

Bekaert better together

Badanie właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu

Frederik Vervaecke

Zwevegem

Luty 2018 r.

Poufność

Dokument pozostaje wyłączną własnością NV Bekaert S.A.

Jego zawartość musi pozostać poufna, a dostęp do niej mają wyłącznie pracownicy techniczni adresata. Adresatowi nie wolno kopiować dokumentu ani udostępniać jego zawartości, również częściowo, stronom trzecim.

Firma NV Bekaert S.A. ma wyłączne prawo do wnioskowania o patent na wszelkie kwalifikujące się do opatentowania elementy

niniejszego dokumentu.

Firma NV Bekaert S.A. nie odpowiada za skutki wykorzystywania informacji zamieszczonych w niniejszym dokumencie, chyba że nadzoruje taki proces. Firma NV Bekaert S.A. nie odpowiada również za naruszenia praw własności przemysłowej wynikające z wdrożenia informacji zamieszczonych w niniejszym dokumencie.

Zawartość niniejszego dokumentu powstała na bazie rzetelnych badań, ale nie stanowi gwarancji wyników.

3 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badania laboratoryjne

Standaryzowane badania warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu asfaltu:

Właściwości warstwy wewnętrznej



Badanie wytrzymałości na rozciąganie



Badanie utrzymania bituminu

Właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu

Brak standaryzacji

4 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badania laboratoryjne

Znaczna różnorodność badań właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu:

1. Próba statyczna: Próba zginania 3- lub 4-pt:

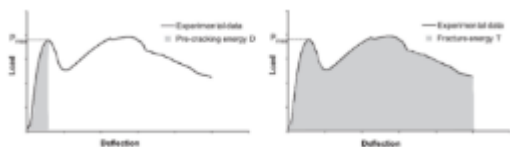


Zalety:

krótkie badanie,

proste przygotowanie,

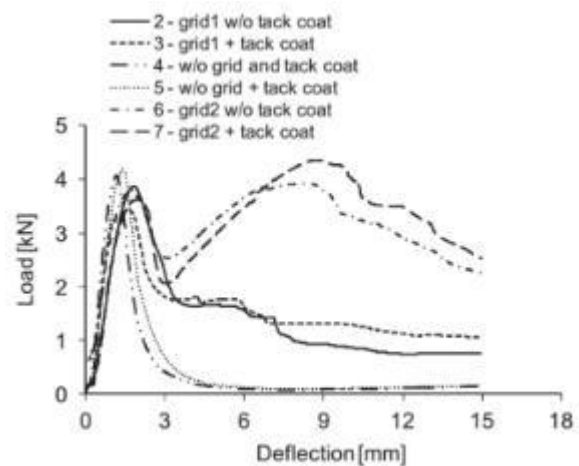
relatywnie duże próby,



Kontrargument:

Istotne w kontekście zastosowania?

Zawiła interpretacja,



Obciążenie [kN]

Odchylenie [mm]

2 siatka 1 bez lepkiej powłoki

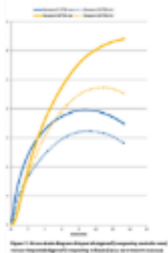
3 siatka 1 + lepka powłoka

4 bez siatki z lepką powłoką

5 bez siatki + lepka powłoka

6 siatka 2 bez lepkiej powłoki

7 siatka 2 + lepka powłoka



Odnotowano i zbadano jedynie pierwszą część krzywej

A.G. Kneepkens, M Verweij, 2015, „Gewapende feiten over asfaltwapening”, Civielm technieken Nr , 30–33

E. Pasquini, M. Bocci, G. Ferrotti, & F. Canestrari, „Laboratory characterisation and field validation of geogrid-reinforced asphalt pavements”, Road Mat. & Pav. Design, 14:1, 17-35.

5 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badania laboratoryjne

Znaczna różnorodność badań właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu:

2. Cykliczna próba gięcia:

G. Ferrotti, F. Canestrari, A. Virgili, A. Grilli, „A strategic laboratory approach for the performance investigation of geogrids in flexible pavements,” Construction and Building

Materials 25 (2011) 2343–2348.

A. Virgili, F. Canestrari, A. Grilli, F.A. Santagata, „Repeated load test on bituminous systems reinforced by geosynthetics”, Geotextiles and Geomembranes 27 (2009) 187–195.

Brown, „An assessment of geogrid use in railways and asphalt applications”, Jubilee 2009.

Brown, Brunton, Hughes & Bodrick, 1985, „Polymer grid reinforcement of asphalt”, Journal of Asphalt Technology, 54, 18–41.

Brown Thom, & Sanders, 2001, „A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking”, Journal of Asphalt Paving Technology; 70, 543–570.

S. Fallah & A. Khodaii, 2015, „Reinforcing overlay to reduce reflection cracking; an experimental investigation”, Geotextiles & Geomembranes 43, 216–227.

D.Z. Zamora-Barraza, M.A. Calzada-Pérez, D. Castro-Fresno, A. Vega-Zamanillo, 2011, „Evaluation of anti-reflective cracking systems using geosynthetics in the interlayer zone, Geotextiles & geomembranes 29, 130–136.

J. Norambuena-Contreras, & I. Gonzalez-Torre, 2015, „Influence of geosynthetic type on retarding cracking in asphalt pavements”, *Construction & Building Materials* 78, 412–429.

I. Gonzalez-Torre, M. Calzada-Perez, A. Vega-Zamanillo, D. Castro-Fresno, 2015, „Evaluation of reflective cracking in pavements using a new procedure that combine loads with different frequencies”, *Construction & Building Materials* 75, 368–374.

Wiele konfiguracji i grup badawczych posiada własne badania (Nottingham, Santander, Teheran, Włochy, ...)

6 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

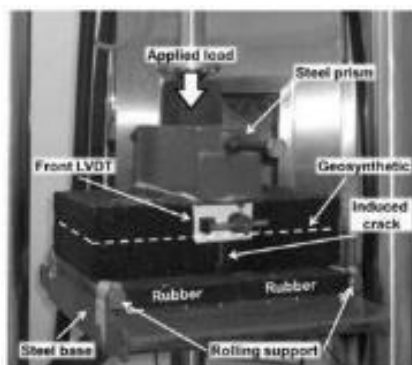
Badania laboratoryjne

Znaczna różnorodność badań właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu:

2. Cykliczna próba gięcia:

Wiele konfiguracji i grup badawczych posiada własne badania (Nottingham, Santander, Teheran, Włochy, ...)

Przykład:



Zastosowana głowica

Przód LVDT

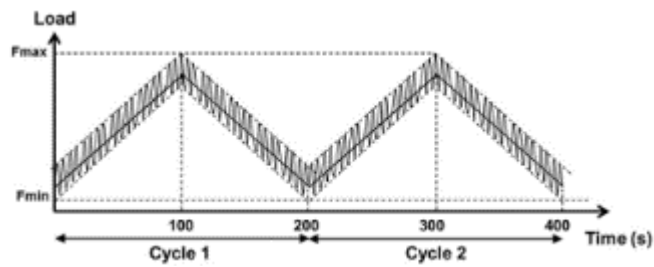
Stalowa podstawa:

Guma

Podpora walcowania

Powstałe pęknięcie

Geosynt.



Obciążenie

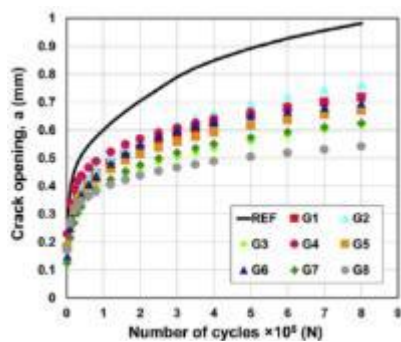
$F_{\max}$

$F_{\min}$

Cykl 1

Cykl 2

Czas (s)



Pęknięcie (mm)

Liczba cykli  $\times 10^5$  (N)

Kontrargument:

Długie badanie

Rozbieżności wyników (osłabienie)

Zawiła interpretacja

7 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

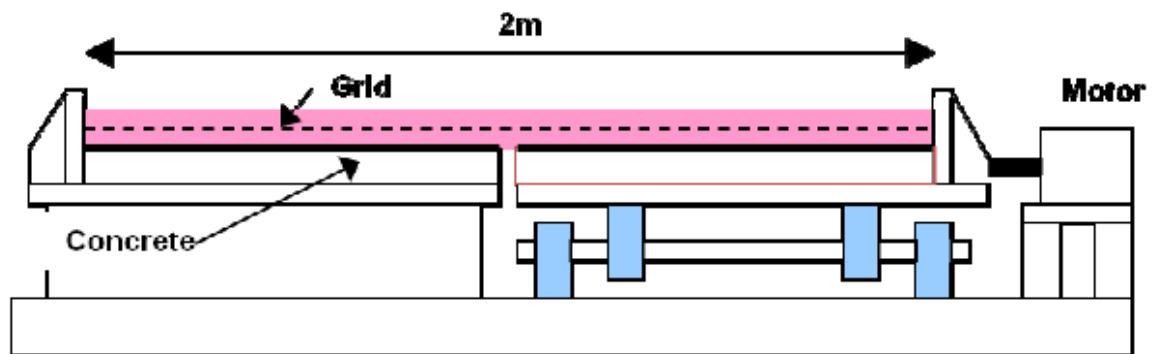
Badania laboratoryjne

Znaczna różnorodność badań właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu:

3. Próba przemieszczenia termicznego:

Wiele konfiguracji i grup badawczych posiada własne badania (Nottingham, Teksas, Belgia, ...)

Przykład:



Beton

Siatka

Silnik

Kontrargument:

Długie badanie

Rozbieżności wyników (osłabienie)

Wymagana specjalna konfiguracja

Zalety:

Realistyczne sezonowe przemieszanie się

Możliwe relatywnie duże próby

J. Li, J. Oh, B Naik, G.S. Simate, L.F. Walabitu, „Laboratory characterization of cracking-resistance potential of asphalt mixes using overlay tester”, Con. & Build, mat. 70 (2014), 130–140;

L.F. Walubita, A.N.M. Faruk, J. Zhang, X. Hu, „Charaterizing the cracking & fracture properties of geosyntehtic interlayer reinforced HMA samples using the Overlay Tester (OT)”, Con.& Build, mat. 93 (2015), 695–702;

F. Zhou, S. Hu, D. Chen, T. Scullion, „Overlay tester: A simple performance test for fatigue cracking”, TRB 2007 Annual Meeting

R. Lytton, „Use of geotextiles for reinforcement and strain belief in asphalt concrete”, Geotextiles and Geomembranes 8 (1989) 217–237

8 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badania laboratoryjne

Znaczna różnorodność badań właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu:

#### 4. Badania osłabienia na dużą skalę:

Wiele konfiguracji i grup badawczych posiada własne badania (Francja, Hiszpania, Szwajcaria, Holandia, ...)

Przykład:



Kontrargument:

Długie badanie

Rozbieżności wyników (osłabienie)

Wymagana specjalna konfiguracja

Kompletna struktura drogi, nie

tylko asfalt/międzywarstwowy

kompozyt

Bardzo wysoka cena

Zalety:

Realistyczna sytuacja

Cała struktura drogi

<https://www.hbm.com/en/5949/cedex-test-track-accelerated-pavement-testing/>

9 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badania laboratoryjne

Ważne właściwości warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu:

Badanie kompozytu (warstwa wewnętrzna, lepka powłoka i asfalt) pod kątem aplikacji tożsamej z praktyką,

Spękanie odbite jest objawem zmęczenia materiału, należy przeprowadzić badania cykliczne,





Wymiary próbek należy dostosować do wymiarów warstw wewnętrznych zapobiegających pękaniu, Szczegóły asfaltu, lepkiej powłoki, warstwy bazowej należy zachować bez zmian,



Położenie siatki poliestrowej

Pęknięcie w starym chodniku

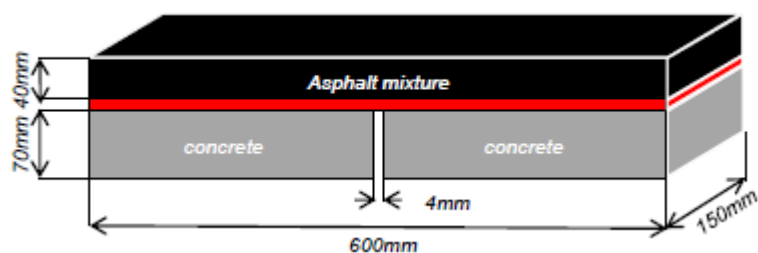
10 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Próba płyty termicznej:



Asfaltobeton

Beton

System warstwy wewnętrznej:

wzmocnienie + warstwa bituminu

obiekt na łożu z kulek stalowych, swobodne przemieszczanie w poziomie

komora klimatyzowana (-10°C),

powolne cykliczne otwieranie i zamykanie połączenia (1 mm) poprzez kurczenie i rozszerzanie się ramy ładującej,

Obserwacje:

inicjacja i powiększanie się pęknięć (widać na zdjęciach),

zastosowana siła,

otwarte łączenie (0–1 mm),

relatywne przemieszczenie nakładki (2 cm nad łączeniem).

Procedura operacyjna termicznej próby pęknięcia, Belgian Road Research Centre, październik 2010.

11 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Próba płyty termicznej:

źródło — brak warstwy wewnętrznej

+ 300 g/m<sup>2</sup> lepkiej powłoki

Fortifix® 1-O



(38x50) kN/m

(3100x4400) kN/m

+ 300 g/m<sup>2</sup> lepkiej powłoki

Siatka szklana 35x35



(70x100) kN/m

(2800x4000) kN/m

+ 300 g/m<sup>2</sup> lepkiej powłoki

Wszystkie badania przeprowadzono w tym samym czasie, aby zachować pełną spójność w zakresie stosowanych materiałów.

12 Wzmacnianie dróg

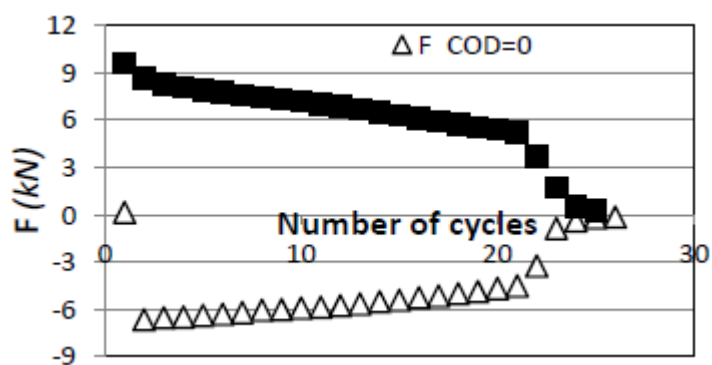
1 lutego 2018 r.

Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Próba płyty termicznej:



Liczba cykli

	F <sub>max</sub> (kN)	Inicjacja pęknięcia		Koniec badania		Uwagi
		liczba cykli	czas (h)	liczba cykli	czas (h)	
Nr ref.	8	1	2	5	10	pęknięcie

Fortifix	9	Na	Na	Na	130	brak pęknięć
	8,7	35	126	35	126	rozwarstwienie
	9,5	15	42	24	90	pęknięcie
Siatka szklana	9,6	8	32	11	48	rozwarstwienie
	9,3	28	108	28	108	pęknięcie



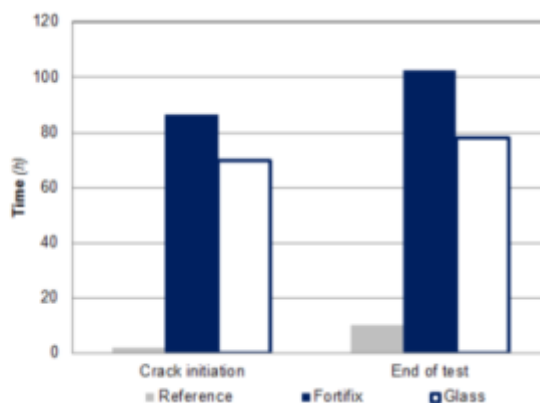
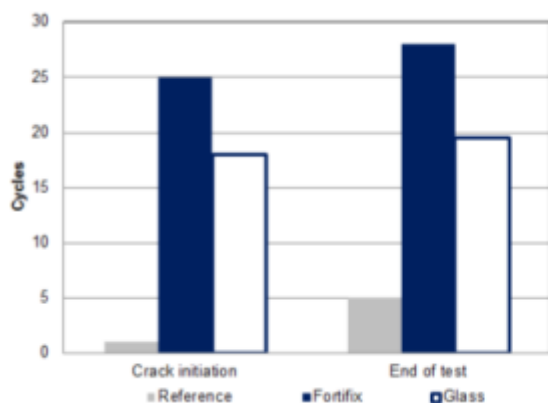
13 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Próba płyty termicznej:



Liczba cykli

Inicjacja pęknięcia

Nr ref.

Fortifix

Koniec badania

Szkło

Czas (h)

Inicjacja pęknięcia

Nr ref.

Fortifix

Koniec badania

Szkło

wartości siły nowej siatki stalowej =  $\frac{1}{2}$  x siatki szklanej i EA są równe  
podobne/lepsze właściwości (15–50%)

14 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Co z FF1 i Carbophalt?

Źródło — brak lepkiej warstwy wewnętrznej 300 g/m<sup>2</sup>

SAMI SAMI PMB 2 kg/m<sup>2</sup>

Siatka węglowa/szklana (120x200) kN/m lepka powłoka 300 g/m<sup>2</sup> (4000x12 000) kN/m

FF1-C (42x54) kN/m lepka powłoka 500 g/m<sup>2</sup> (1 próbka) (3 000x4400) kN/m 700 g/m<sup>2</sup> (2 próbki)

Wyniki wstępne i nieopublikowane

Do publikacji w 2019 r.

15 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Co z FF1 i Carbophalt?

	Lepka powłoka	F <sub>max</sub> (kN)	Inicjacja pęknięcia	Pęknięcie u góry	F <sub>end</sub> (kN)	Uwagi
--	------------------	-----------------------	------------------------	---------------------	-----------------------	-------

	g/m <sup>2</sup>		asfaltu			
			liczba cykli	liczba cykli		
Nr ref.	300	8	1	5	0,04	pęknienie
SAMI	2000	7	1	2	0,04	pęknięcia rozwarstwienie + pęknienie
	2000	9	1	3	0,08	
Węgiel/szkło	300	10,5	2	5	2,6	rozwarstwienie + pęknienie pęknienie
	300	10	1	5	4,2	
FF1-C	500	11,4	2	30	3,7	pęknienie
	700	11,9	1	20	2,8	pęknienie
	700	12	10	50	5,5	pęknienie (jeszcze nie na powierzchni)

Wyniki wstępne i nieopublikowane

Do publikacji w 2019 r.

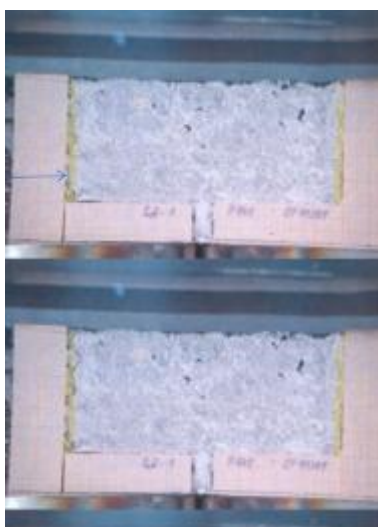
16 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

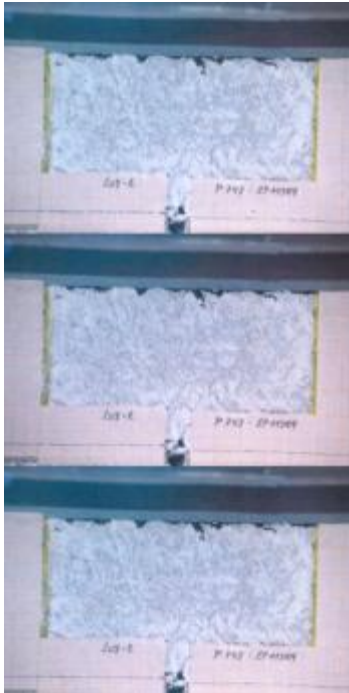
Badanie właściwości produktu Fortifix®

Co z FF1 i Carbophalt?





Węgiel/szkło



Lepka powłoka FF+

Wyniki wstępne i nieopublikowane

Do publikacji w 2019 r.

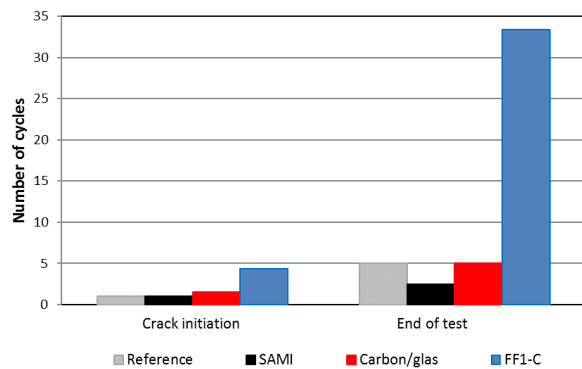
17 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Co z FF1 i Carbophalt?



Liczba cykli

Inicjacja pękania

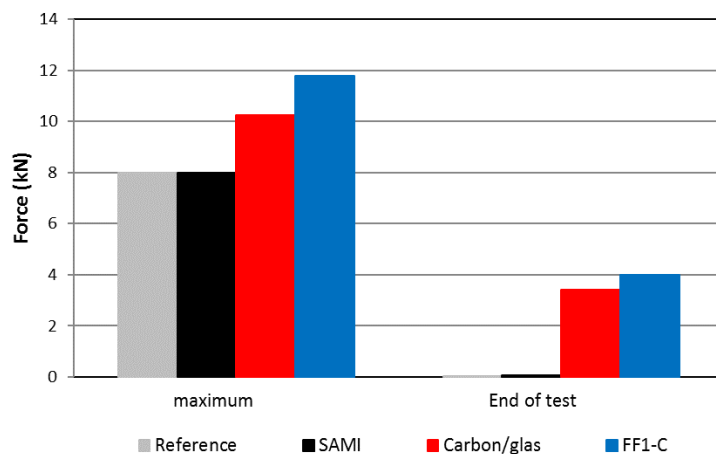
Koniec badania

Nr ref.

SAMI

Węgiel/szkło

FF1-C



Siła (kN)

Maks.

Koniec badania

Nr ref.

SAMI

Węgiel/szkło

FF1-C

Zarówno liczba cykli przed końcem badań, jak i maksymalna siła oraz siła pod koniec badań dowodzą znacznego efektu zapobiegającego powstawaniu i rozszerzaniu się pęknięć.



Wyniki wstępne i nieopublikowane

Do publikacji w 2019 r.

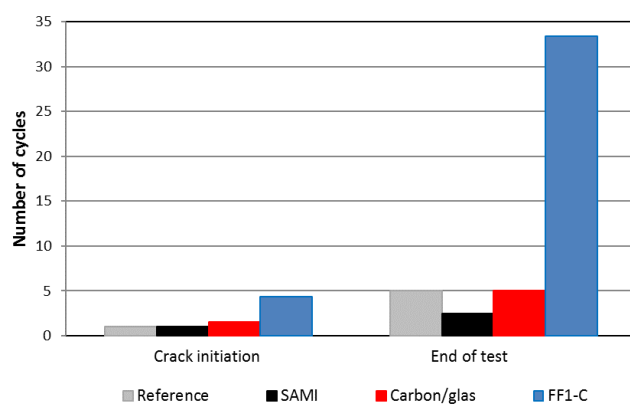
18 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Co z FF1 i Carbophalt?



Liczba cykli

Inicjacja pękania

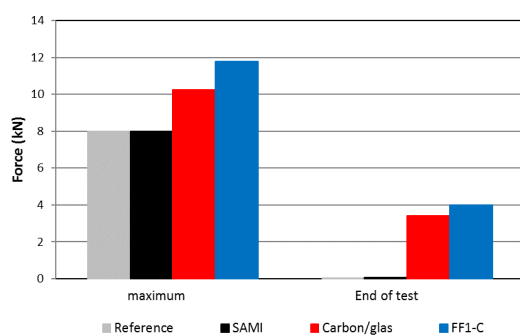
Koniec badania

Nr ref.

SAMI

Węgiel/szkło

FF1-C



Siła (kN)

Maks.

Koniec badania

Nr ref.

SAMI

Węgiel/szkło

FF1-C

Chociaż  $FF = 1/4 \times$  siatka węglowa i  $EA\ FF = 1/3 \times$  siatka węglowa

lepsze właściwości w oparciu o rozprzestrzenianie się pęknięć i wzrost siły

Wyniki wstępne i nieopublikowane

Do publikacji w 2019 r.

19 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together

Badanie właściwości produktu Fortifix®

Jak można wytłumaczyć to zjawisko?

1. Przyleganie do nakładki:

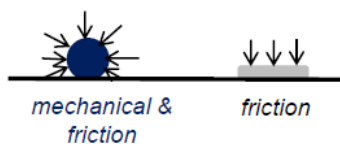


Siatka węglowa/szklana



Produkt stalowy

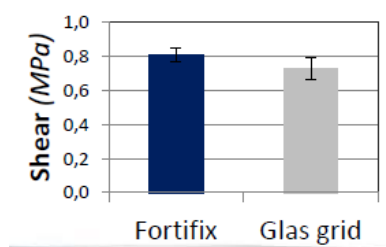
Zazębiająca się struktura 3D gwarantuje kotwienie,



Siły mechaniczne i tarcie

Tarcie

2. Przyleganie: istniejąca powierzchnia i nakładka,



Ścinanie (MPa)

Fortifix

Siatka szklana

Test wytrzymałości na ścinanie:

ograniczona powierzchnia redukcji przez stal w porównaniu do szkła

mniejszy wpływ na interfejs przylegania

Wyniki wstępne i nieopublikowane

Do publikacji w 2019 r.

20 Wzmacnianie dróg

1 lutego 2018 r.

Bekaert better together