

ZAŁĄCZNIK 1
PROJEKT KONSTRUKCJI
NAWIERZCHNI DROGI

dla potrzeb realizacji zadań inwestycyjnych pn.:

„Rozbudowa DW401 w m. Żłobizna.”

SPIS TREŚCI

1. PODSTAWA OPRACOWANIA	3
2. MATERIAŁY WYJŚCIOWE	3
3. WPROWADZENIE	3
4. ZAŁOŻENIA.....	4
4.1. METODA OBLICZEŃ	4
4.2. KATEGORIA RUCHU	4
4.3. OBCIĄŻENIE	4
4.4. TEMPERATURA PROJEKTOWA	4
4.5. SECHAMT OBLICZENIOWY.....	5
4.6. KRYTERIA ZMĘCZENIOWE.....	6
5. OKREŚLENIE PARAMETRÓW WARSTW DO OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ.....	8
5.1. PODŁOŻE KONSTRUKCJI	8
5.2. WARSTWA ULEPSZONEGO PODŁOŻA STABILIZOWANEGO ZIARNISTYM DODATKIEM HYDROFOBOWYM	8
5.3. WARSTWA PODBUDOWY ZASADNICZEJ Z MIESZANKI NIEZWIĄZANEJ	8
5.4. WARSTWY ASFALTOWE.....	8
6. PROJEKTOWANE WARSTWY KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI	9
7. WYNIKI OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ	10
8. SPRAWDZENIE WARUNKU ODPORNOŚCI NAWIERZCHNI NA WYSADZINY.....	11
9. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI PROJEKTOWANEGO WZMOCNIENIA PODŁOŻA	11
10. ZESTAWIENIE KONSTRUKCJI	12

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Opracowanie konstrukcji nawierzchni drogi wykonano na potrzeby projektu:

Rozbudowa DW401 w m. Żłobizna.

CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest wykonanie projektu podatnej konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych. Opracowanie obejmuje drogę wojewódzką DW401 (KR4).

2. MATERIAŁY WYJŚCIOWE

W opracowaniu wykorzystano następujące materiały:

- [1] Ocena warunków geologiczno-inżynierskich, Geoprojekt Śląsk, Katowice 2020 r.,
- [2] „Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie” z 2 marca 1999 r. (tekst jednolity),
- [3] Wymagania Techniczne WT-2 „Nawierzchnie asfaltowe”, Warszawa 2016 r.,
- [4] Wymagania Techniczne WT-4 „Mieszanki niezwiązane”, Warszawa 2010 r.,
- [5] Wymagania Techniczne WT-5 „Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym”, Warszawa 2010 r.,
- [6] „Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych KWRNPP-2012”, IBDiM, Warszawa 2012 r.,
- [7] „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych” – załącznik do zarządzenia nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 16.06.2014 r.,
- [8] „Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”, praca zbiorowa pod redakcją J. Judyckiego, Warszawa 2014 r.
- [9] „Analiza porównawcza izolacyjności nawierzchni drogowej z warstwą stabilizowaną ziarnistym dodatkiem hydrofobowym SiccaBASE® trwale zwiększającym odporność na absorpcję kapilarną wody (nr Aprobaty Technicznej IBDiM AT/2011-02-2731/2) z rozwiązaniami typowymi wg KTKNPIP 2014”, Politechnika Śląska, Gliwice 2017 r.

3. WPROWADZENIE

Projekt konstrukcji nawierzchni drogi DW401 opracowano z wykorzystaniem obliczeń mechanistyczno-empirycznych przyjmując następujące założenia:

- okres eksploatacji – 20 lat,
- obliczeniowa oś standardowa – 100 kN,
- dopuszczalny nacisk na oś – 115 kN (uwzględniany na etapie prognozy ruchu),
- kategoria ruchu – KR4.

Dla trasy głównej drogi DW401 przyjęto podłoże G4. W przypadku wystąpienia gruntów przewilgoconych w stanie plastycznym <25 MPa (G4*) należy dokonać osuszenia wapnem lub spoiwem hydraulicznym.

4. ZAŁOŻENIA

4.1. METODA OBLICZEŃ

Projekt konstrukcji nawierzchni opracowano zgodnie z metodą mechanistyczno-empiryczną wykorzystującą kryteria zmęczenia AASHTO 2004 oraz Instytutu Asfaltowego. Proces projektowania przebiegał następująco:

- określenie kategorii ruchu oraz grupy nośności podłoża (na podstawie [1]),
- przyjęcie grubości warstw konstrukcji nawierzchni,
- określenie stałych materiałowych poszczególnych warstw (moduł sprężystości/ sztywności E i współczynnik Poissona ν),
- określenie stanu naprężeń, odkształceń i przemieszczeń w modelu konstrukcji,
- wyznaczenie trwałości zmęczeniowej konstrukcji z wykorzystaniem przyjętych kryteriów,
- przeprowadzenie iteracji do momentu optymalnego zaprojektowania warstw konstrukcji.

Do obliczeń stanu naprężeń, odkształceń i przemieszczeń wykorzystano przybliżoną metodę analityczną z wykorzystaniem modelu warstw skończonych konstrukcji nawierzchni i podłoża.

4.2. KATEGORIA RUCHU

Drogę projektuję się na 20 letni okres eksploatacji. Na całej długości drogi zaprojektowano konstrukcję dla największego wyznaczonego obciążenia ruchem (KR4). Jako wymaganą wartość trwałości zmęczeniowej przyjęto 7,3 mln osi 100 kN/pas/20 lat.

4.3. OBCIĄŻENIE

W obliczeniach przyjęto następujące parametry obciążenia modelu:

- pojedyncze koło o obciążeniu 50 kN (standardowa oś obliczeniowa 100 kN),
- ciśnienie kontaktowe na styku opony i nawierzchni – 850 kPa.

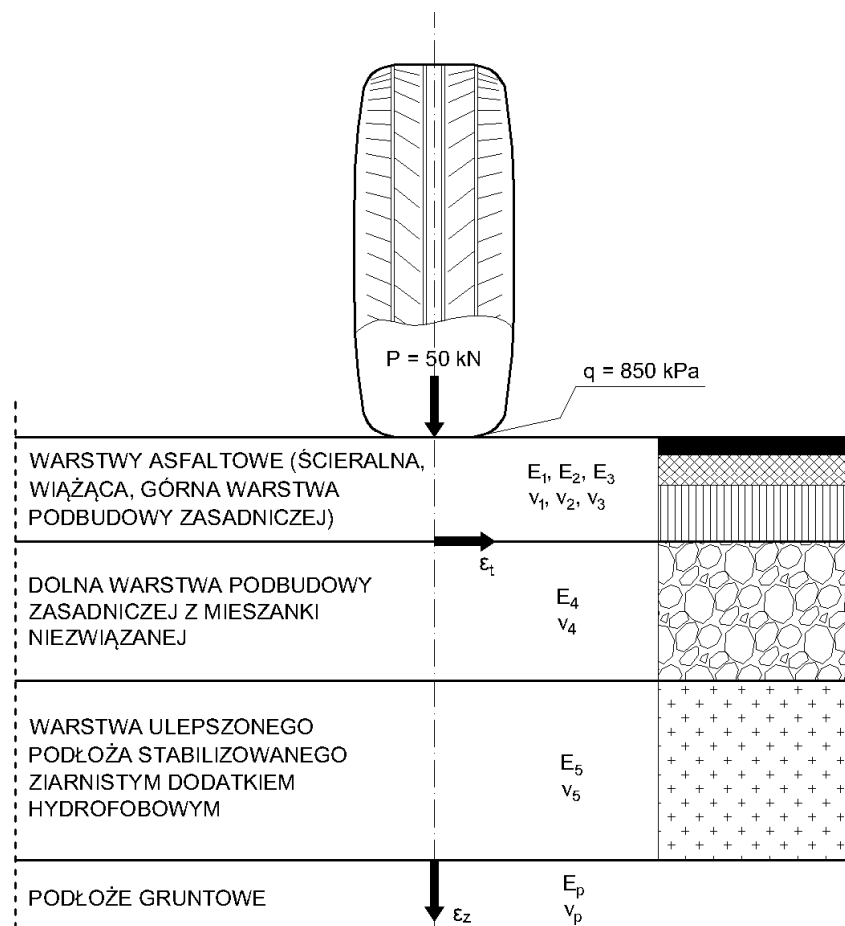
Obciążenie koła jest przyłożone na powierzchni najwyższej warstwy modelu nawierzchni i podłoża.

4.4. TEMPERATURA PROJEKTOWA

Do wyznaczenia modułu sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych przyjęto temperaturę ekwiwalentną na poziomie +13°C.

4.5. SECHAMT OBLICZENIOWY

Obliczenia wykonano metodą analityczną dla modelu konstrukcji będącej układem skończonych warstw sprężystych. Ogólny schemat modelu obliczeniowego przedstawiono poniżej.



Gdzie:

E – moduł sprężystości/sztywności materiału warstwy [MPa]

v – współczynnik Poissona materiału warstwy [-]

P – siła obciążająca model [kN]

q – ciśnienie kontaktowe między oponą, a nawierzchnią [kPa]

ϵ_t – odkształcenia poziome na spodzie warstw asfaltowych [m/m]

ϵ_z – odkształcenia pionowe na powierzchni podłoża gruntowego [m/m]

4.6. KRYTERIA ZMĘCZENIOWE

Trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni określono stosując:

- kryterium spękań zmęczeniowych (AASHTO 2004),
- kryterium deformacji strukturalnych (nośności podłoża gruntowego).

Jako moment zniszczenia nawierzchni przyjmuje się wystąpienie spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych na powierzchni 10% pasa ruchu lub wystąpienie deformacji strukturalnej o głębokości 12,5 mm.

4.6.1. Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych

Wzór określający trwałość zmęczeniową warstw asfaltowych podany w metodzie AASHTO 2004 jest następujący:

$$N = D_{FC} \cdot 7,3557 \cdot (10^{-6}) \cdot C \cdot k'_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281}$$

gdzie:

N_{FC} – liczba powtarzalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych, na FC procentach całkowitej powierzchni pasa ruchu [osi 100kN/pas/okres obliczeniowy]

D_{FC} – szkoda zmęczeniowa wyrażona jako ułamek dziesiętny, odpowiadająca założonej ilości spękań zmęczeniowych FC oraz grubości warstw asfaltowych h_{ac} - wyrażona wzorem:

$$D_{FC} = \frac{1}{100} \cdot 10^{\ln\left(\frac{100}{FC}-1\right) \cdot \frac{1}{C'_2+2}}$$

FC – założona ilość spękań zmęczeniowych [%]

C'_2 – współczynnik zależny od grubości warstw asfaltowych:

$$C'_2 = -2,40874 - 39,748 \cdot \left(1 + \frac{h_{ac}}{2,54}\right)^{-2,856}$$

h_{ac} – grubość wszystkich warstw asfaltowych [cm]

k'_1 – parametr określony w procesie kalibracji, zależny od grubości warstw asfaltowych

$$k'_1 = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1 + e^{(11,02-1,374 \cdot h_{ac})}}}$$

ε_t – odkształcenia rozciągające w osi obciążenia na dolnej powierzchni najniższej warstwy asfaltowej [m/m]

E – moduł sztywności warstwy asfaltowej [MPa]

C – współczynnik zależny od właściwości objętościowych mieszanki mineralno-asfaltowej:

$$C = 10^M$$

$$M = 4,84 \cdot \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69\right)$$

V_b – zawartość objętościowa asfaltu [%]

V_a – zawartość objętościowa wolnej przestrzeni [%]

4.6.2. Kryterium deformacji strukturalnych nawierzchni (podłoża gruntowego)

Zależność pomiędzy dopuszczalną liczbą powtarzalnych obciążeń N do powstania krytycznej deformacji strukturalnej, a odkształceniem pionowym na poziomie podłoża gruntowego ε_p jest następująca:

$$\varepsilon_p = k \cdot (1/N)^m$$

Po przekształceniu wzoru kryterium deformacji strukturalnych konstrukcji nawierzchni określa się:

$$N = \frac{1}{\sqrt[m]{\frac{\varepsilon_p}{k}}}$$

N – liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej w konstrukcji

k , m – współczynniki doświadczalne, równe odpowiednio:

$$k = 1,05 \cdot 10^{-2}$$

$$m = 0,223$$

ε_p – wartość pionowego odkształcenia na powierzchni podłoża gruntowego w osi obciążenia [m/m]

Parametry i współczynniki przyjęte do obliczeń zestawiono w tabeli poniżej.

Nazwa	Symbol	Wartość	Jednostka
Przyjęta ilość spękań zmęczeniowych w stosunku do całej powierzchni pasa ruchu	FC	10	%
Współczynnik doświadczalny dla kryterium deformacji strukturalnych	k	0,0105	-
Współczynnik doświadczalny dla kryterium deformacji strukturalnych	m	0,223	-

5. OKREŚLENIE PARAMETRÓW WARSTW DO OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

5.1. PODŁOŻE KONSTRUKCJI

Podłoże gruntowe zakwalifikowano do grupy nośności podłoża G4.

Współczynnik Poissona podłoża gruntowego do obliczeń przyjęto 0,35.

5.2. WARSTWA ULEPSZONEGO PODŁOŻA STABILIZOWANEGO ZIARNISTYM DODATKIEM HYDROFOBOWYM

Jako warstwę ulepszanego podłoża przyjęto stabilizację ziarnistym dodatkiem hydrofobowym zwiększającym w sposób trwały odporność na absorpcję kapilarną wody. Do obliczeń mechanistycznych przyjęto moduł sprężystości $E = 800 \text{ MPa}$ oraz współczynnik Poissona $\nu = 0,3$.

5.3. WARSTWA PODBUDOWY ZASADNICZEJ Z MIESZANKI NIEZWIĄZANEJ

Jako dolną warstwę podbudowy zasadniczej (bezpośrednio pod mieszanki mineralno-asfaltowe) przyjęto warstwę z mieszanki niezwiązanej 0/31,5 z kruszywem C90/3. Do obliczeń mechanistycznych przyjęto moduł sprężystości $E = 400 \text{ MPa}$ oraz współczynnik Poissona $\nu = 0,3$.

5.4. WARSTWY ASFALTOWE

Do obliczeń przyjęto parametry mieszanek zgodnie z PN-EN 13108 oraz WT-2 2014/16:

- warstwę ścieralną z betonu asfaltowego AC11S,
- warstwę wiążącą z betonu asfaltowego AC16W,
- górną warstwę podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego AC22P.

Czas obciążenia nawierzchni przy prędkości przejazdu 60 km/h przyjmuje się 0,02 s.

W poniższej tabeli zestawiono parametry MMA przyjęte do obliczeń.

Nazwa parametru warstwy	Symbol	Wartość	Jednostka
Moduł sztywności warstwy ścieralnej z AC11S (+13°C)	E_1	9300	MPa
Współczynnik Poissona warstwy ścieralnej z AC11S	ν_1	0,3	-
Moduł sztywności warstwy wiążącej z AC16W (+13°C)	E_2	10300	MPa
Współczynnik Poissona warstwy wiążącej z AC16W	ν_2	0,3	-
Moduł sztywności warstwy podbudowy zasadniczej z AC22P (+13°C)	E_3	9800	MPa
Współczynnik Poissona podbudowy zasadniczej z AC22P	ν_3	0,3	-

6. PROJEKTOWANE WARSTWY KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Poniżej przedstawiono założone warstwy konstrukcji dla nawierzchni drogi DW401.

▪ **Konstrukcja DW401 – G4:**

Rodzaj warstwy	Materiał warstwy	Grubość warstwy [cm]	Moduł E_2 na powierzchni i zagęszczenie I_0 warstwy
Warstwa ścieralna	beton asfaltowy AC11S	4	
Warstwa wiążąca	beton asfaltowy AC16W	6	
Górna warstwa podbudowy zasadniczej	beton asfaltowy AC22P	10	
Dolna warstwa podbudowy zasadniczej	mieszanka niezwiązana 0/31,5 z kruszywem C90/3	20	$E_2 \geq 160 \text{ MPa}$ $I_0 \leq 2,2$
Warstwa ulepszanego podłoża	grunt stabilizowany ziarnistym dodatkiem hydrofobowym zwiększającym w sposób trwały odporność na absorpcję kapilarną wody	40	$E_2 \geq 100 \text{ MPa}$ $I_0 \leq 2,2$
Podłoże gruntowe G4		$\Sigma = 80$	$E_2 \geq 25 \text{ MPa}$

7. WYNIKI OBLICZEŃ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

- Obliczenia trwałości zmęczeniowej dla konstrukcji nawierzchni drogi DW401 – G4:

Dane			
Symbol	Nazwa	Wartość	Jednostka
E	Moduł sztywności najniższej warstwy z MMA	9800	MPa
V_b	Zawartość objętościowa asfaltu w najniższej warstwie MMA	10,5	%
V_a	Zawartość objętościowa wolnych przestrzeni w najniższej warstwie MMA	8	%
ν	Współczynnik Poissona	0,3	-
M	Współczynnik zależny od właściwości objętościowych	-0,5926	-
C	Współczynnik zależny od właściwości objętościowych	0,2555	-
FC	Ilość spękań zmęczeniowych w stosunku do całej powierzchni pasa ruchu	10	%
h_{ac}	Sumaryczna grubość pakietu warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych	20	cm
C'_2	Współczynnik zależny od grubości warstw asfaltowych	-2,4866	-
D_{FC}	Szkoda zmęczeniowa	0,1307	-
$k'_{1\text{bottom}}$	Parametr propagacji spękań	250,0000	-
k	Współczynnik doświadczalny	0,0105	-
m	Współczynnik doświadczalny	0,223	-
Odkształcenia			
ϵ_t	Odkształcenia rozciągające poziome na spodzie warstw asfaltowych	7,37E-05	m/m
ϵ_p	Odkształcenia pionowe na powierzchni podłoża gruntowego	1,73E-04	m/m
Trwałość zmęczeniowa nawierzchni podatnej			
N_{FC}	Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych	9,893	mln osi 100kN/pas/T
N_s	Kryterium deformacji strukturalnych podłoża	99,907	mln osi 100kN/pas/T
N	Ostateczna trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni podatnej	9,893	mln osi 100kN/pas/T

Ostateczna trwałość zmęczeniowa wynosi 9,893 mln osi 100kN/pas/20 lat i spełnia wymagania założonej kategorii ruchu KR4.

8. SPRAWDZENIE WARUNKU ODPORNOŚCI NAWIERZCHNI NA WYSADZINY

Podczas sprawdzenia warunku odporności nawierzchni na wysadziny wykorzystano dopuszczenie IBDiM w zakresie możliwości zastosowania indywidualnie dobranych współczynników przeliczeniowych dla konstrukcji nawierzchni z warstwą stabilizowaną ziarnistym dodatkiem hydrofobowym.

Wymagana grubość dla głębokości przemarzania $h_z = 1,0$ m, kategorii ruchu KR4 oraz podłoża gruntowego G4 wynosi:

$$H_{mroz} = 0,75 \cdot h_z = 0,75 \cdot 1,0 = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm}$$

Sumaryczna grubość konstrukcji wynosi $H_k = 80 \text{ cm}$

$$H_k = 80 \text{ cm} \geq H_{mroz} = 75 \text{ cm}$$

Warunek mrozoodporności konstrukcji został spełniony.

9. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI PROJEKTOWANEGO WZMOCNIENIA PODŁOŻA

Poniżej przedstawiono obliczenia nośności konstrukcji ulepszanego podłoża zgodnie z metodologią stosowaną w KTKNPIP 2014 r. [7]. Nośność wzmocnionego podłoża określono poprzez moduł zastępczy półprzestrzeni sprężystej, przy użyciu wzoru Boussinesq'a [8]:

$$E_{zast} = q \cdot D \cdot (1 - \nu^2) / w$$

gdzie:

q – ciśnienie kontaktowe równe 0,65 MPa

D – średnica zastępcza śladu koła równa 0,313 m

w – ugięcie obliczone w modelu konstrukcji nawierzchni [m]

ν – współczynnik Poissona równy 0,30

Przy pomocy programu do analizy półprzestrzeni sprężystej obliczono ugięcia na górze warstwy i na tej podstawie wyliczono moduł zastępczy na górze konstrukcji ulepszanego podłoża. Założono, że nośność podłoża istniejącego będzie wynosiła $E = 25 \text{ MPa}$.

Poniżej przedstawiono przyjęte wzmocnienie podłoża:

- 40 cm – warstwa ulepszanego podłoża stabilizowanego ziarnistym dodatkiem hydrofobowym zwiększającym w sposób trwały odporność na absorpcję kapilarną wody, $E_2 \geq 100 \text{ MPa}$

- podłoże gruntowe G4 ($\geq 25 \text{ MPa}$)

Do obliczeń przyjęto następujące parametry dla warstwy wzmocnionego podłoża:

- Grunt stabilizowany ziarnistym dodatkiem hydrofobowym zwiększającym w sposób trwały odporność na absorpcję kapilarną wody; moduł sprężystości $E = 800 \text{ MPa}$, współczynnik Poissona $\nu = 0,30$.

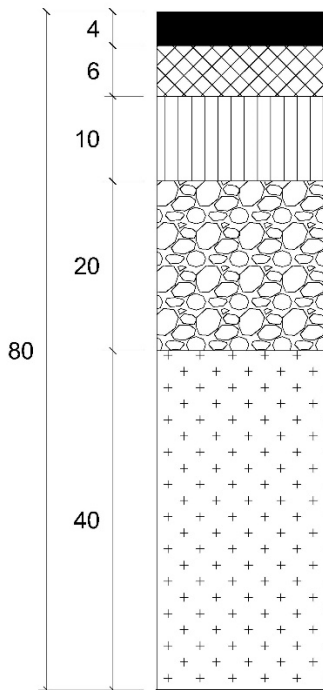



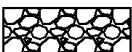
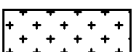
Wyniki obliczeń są następujące:

- Ugięcie na powierzchni ulepszanego podłoża: $w = 1,073 \text{ mm}$
- Moduł zastępczy **$E_{zast} = 172 \text{ MPa}$**

Zaproponowane wzmocnienie zapewnia uzyskanie wymaganej nośności pod konstrukcją nawierzchni równej $E_2 = 100 \text{ MPa}$.

10. ZESTAWIENIE KONSTRUKCJI

Konstrukcje dla drogi DW401:

KONSTRUKCJA DW401	
G4	
	
TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA	
9,893 mln osi 100 kN/pas/20 lat	
	Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego AC11S
	Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC16W
	Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego AC22P
	Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej 0/31,5 z kruszywem C90/3
	Warstwa ulepszanego podłoża stabilizowanego ziarnistym dodatkiem hydrofobowym zwiększającym w sposób trwały odporność na absorpcję kapilarną wody