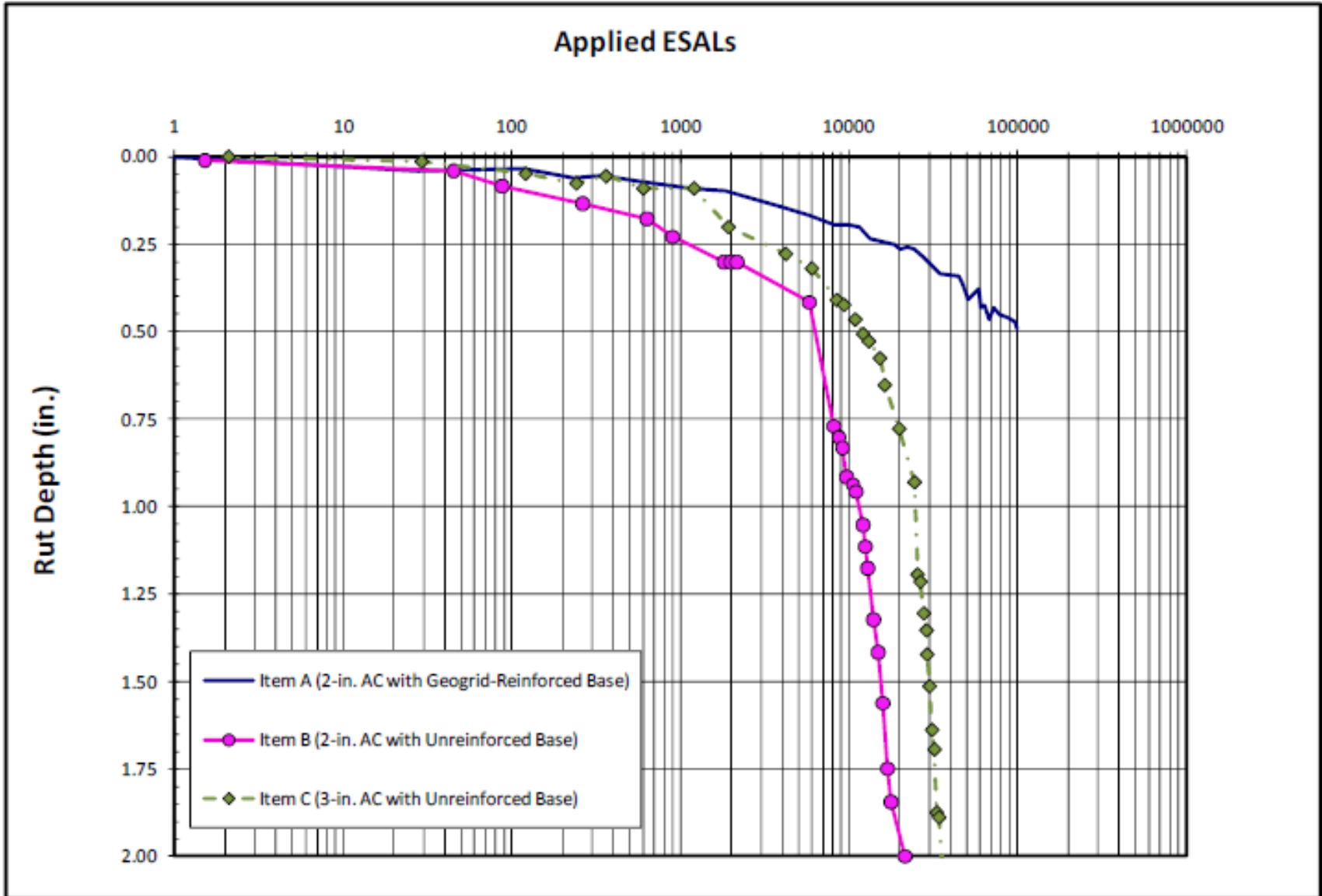
Test US Army Corps of Engineers – faza 1 (2010)

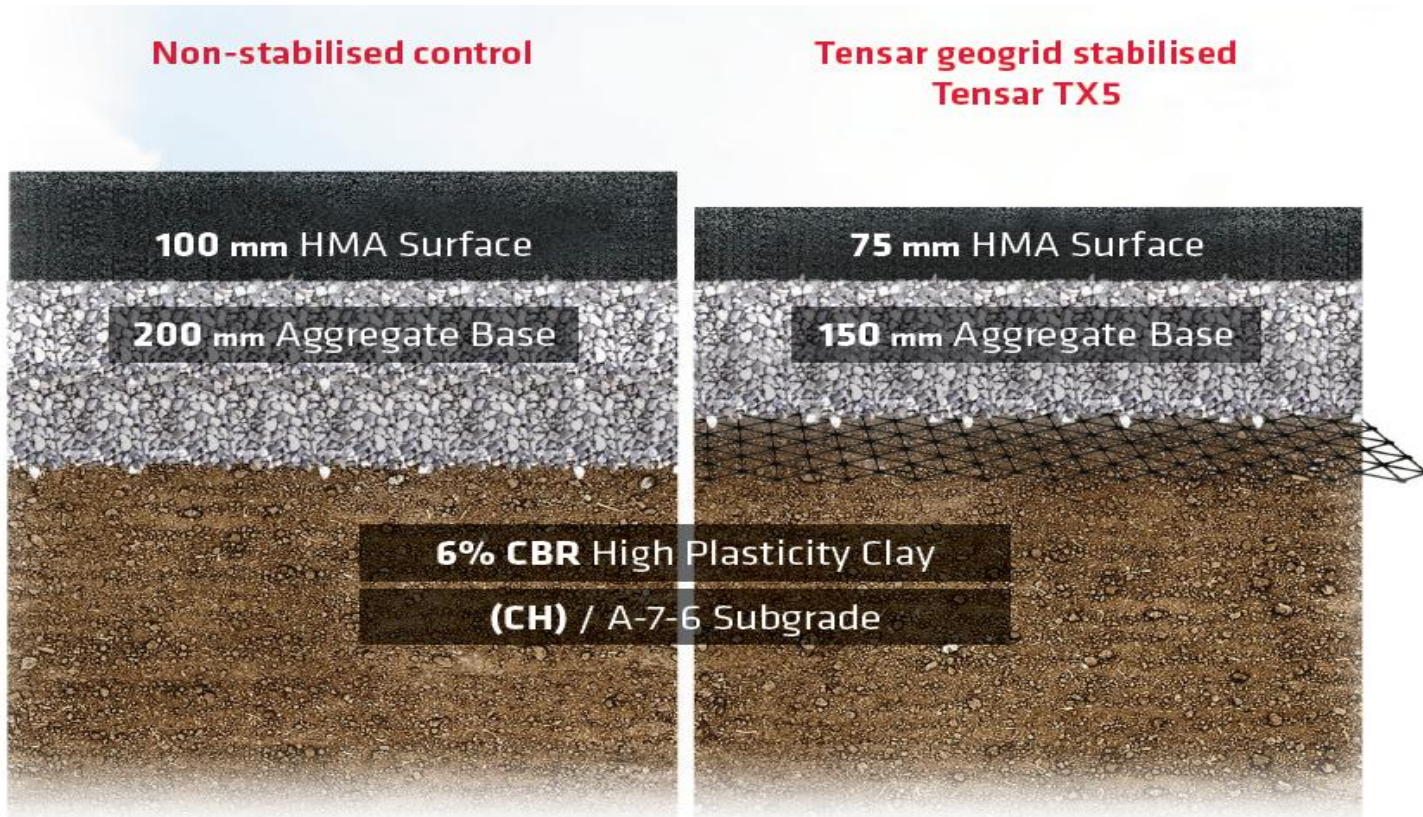


100 000 przejść osi standardowej



Test US Army Corps of Engineers – faza 1 (2010)





200 000 przejść osi standardowej

Test US Army Corps of Engineers – faza 2 (2012)

Test Item	Pavement Structure	Permanent Surface Deformation (in.)				
		832 ESAL	5,200 ESAL	52,000 ESAL	104,000 ESAL	200,000 ESAL
Item 1	Control	0.00	0.05	0.09	0.17	0.25
Item 2	Stabilized	0.00	0.00	0.13	0.21	0.28

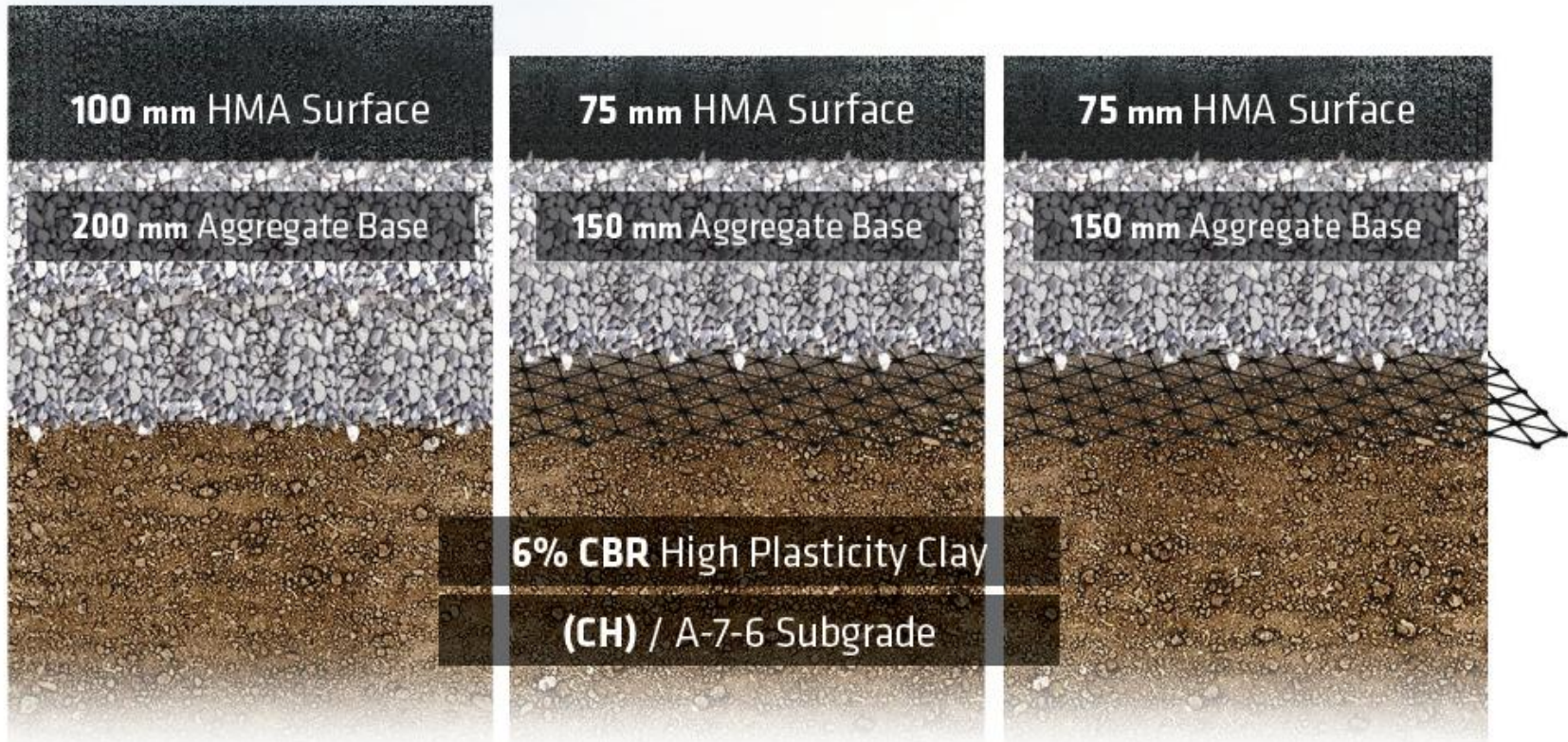
Table 1. Permanent surface deformation measurements.

200 000 przejazdów osi standardowej

Non-stabilised section

TX5 Section

TX8 Section

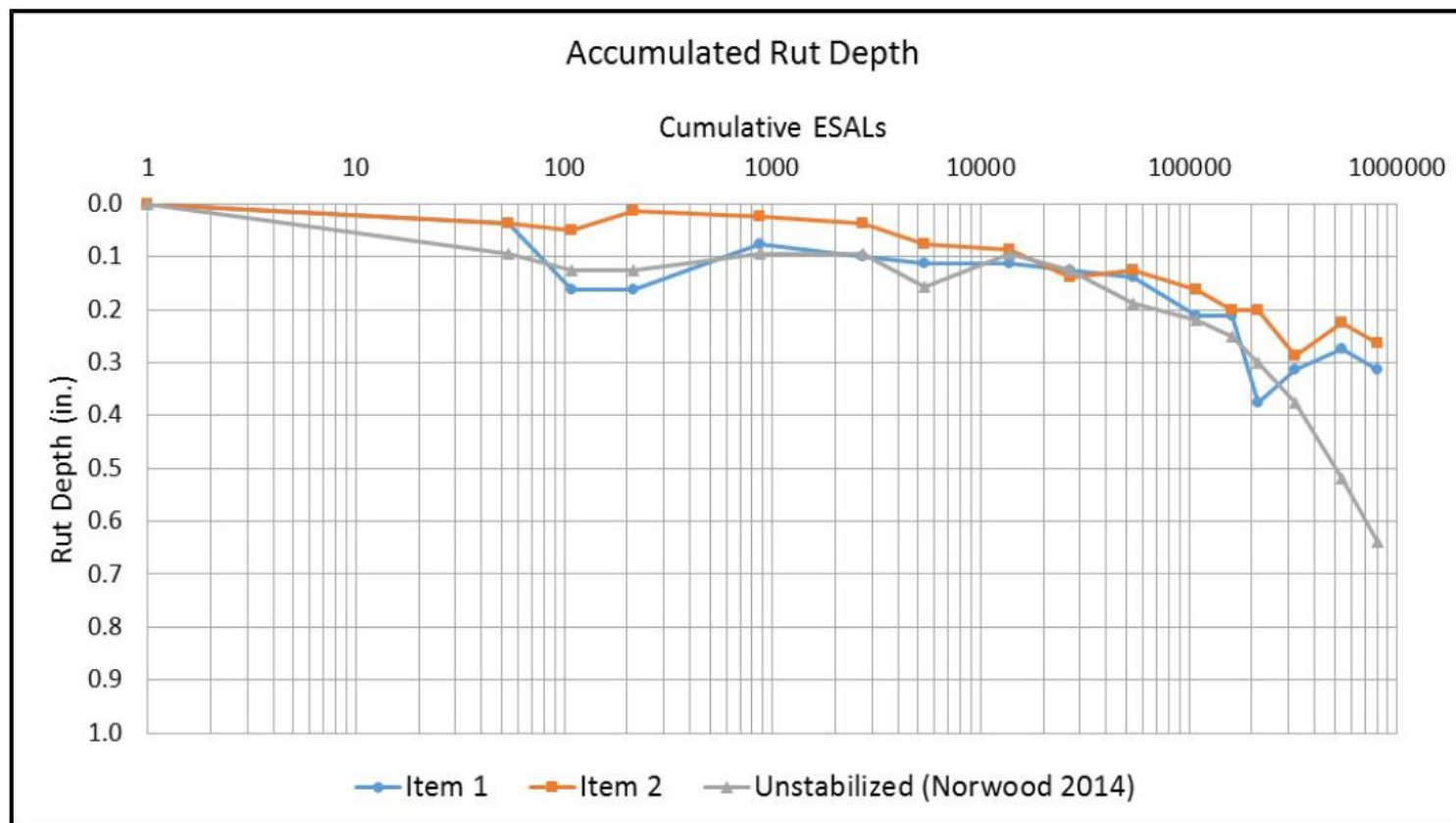
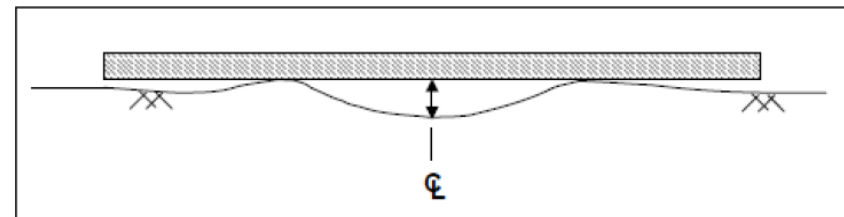


800 000 przejść osi standardowej

Obciążenie ruchem – do 800 000 przejeżdż osi

Pomiar głębokości koleiny

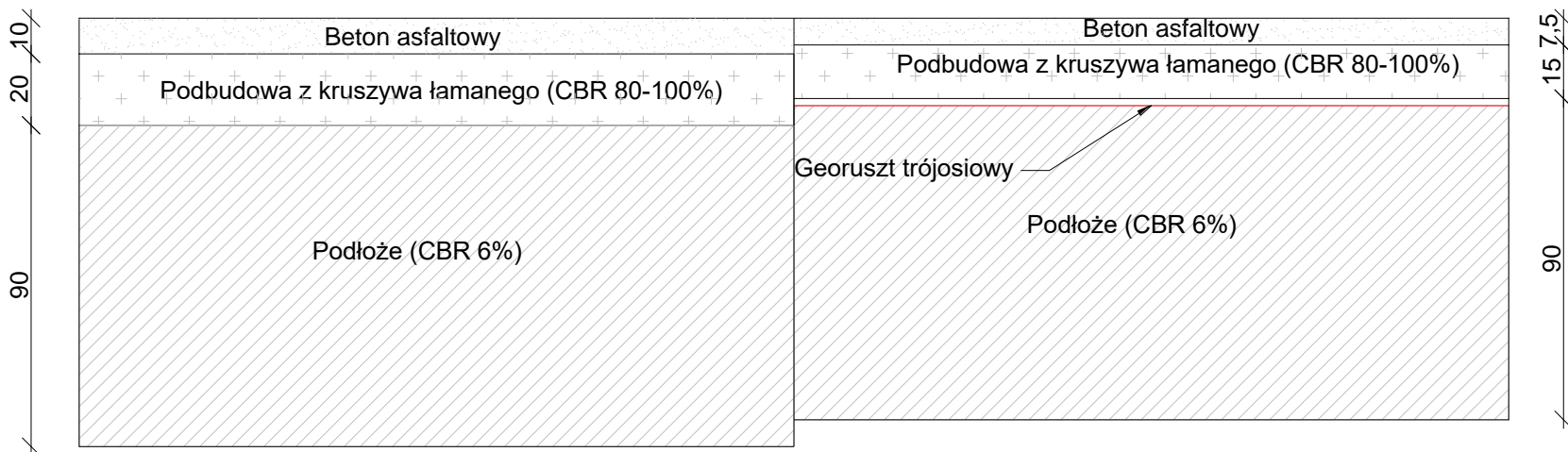
Figure 18. Measurement of maximum rut depth.



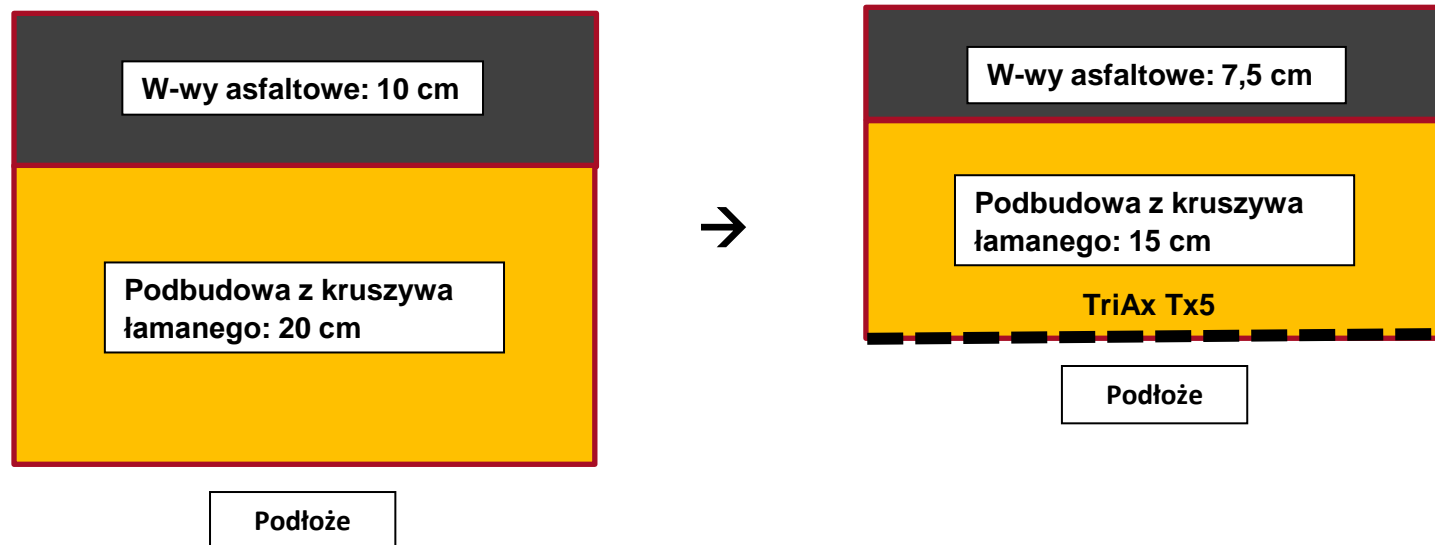
Wnioski z badania USACOE. Różnice w grubościach

Konstrukcje z podbudową stabilizowaną georusztem trójosiowym Tensar TriAx TX 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



Wnioski z badania USACOE. Oszczędności



- 2,5 cm warstw asfaltowych: ok. 12 zł/m²
- 5 cm podbudowy z kruszywa łamanego: ok. 8 zł/m²
- Tensar TriAx Tx5: ok 10 zł/m² (z kosztem zakładów i ułożenia)
- **Oszczędności: ok 10 zł/m² nawierzchni**

Modyfikacja metody mechaniczno-empirycznej

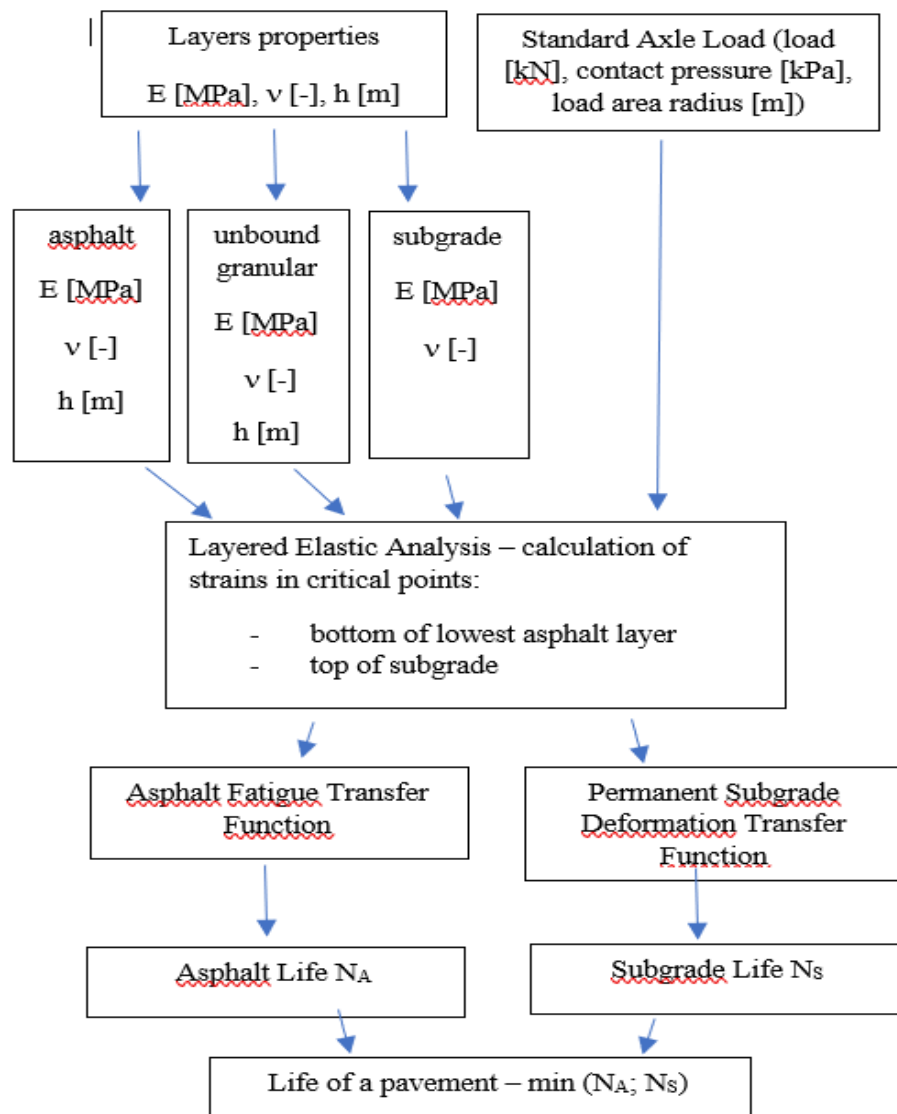
Uwzględnienie wpływu stabilizacji podbudowy georusztem
Tensor TriAx:

Wykorzystujemy „Model wpływu georusztu” opracowany w firmie Tensor na podstawie analizy wyników badań odcinków próbnych w USACoE i wielu innych wcześniejszych testów

„Model wpływu georusztu” wykorzystuje dwa elementy:

- **Zwiększenie modułu sprężystości** warstwy kruszywa niezwiązanego
- **Zwiększenie obliczonej trwałości** nawierzchni – „Shift Factors”

Standardowa metoda mechanistyczno-empiryczna

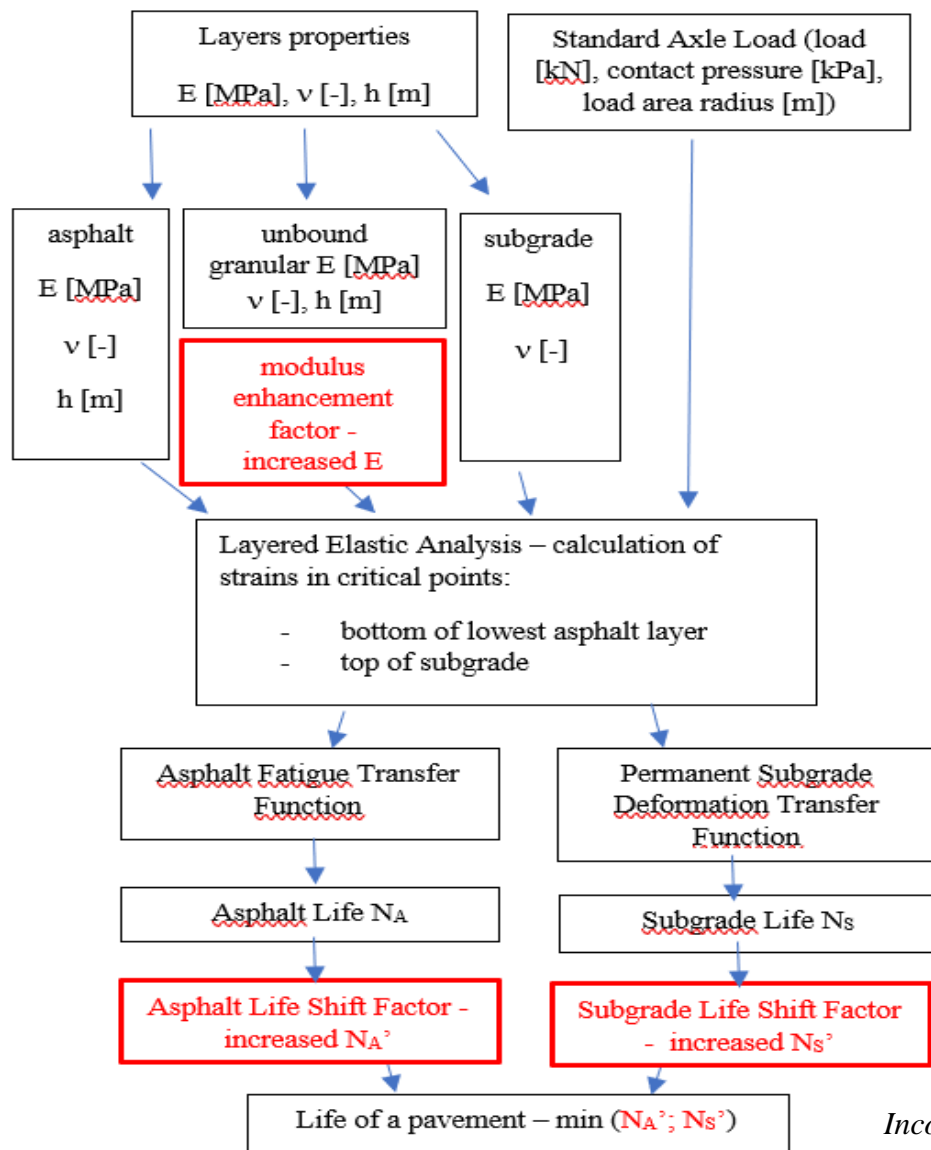


Na podst. publikacji:

Incorporation of the Influence of Hexagonal Stabilisation Geogrids Into Mechanistic-Empirical Pavement Design Method,

M. Horton, P. Mazurowski, T. Oliver (Tensar), ISGTI 2018 New Delhi 7-8.04.2018

Modyfikacja metody mechanistyczno-empirycznej



Na podst. publikacji:

Incorporation of the Influence of Hexagonal Stabilisation Geogrids Into Mechanistic-Empirical Pavement Design Method,

M. Horton, P. Mazurowski, T. Oliver (Tensor), ISGTI 2018 New Delhi 7-8.04.2018

Modyfikacja metody mechanistyczno-empirycznej

Model wpływu georusztu zawiera opracowane przez Tensor formuły służące do obliczenia zarówno **wielkości wzrostu modułu sprężystości** warstwy kruszywa stabilizowanej georusztami TriAx, jak i **współczynników zwiększających obliczoną trwałość** nawierzchni (*Shift Factors*). Formuły te uwzględniają:

- Grubość warstwy stabilizowanego kruszywa
- Grubość warstw asfaltowych
- Nośność podłoża
- Odległość pomiędzy georusztem a warstwami asfaltowymi oraz pomiędzy georusztem a podłożem
- Odmianę georusztu TriAx

Oprogramowanie do projektowania konstrukcji nawierzchni

TensorPave – metoda empiryczna (modyfikacja metody AASHTO'93)
Spectra M-E – metoda mechanistyczno-empiryczna

The screenshot displays the TensorPave software interface. The main window shows a 'Paved Application Design Analysis - Data Input' section with two tables: 'Non-stabilised Section' and 'Stabilised Section'. The 'Stabilised Section' table includes a 'Calculated Traffic, ESALs' value of 3,319,000. Below the tables are cross-section diagrams for ACC1, MSL, and SBC layers with their respective thicknesses (40mm, 80mm, 200mm for non-stabilised; 75mm, 150mm, 150mm for stabilised). A 'Preview Life' window is overlaid on top, showing a 'Target Life ESALS' of 3,306,595 and a table of 'Calculated Life ESALS' for different materials. The table includes 'Asphaltdeckschicht' (1,416,700), 'TriAx TX150' (14,555,595), and 'Axle Dual Wheel' (1,416,700). A 'Close' button is visible at the bottom right of the preview window.

Material Name	Thickness mm	Geosynthetics	Calculated Life ESALS
Asphaltdeckschicht	75		1,416,700
TriAx TX150			14,555,595
			15,427,739
Axle Dual Wheel			1,416,700

Target Life ESALS: 3,306,595

Target Traffic (ESALs) = 1,220,000

Calculated Traffic, ESALs (Stabilised Section): 3,319,000

Calculated Traffic, ESALs (Non-stabilised Section): 1,725,000

Calculated Life ESALS (Asphaltdeckschicht): 1,416,700

Calculated Life ESALS (TriAx TX150): 14,555,595

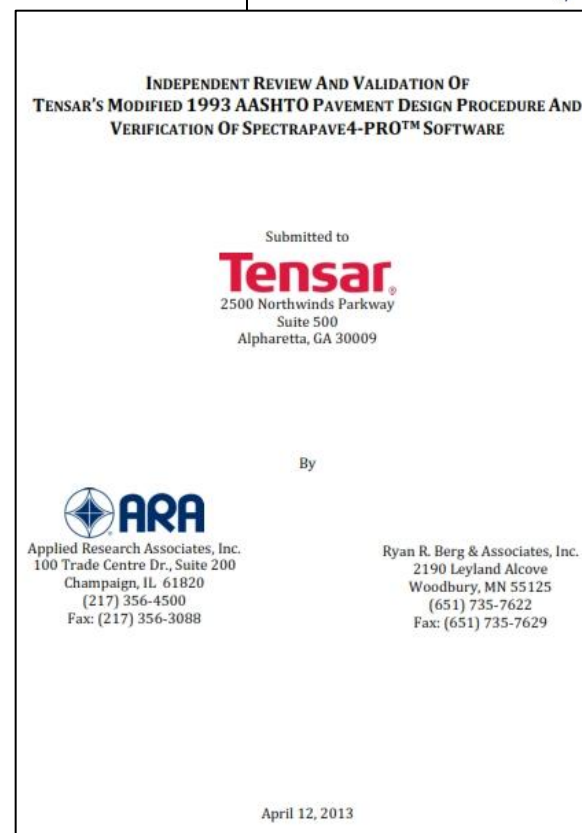
Calculated Life ESALS (Axle Dual Wheel): 1,416,700

Weryfikacja metod projektowych wykonana przez ARA

- Weryfikacja metod projektowych: empirycznej – program TensorPave, 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**.



RA
ciates, Inc.
Suite 200
1820
yer, P.E.
k, PhD, P.E.



Optymalizacja nawierzchni. Podsumowanie korzyści

Optymalizacja nawierzchni z wykorzystaniem georusztów TriAx pozwala na:

- Redukcję grubości konstrukcji nawierzchni
- Wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni
- Skrócenie czasu realizacji
- Zmniejszenie ilości/objętości robót ziemnych
- Zmniejszenie ruchu budowlanego
- Zmniejszenie nakładów na utrzymanie
- Redukcję emisji zanieczyszczeń do atmosfery
- Zmniejszenie uszkodzeń dróg dojazdowych
- Zmniejszenie ilości okresów wyłączeń nawierzchni z ruchu na czas prac utrzymaniowych

Optymalizacja nawierzchni. Podsumowanie korzyści

Optymalizacja nawierzchni z wykorzystaniem georusztów TriAx pozwala na:

- Redukcję grubości konstrukcji nawierzchni
- Wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni
- Skrócenie czasu realizacji
- Zmniejszenie ilości/objętości robót ziemnych
- Zmniejszenie ruchu budowlanego
- Zmniejszenie nakładów na utrzymanie
- Redukcję emisji zanieczyszczeń do atmosfery
- Zmniejszenie uszkodzeń dróg dojazdowych
- Zmniejszenie ilości okresów wyłączeń nawierzchni z ruchu na czas prac utrzymaniowych

OPTYMALIZACJA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA

Zwiększenie trwałości zmęczeniowej nawierzchni bez zwiększania jej grubości

GPR2015 wykazał istotne zwiększenie ruchu w stosunku do założeń projektowych (projekt opracowany w r. 2010). Zamawiający zdecydował się na zastosowanie georusztów trójosiowych w celu uzyskania wymaganej trwałości bez konieczności pogrubiania konstrukcji.

Długość odcinka: 2,3 km

Obwodnica Rzepina w ciągu DW134 i DW139 – dojazd do węzła A2 (2017)

Zaprojektowana konstrukcja:

- Warstwa ścieralna z SMA11: 4 cm
- Warstwa wiążąca z AC16W: 9 cm
- Podbudowa zasadnicza z AC22P: 10 cm
- Podbudowa pomocnicza (dolna warstwa pod. zasadniczej) z MN C90/3 0/31,5 stabilizowanej georusztem **Tensar TriAx TX5**: 20 cm
- Warstwa technologiczna: grunt stabilizowany cementem $R_m = 1,5$ MPa: 10 cm
- Podłoże G1

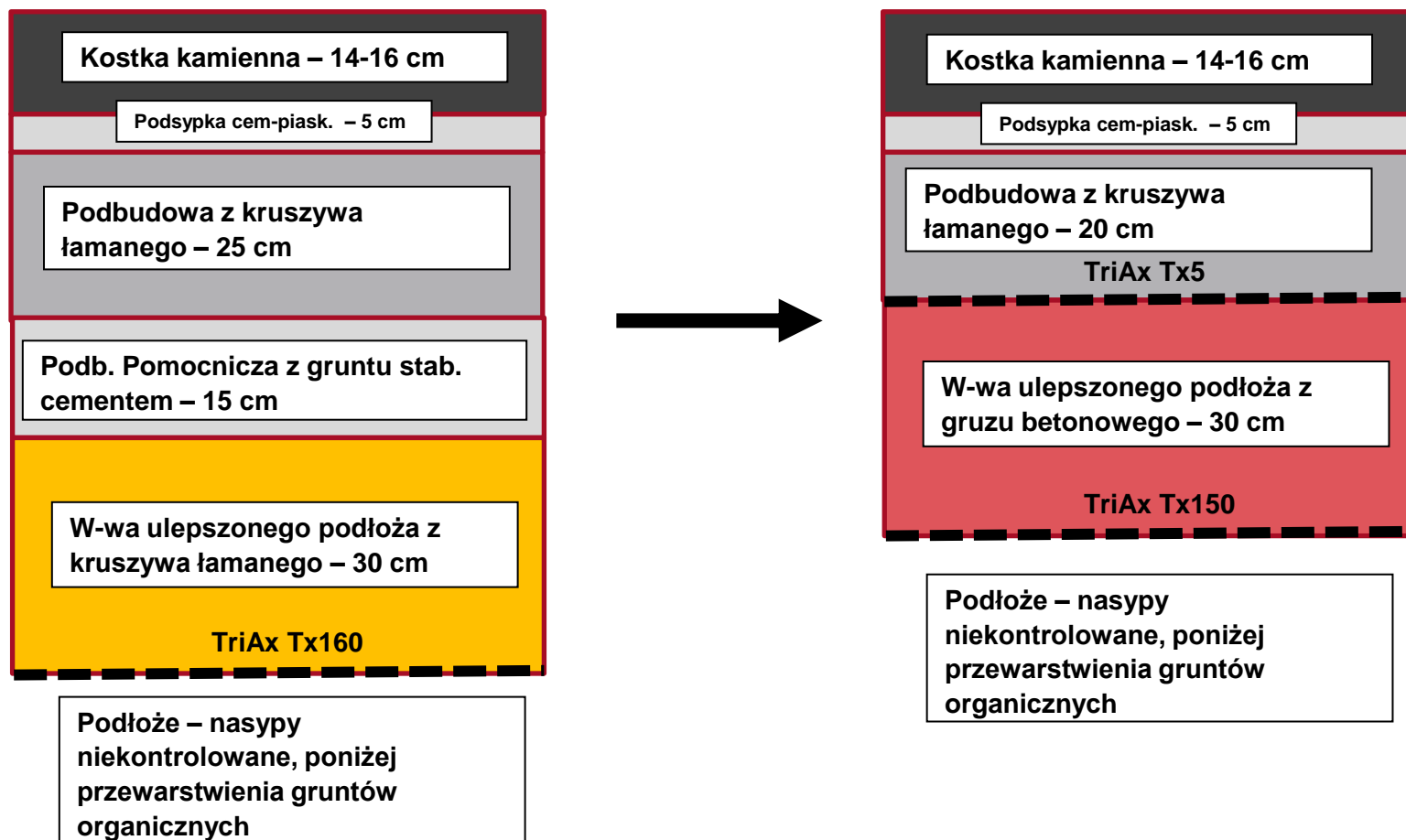
Obwodnica Rzepina w ciągu DW134 i DW139 – dojazd do węzła A2 (2017)



Obwodnica Rzepina w ciągu DW134 i DW139 – dojazd do węzła A2 (2017)



- Ulica na Starym Mieście w Gdańsku
- Wykonawca poszukiwał możliwości odchudzenia konstrukcji i zastosowania tańszego kruszywa









Przebudowa ulicy Św. Ducha w Gdańsku (2017)



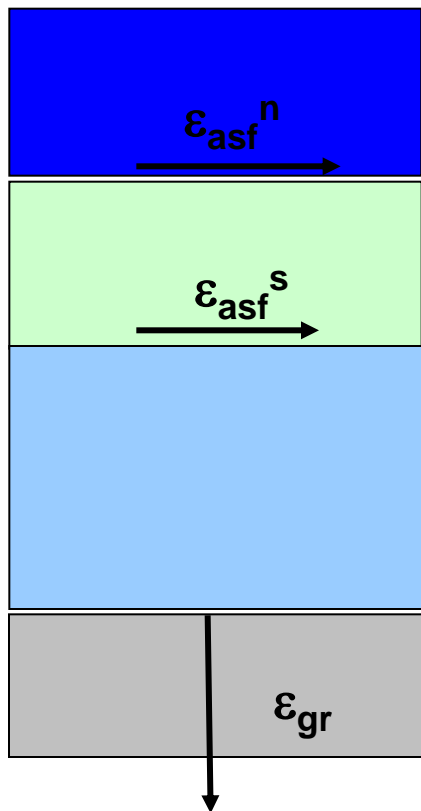
ZBROJENIE WARSTW ASFALTOWYCH NAWIERZCHNI.
ZWIĘKSZENIE TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Zbrojenie warstw asfaltowych nawierzchni drogowych

Zastosowanie **kompozytów** Tensor typu AR- GN/AR-GNs:

- Modernizacja i remonty istniejących nawierzchni drogowych
 - Zbrojenie nowych warstwach asfaltowych
 - Wydłużenie **trwałości zmęczeniowej** nawierzchni
 - Zapobieganie spękanom odbitym
 - Zabezpieczanie połączenia podłużnego nawierzchni
-
- Rozwiązanie: **Zbrojenie nowych warstw asfaltowych**

Zbrojenie nakładki nawierzchni istniejącej.
Wydłużenie trwałości zmęczeniowej



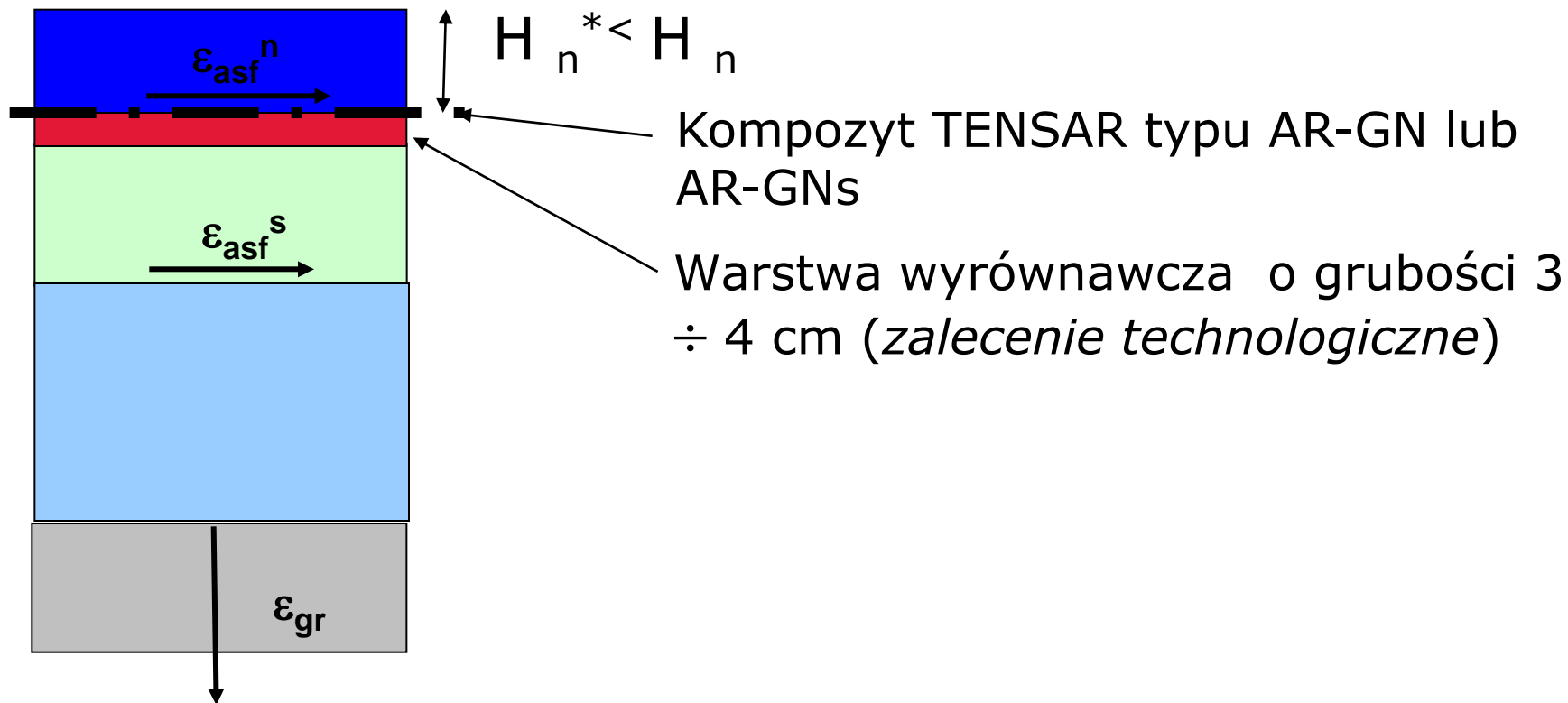
Nowe warstwy asfaltowe

Istniejące warstwy asfaltowe -
frezowanie całkowite lub częściowe

Istniejąca podbudowa

Podłoże gruntowe

Zbrojenie nakładki nawierzchni istniejącej.
 Wydłużenie trwałości zmęczeniowej



Zbrojenie nakładki nawierzchni istniejącej.

Wydłużenie trwałości zmęczeniowej

1. ϵ_{asf}^n \longrightarrow $N_{f \text{ asf}}^n$
2. ϵ_{asf}^s \longrightarrow $N_{f \text{ asf}}^s \times (1 - D/100)$
(uwzględnienie szkody zmęczeniowej)
3. ϵ_{gr} \longrightarrow $N_{f \text{ gr}}$

Zbrojenie nakładki nawierzchni istniejącej. Wydłużenie trwałości zmęczeniowej

Wskutek zastosowania zbrojenia warstw asfaltowych w postaci kompozytu TENSAR typu AR-GN/AR-GNs

Istnieje możliwość zwiększenia trwałości zmęczeniowej nowych warstw asfaltowych

o współczynnik $f_s = 2,0 \div 2,5$

$$\mathbf{N_{f\ asf}^n \times f_s (2,0 \div 2,5)}$$

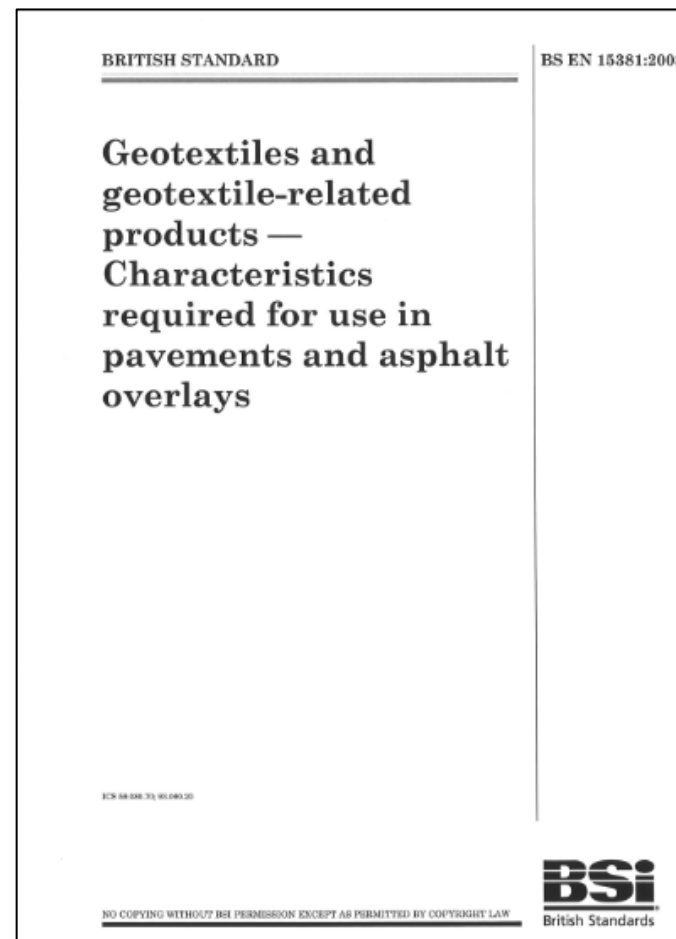
Funkcje kompozytów w warstwach asfaltowych

EN 15381 (Norma europejska)

PN-EN 15381 (Norma krajowa)

Oznakowanie CE-zgodne z przeznaczeniem i funkcją wyrobu dla **kompozytów** stosowanych do warstw asfaltowych:

- **Zbrojenie/Reinforcement**
- **Rozpraszanie naprężeń (absorpcja)/Stress-relief**
- **Nieprzepuszczalna bariera dla wody/Water barrier**



Regulacje formalne.

Różne funkcje materiału w warstwach asfaltowych

Dokument CE (**Deklaracja Właściwości Użytkowych** (*Declaration of Performance*) dla kompozytu **Tensar AR-GN** lub **AR-GNs** opisuje funkcje:



1. Niepowtarzalny kod identyfikacyjny wyrobu:

ARG_N

2. Numer typu, partii lub serii lub jakikolwiek inny element umożliwiający identyfikację wyrobu budowlanego, wymagany zgodnie z art. 11 ust. 4:

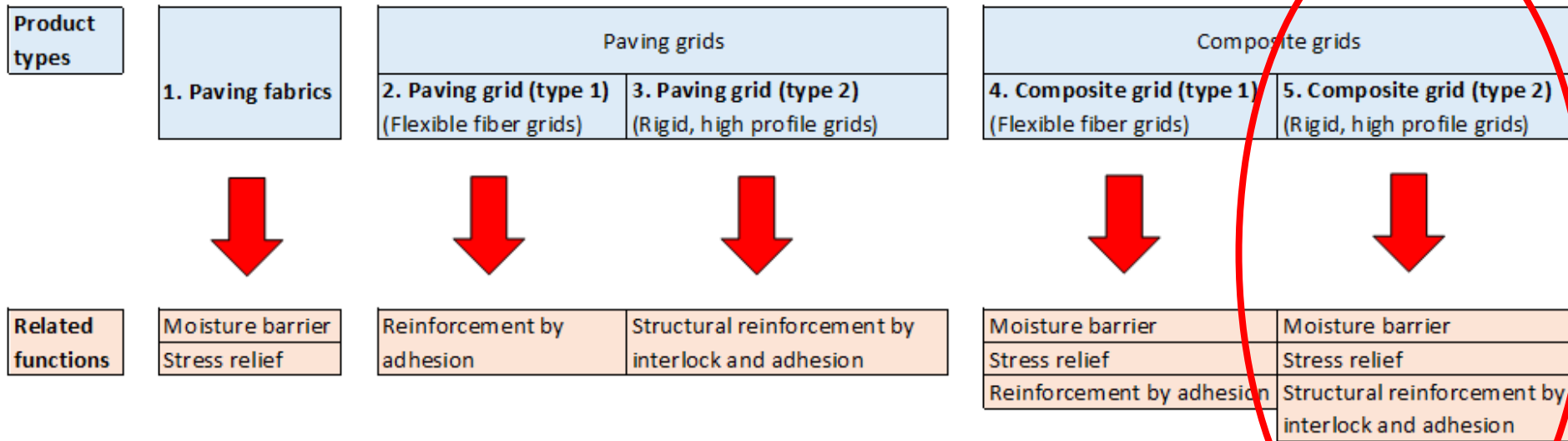
Geokompozyt ARG_N – numer partii umieszczony na opakowaniu wyrobu

3. Przewidziane przez producenta zamierzone zastosowanie lub zastosowania wyrobu budowlanego zgodnie z mającą zastosowanie zharmonizowaną specyfikacją techniczną:

Do zastosowań w nawierzchniach i nakładkach asfaltowych

Przeznaczenie: zbrojenie, rozłożenie naprężeń i bariera

Przegląd dostępnych produktów w zależności od pełnionej funkcji



Kompozyt Tensar *AR-GN* & *AR-GNs*



Typ:

Kompozyt składający się z:

- monolitycznej (sztywnej) siatki zbrojeniowej z PP
- włókniny o gramaturze $\geq 130\text{g/m}^2$

Dane techniczne:

szerokość: **3.80 (standard)** / 3.00 / 1.90 / 1.50 / 0.95 m (na życzenie)

długość: 75 m

wytrzymałość: 20 / 20 kN/m

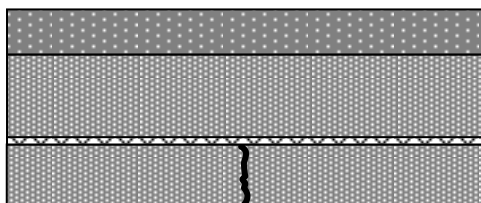
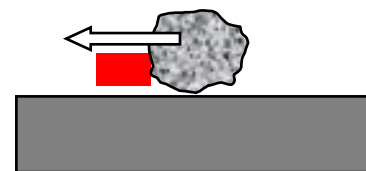
wymiar oczka: **65/65**mm(*AR-GN*) & **39/39**mm(*AR-GNs*)

Kompozyt Tensor *AR-GN* & *AR-GNs*

Funkcje:

1. Zbrojenie
2. Redukcja naprężeń (absorpcja)
3. Nieprzepuszczalna bariera dla wody

Zakres zastosowań:



Nowa: Warstwa ścierna

Nowa: Warstwa wiążąca $\geq 7\text{cm}$ ($\geq 6\text{cm}$: *AR-GNs*)

Tensor *AR-GN* / *AR-GNs*

Istniejąca: nawierzchnia asfaltowa lub betonowa

Kryteria doboru wyrobów

Produkt	AR-GN/ AR-GNs	GlasstexGrid RN (60/120)	Glasstex P (50/100)	GlasstexPatch (440/880)
Rodzaj wyrobu:	Composite grid (Grid with fabric ≥130g/m ²)	Paving grid (Grid with thin fabric for improved installation)	Composite grid (Grid with fabric ≥130g/m ²)	Composite grid integrated in bitumen membrane
Zbrojenie (opóźnienie powstawania spękań odbitych)	√	√	√	√
Nieprzepuszczalna bariera (increase of frost resistance; indirect improvement of bearing capacity when affected through ingress of water)	√	–	√	√
Absorpcja/redukcja naprężeń (for thermal cracking; wide crack opening; aged asphalt & concrete substrates)	√	–	√	√
Zbrojenie strukturalne (w warunkach słabego podłoża gruntowego lub niewystarczającej nośności – indywidualne podejście)	√	–	–	–
Pojedyncze spękania (lokalne zastosowania)	√	√	√	√√
Zastosowanie na całej powierzchni	√	√	√	–
Układanie na warstwie sfrezowanej	√	√	√	√
Układanie na istniejącej nawierzchni asfaltowej	√	√	√	√
Układanie na istniejącej nawierzchni betonowej	√	–	√	√
Minimalna grubość warstwy asfaltowej układanej bezpośrednio na siatce/kompozycie [mm]	70	40	40	40

**Dziękuję za uwagę
Pytania...**

