II. Wyznaczenie siecznego modułu sztywności siatek szklanych na podstawie pomiarów geometrii oraz analizy wyników badania rozciągania

1. Siatki wybrane do analizy

Przeanalizowane zostały trzy rodzaje siatek – dwie siatki wykonane z włókien szklanych oraz jedna siatka z włókien poliestrowych. W dalszej części opracowania siatki będą oznaczone jako G1 oraz G2 w przypadku siatek z włókien szklanych oraz PS w przypadku siatki poliestrowej.

Siatki z włókien szklanych uformowane były ze wstęg nici szklanych, tzw. rowingów, przeplatanych dodatkowo w formie tzw. jedwabiu. Siatki z włókien szklanych w węzłach były zaplecione w sposób umożliwiający przesuwanie wstęg nici oraz zmianę kąta krzyżowania się poszczególnych wstęg. Wstęgi nici szklanych pokryte były polimeroasfaltem. Pod względem układu wstęg i sposobu przeplotu do tej samej grupy należały również siatki poliestrowe. Różniły się jednak rodzajem materiału użytego do powleczenia nici (do powleczenia siatki z włókien poliestrowych użyto żywicy akrylowej).

Na rys. od 1 do 3 przedstawiono badane siatki, natomiast w tablicach od 1 do 3 przedstawiono ich właściwości, deklarowane przez producentów.



Rys.1. Zdjęcie siatki G1 (z włókien szklanych).

Właściwości	Jednostki	Wymaganie	Metody badań według
Wymiary oczka siatki			
- wzdłuż pasma	mm	28	pomiar bezpośredni
- wszerz pasma		30	
Masa powierzchniowa	g/m ²	615 (± 60)	PN-EN 965:1999
Wytrzymałość na			
rozciąganie:			DN ISO 10210-1006
- wzdłuż pasma	kN/m	≥ 100	PIN-150 10519:1990
- wszerz pasma	kN/m	≥ 100	
Wydłużenie przy			
zerwaniu:			PN-ISO 10310-1006
- wzdłuż pasma	%	\leq 3	111-150 10517.1770
- wszerz pasma	%	≤ 3	

Tablica 1. Właściwości siatki G1 (z włókien szklanych) deklarowane przez producenta.



Rys.2. Zdjęcie siatki G2 (z włókien szklanych).

Właściwości	Jednostki	Wymagania	Metody badań według
Wymiary oczka siatki			
- wzdłuż pasma	mm	25	pomiar bezpośredni
- wszerz pasma		7	
Masa powierzchniowa	g/m ²	900 (± 50)	PN-EN 965:1999
Wytrzymałość na			
rozciąganie:			DN ISO 10210-1006
- wzdłuż pasma	kN/m	≥180	FIN-ISO 10319.1990
- wszerz pasma	kN/m	≥ 230	
Wydłużenie przy			
zerwaniu:			DN ISO 10310-1006
- wzdłuż pasma	%	≤ 3	111-150 10319.1990
- wszerz pasma	%	≤ 3	

Tablica 2. Właściwości siatki G2 (z włókien szklanych) deklarowane przez producenta.



Rys.3. Próbka siatki PS (z włókien poliestrowych)

Właściwości	Jednostki	Wymagania	Metody badań według
Wymiary oczka siatki			
- wzdłuż pasma	mm	40	pomiar bezpośredni
- wszerz pasma		40	
Masa powierzchniowa	g/m ²	440 (± 50)	PN-EN 965:1999
Wytrzymałość na			
rozciąganie:			DN ISO 10210.1006
- wzdłuż pasma	kN/m	≥75	PIN-ISO 10519:1990
- wszerz pasma	kN/m	≥ 65	
Wydłużenie przy			
zerwaniu:			DN ISO 10210-1006
- wzdłuż pasma	%	< 12	PIN-ISO 10319:1990
- wszerz pasma	%	< 14	

Tablica 3. Właściwości siatki PS (z włókien poliestrowych) deklarowane przez producenta.

Deklarowane przez producentów właściwości wytrzymałościowe siatek zostały potwierdzone w badaniach laboratoryjnych wg normy PN-ISO 10319, przeprowadzonych w niemieckim Instytucie Badań Geosyntetyków tBU. Wymieniona metoda badawcza polega na rozciąganiu próbek siatki o szerokości ok. 200 mm oraz długości ok. 100 mm. Odpowiednio umocowane w szczękach próbki (rys. 4) poddawane są rozciąganiu ze stałą prędkością, z jednoczesną rejestracją wywoływanego odkształcenia. Pomiar odkształcenia wykonywany był przy pomocy wideoekstensometru, a przebieg badania był zilustrowany na wykresie. Badanie każdej siatki przeprowadzono na pięciu próbkach badawczych wyciętych wzdłuż oraz w poprzek wstęgi siatki. Na rys. od 5 do 10 przedstawiono wykresy rozciągania wybranych siatek.



Rys.4. Szczęki zastosowane do badania rozciągania siatek.



Rys.5. Wykres rozciągania siatki G1 w kierunku wzdłużnym.



Rys.6. Wykres rozciągania siatki G1 w kierunku poprzecznym.



Rys.7. Wykres rozciągania siatki G2 w kierunku wzdłużnym.



Rys.8. Wykres rozciągania siatki G2 w kierunku poprzecznym.



Rys.9. Wykres rozciągania siatki PS w kierunku wzdłużnym.



Rys.10. Wykres rozciągania siatki PS w kierunku poprzecznym.

Wykres rozciągania siatek G1 i G2 jest praktycznie liniowy. Siatki te mają własności ortotropowe. W kierunku wzdłużnym wytrzymałości na rozciąganie były niższe niż w kierunku poprzecznym. Odkształcenie przy zerwaniu wynosiło ok. 2 % dla siatki G1 i G2. W przypadku siatki PS wykresy rozciągania miały charakter nieliniowy (wykraczający poza zakres teorii małych odkształceń), charakterystyczny dla polimerów. Siatka ta ma także własności ortotropowe – wytrzymałość na rozciąganie 75 / 70 kN/m, a odkształcenia przy zerwaniu wyniosły ok. 12 %. Siatki G1 i G2 były bardziej wytrzymałe, ale ich odkształcalność przy zerwaniu była prawie 10-krotnie mniejsza. Wykresy wytrzymałościowe wskazują, iż siatki G1 i G2 mają wyraźne właściwości kruche. Należy podkreślić, że standardowe badania są niewystarczające do projektowania. Do pełnego opisu własności mechanicznych siatek brak jest wyników rozciągania w kierunkach różnych od kierunków wyróżnionych, m.in., żeby ocenić sztywność i wytrzymałość siatki na ścinanie należy wykonać próbę rozciągania np. pod kątem 45 °. Często wykonuje się także próby 2-osiowego rozciągania, co ma istotne znaczenie w przypadku siatek o nieliniowych zależnościach między siłą a odkształceniem.

W dalszej części opracowania zamieszczone wyniki badań uzupełniono badaniami dodatkowymi.

2. Badanie ścinania połączenia międzywarstwowego

Na jakość połączenia między warstwami asfaltowymi składa się szereg czynników wg wniosków podsumowanych przez Pösa (2002):

- klinowanie ziaren kruszywa mieszanki mineralnej sąsiednich warstw,
- rodzaj zastosowanego lepiszcza asfaltowego w mieszance mineralnoasfaltowej,
- rodzaj lepiszcza zastosowanego pomiędzy warstwami,
- tekstura warstw,
- wypełnienie wolnych przestrzeni asfaltem w mieszance mineralno-asfaltowej.

W dalszej części dokonano oceny wpływu wprowadzenia siatek G1, G2 i PS na jakość połączenie międzywarstwowego.

W celu określenia wytrzymałości na ścinanie połączenia międzywarstwowego wykonano próbki laboratoryjne w postaci odwiertów o średnicy ok. 99 mm wyciętych z dwuwarstwowych płyt. W celu uzyskania warunków wbudowania zbrojenia zbliżonych do warunków rzeczywistych przygotowano dwie mieszanki mineralno-asfaltowe stosowane do warstwy podbudowy oraz warstwy wiążącej nawierzchni. Z betonu asfaltowego o uziarnieniu od 0 do 20 mm, typowego dla warstwy podbudowy, wykonano warstwę spodnią o grubości 5 cm. Następnie przygotowano powierzchnię warstwy do ułożenia siatki. Badanie przeprowadzono w wariantach pozostawienia czystej powierzchni oraz wykonania skropienia dwiema ilościami czystego asfaltu – 0,15 kg/m² i 0,30 kg/m² dla każdej siatki. Kolejny etap polegał na ułożeniu warstwy z betonu asfaltowego o uziarnieniu od 0 do 16 mm, typowego dla warstwy wiążącej nawierzchni. Jako porównawcze wykonano płyty według opisanej technologii, jednak bez zastosowania siatki w połączeniu między warstwami. Z tak przygotowanych płyt odwiercono próbki walcowe o średnicy ok. 99 mm, które następnie posłużyły do badania ścinania połączenia międzywarstwowego.

Badanie wytrzymałości na ścinanie połączenia między warstwami asfaltowymi przeprowadzono wg niemieckiej metody Leutnera (Arbeitsanleitungen zur Prüfung von Asphalt (ALP A–StB) – Teil 4: Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Niemcy, 1999).

Warunki wykonania tego badania były następujące:

- temperatura: $+20 \pm 1$ °C,
- prędkość ścinania: stała, równa 50 mm/min, co odpowiada parametrom prasy Marshalla,
 - średnica próbek: 100 ± 2 mm.

Rys.11 przedstawia schemat działania aparatu do ścinania połączenia między warstwami.

Wytrzymałość na ścinanie τ obliczono ze wzoru:

$$\tau = \frac{F_{\text{max}}}{A}$$
, MPa,

 F_{max} – maksymalna siła ściskająca, N,

A – powierzchnia przekroju próbki, mm².



Rys.11. Schemat aparatu do ścinania połączenia między warstwami (wymiary w mm, do badania próbek o średnicy 100 mm): a) – widok z boku, b) – widok z przodu.

Próbki wykonano w laboratorium IBDiM. Przygotowanie próbek obejmowało:

- zaprojektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych do sporządzenia płyt,
- wykonanie dolnej warstwy płyty o grubości 5 cm,
- przygotowanie powierzchni dolnej warstwy,
- ułożenie na gorąco górnej warstwy o grubości 5 cm,
- wykonanie odwiertów z przygotowanych płyt.

Sporządzono w ten sposób sześć rodzajów próbek różniących się rodzajem połączenia międzywarstwowego:

- bez skropienia emulsją asfaltową i bez geosiatki, oznaczone symbolem "0",
- bez skropienia emulsją asfaltową i z geosiatką, oznaczone symbolem "0+S",
- ze skropieniem emulsją asfaltową w ilości $0,15 \text{ kg/m}^2$ wytrąconego asfaltu bez geosiatki, oznaczone symbolem "0,15",

- ze skropieniem emulsją asfaltową w ilości $0,15 \text{ kg/m}^2$ wytrąconego asfaltu z geosiatką, oznaczone symbolem "0,15+S",

- ze skropieniem emulsją asfaltową w ilości $0,3 \text{ kg/m}^2$ wytrąconego asfaltu bez geosiatki, oznaczone symbolem "0,3",

- ze skropieniem emulsją asfaltową w ilości $0,3 \text{ kg/m}^2$ wytrąconego asfaltu z geosiatką, oznaczone symbolem "0,3+S".

Do skropienia użyto emulsji asfaltowej o zawartości asfaltu 60 %, rodzaju 70/100.

W tablicy 4 przedstawiono uzyskane wyniki badań dla trzech ocenianych siatek.

Rodzaj połączenia	Symbol	Naprężenie ścinające, MPa		Zmiana wytrzymałości
	próbki	średnia	odchylenie standardowe	po zastosowaniu siatki, %
Bez siatki	0	2,37	0,12	-
	0,15	2,17	0,15	-
	0,30	2,03	0,32	-
Siatka G1	0+S	1,23	0,17	-48,1
	0,15+S	1,24	0,18	-42,8
	0,30+S	1,22	0,29	-39,9
Siatka G2	0+S	0,53	0,03	-77,6
	0,15+S	0,84	0,28	-61,3
	0,30+S	0,73	0,05	-64,0
Siatka PS	0+S	1,32	0,19	-44,3
	0,15+S	1,57	0,13	-27,6
	0,30+S	1,56	0,16	-23,2

Tablica 4.Wyniki badania wpływu siatki na połączenia między warstwami asfaltowymi.

Badane próbki po przeprowadzeniu ścięcia połączenia międzywarstwowego nie zawsze dawały się rozłupać ręcznie. Zazwyczaj wymagały użycia w tym celu przecinaka. Charakterystyczną cechą było pozostawanie siatki przyklejonej do górnej warstwy, bez względu na to czy próbka dawała się łatwo rozłupać czy nie. Z przypadku siatki G2 otrzymano wartości wytrzymałości na ścinanie wyraźnie za niskie wobec wymagania 1,3 MPa.

3. Pomiar geometryczny siatek

Ze względu na nierównomierne wymiary oczek, nici itp. (patrz Rys. 1 - 3) dokonano idealizacji pomiarów geometrii siatki.

Wszystkie pomiary geometryczne były wykonane przy użyciu suwmiarki. Pomiarem objęta była szerokość a_i oraz grubość rodziny nici siatki g_i (mierzona w środku oczka), a także szerokość wolnej przestrzeni pomiędzy nićmi b_i , przy czym indeks odpowiadał kierunkowi pomiaru. W celu uzyskania wartości miarodajnej przeprowadzono po cztery pomiary każdej cechy w losowo wybranych punktach. Próbka badawcza siatki w przybliżeniu miała rozmiary kartki A4. Zostały również ustalone oznaczenia kierunków. Kierunek "1" odpowiadał kierunkowi wzdłuż rolki siatki z produkcji, natomiast kierunek "2" odpowiadał kierunkowi poprzecznemu. Sposób pomiaru tych cech przedstawiono na rys.12.



Rys.12. Sposób pomiaru geometrii siatek.

Wyniki pomiarów geometrycznych zebrano i przedstawiono w tablicy 5.

Rodzaj	Szerokoś	Szerokość wstęgi		Szerokość oczka		Grubość wstęgi		Rozstaw nici,	
siatki	nici, mm		siatki, mm		nici, mm		mm		
	a_1	a_2	b_1	b_2	g 1	<i>g</i> ₂	a_1+b_1	$a_2 + b_2$	
G1	12,26	11,92	27,77	29,21	0,70	1,16	40,03	41,13	
G2	12,96	7,69	27,01	6,56	1,14	0,84	39,97	14,25	
PS	7,88	11,51	39,72	35,02	1,39	0,82	47,60	46,53	

Tablica 5.Wyniki pomiarów geometrii siatek

Na podstawie uzyskanych danych można wyznaczyć szereg parametrów siatek z uwagi na ich geometrię. W dalszej części obliczeń potrzebna będzie informacja o procentowym udziale wstęg nici siatki (u_1, u_2) w szerokości i długości siatki oraz o udziale objętościowym wstęg nici siatki (p_1, p_2) w stosunku do przestrzeni opisanej na siatce. Wyliczeń dokonano według wzorów:

$$u_{1} = \frac{a_{1}}{(a_{1} + b_{1})}, \ u_{2} = \frac{a_{2}}{(a_{2} + b_{2})}, \ p_{1} = \frac{a_{1} \cdot g_{1} \cdot (a_{2} + b_{2})}{(a_{1} + b_{1}) \cdot (a_{2} + b_{2}) \cdot (g_{1} + g_{2})},$$
$$p_{1} = \frac{a_{2} \cdot g_{2} \cdot (a_{1} + b_{1})}{(a_{1} + b_{1}) \cdot (a_{2} + b_{2}) \cdot (g_{1} + g_{2})}.$$

Rys.13 ilustruje interpretację poszczególnych parametrów. Na rys.13 zawarto również kolejny parametr $p_{\rm M}$, czyli udział matrycy w całkowitej objętości siatki (patrz rozdz. I), $p_{\rm p}$, czyli zawartość przestrzeni niewypełnionej przez matrycę, które z p_1 oraz p_2 łączy zależność:

$$p_1 + p_2 + p_M + p_p = 1$$



Rys.13. Ustalenie udziału wstęg nici siatki w całej powierzchni siatki.

Obliczone parametry przedstawiono w tablicy 6.

Tablica 6. Wyniki obliczeń parametrów p_1 , p_2 i p_{M} .

Rodzaj	Udział ob	ojętościowy	Udział oczka w	
siatki	pasma sia	ıtki w	powierzchni	
	stosunku	do całej	pasma siatki, przy	
	siatki		założeniu p _p =0	
	p_1	<i>p</i> ₂	рм	
G1	0,1151	0,0873	0,7975	
G2	0,1867	0,3661	0,4472	
PS	0,1040	0,2086	0,6874	

4. Wyznaczenie modułu sztywności siatek

Moduły Younga dla włókien szklanych użytych do produkcji nici i siatek szklanych wahają się w granicach od ok. 50 000 MPa do ok. 70 000 MPa. W przypadku materiału

użytego do produkcji siatek poliestrowych wartość ta wynosi ok. 15 000 MPa. Jednak wielkości te mają pośredni wpływ na makroskopowe właściwości siatki, takie jak sztywność w kierunku poprzecznym i podłużnym, ponieważ ważna jest geometria końcowego produktu oraz sposób jego produkcji. Aby ocenić makroskopową wielkość modułów sztywności gotowego wyrobu przeprowadzono analizę wyników badań z prób rozciągania siatek. Posłużyły temu wyniki badań rozciągania siatek przeprowadzonych w niemieckim laboratorium tBU. Siatki szklane G1 i G2 charakteryzowały się zbliżonym do liniowego wykresem rozciągania, zatem do obliczeń wykorzystano siłę maksymalną oraz odpowiadające jej odkształcenie, skąd wyliczyć można tzw. sieczny moduł sztywności (rys.14).



Rys.14. Sposób wyznaczenia siecznych modułów sztywności siatek G1 i G2.



Rys.15. Sposób wyznaczania stycznych modułów sztywności siatki PS.

W przypadku siatki poliestrowej PS wykresy były wyraźnie nieliniowe (rys.9 i 10). W celu opisania zmienności modułu sztywności tych siatek aproksymowano przebieg próby

rozciągania trzema odcinkami o różnych modułach sztywności (rys.15). Moduły te będą oznaczone cyframi rzymskimi w indeksach górnych (E^{I}, E^{II}, E^{III}).

W pierwszej kolejności siatka została potraktowana jako tarcza PSN, której gabaryty wynikają z opisania na siatce prostopadłościanu. W idealizacji tej przekrój badanej siatki ma grubość równą największej zmierzonej grubości siatki (g_1+g_2) , natomiast jego szerokość równa jest szerokości próbki badawczej w próbie rozciągania (b_0) . Wyliczenia modułów sztywności dokonano z następującego wzoru:

$$\widetilde{E}_i = \frac{F_m}{(g_1 + g_2) \cdot \varepsilon_m}$$
, MPa

w którym:

 F_m - maksymalna siła rozciągająca, kN/m,

 ε_m - odkształcenie przy maksymalnej sile rozciągającej, mm/mm.

*g*_i - grubości wstęgi nici siatki w kierunku *i*, mm.

Uzyskane dane przedstawiono w tablicy 7.

Tablica 7. Obliczone moduły sztywności siatki wg idealizacji prostopadłościanem.

Rod siatl	zaj ki	Moduł sztywności siatki, MPa		
		\widetilde{E}_1	${\widetilde E}_2$	
G1		3 189	3 395	
G2		4 623	4 837	
	E^{I}	255	318	
PS	E^{II}	90	114	
	$E^{\rm III}$	533	486	

Uzyskane wartości modułów sztywności znacznie odbiegają od właściwości cechujących materiał wykorzystany do produkcji siatki. Materiał o takich parametrach jest porównywalny z właściwościami mieszanki mineralno-asfaltowej w okresie letnim (ok. 3 000 MPa), co świadczy o wątpliwej możliwości stosowania takiej siatki w funkcji zbrojenia nawierzchni.

Następnie siatka została potraktowana jako materiał "rozmyty" do postaci membrany o pewnej zastępczej grubości, której obliczenie wynika z przyrównania masy powierzchniowej (m_p) oraz gęstości materiału (ρ) , z którego wykonana była siatka. Wyliczenia modułu sztywności wykonano według następującego wzoru:

$$\hat{E}_i = \frac{F_m}{h_{zast} \cdot \varepsilon_m}$$
, MPa

w którym:

 F_m - maksymalna siła rozciągająca, kN/m, ε_m - odkształcenie przy maksymalnej sile rozciągającej, mm/mm, $h = \frac{m_p}{m_p}$ mm

$$h_{zast} = \frac{m_p}{\rho}$$
, mm

Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 8.

Rodzaj siatki		Gęstość budulca	Grubość zastępcza,	Moduł szty siatki, N	wności ⁄IPa
		siatki, g/cm ³	$h_{\rm zast}$, mm	\hat{E}_1	\hat{E}_2
G1		2.65	0,3231	25 561	27 207
G2		2,05	0,3396	26 951	28 199
	E^{I}			847	1 054
PS	E^{Π}	1,32	0,3333	300	379
	E^{III}			1766	1611

Tablica 8.Obliczone moduły sztywności siatki w modelu membranowym

Model ten nie jest zbyt realistyczny, gdyż nie jest możliwe doskonałe wypełnienie struktury siatki materiałem matrycy. Również uzyskane grubości zastępcze są ponad 3-krotnie niższe od rzeczywistej grubości siatki. Dla kontrastu można przytoczyć tutaj wyniki podane w tablicy I.2.1. Należy podkreślić, że takie podejście jest uzasadnione tylko w przypadku geowłóknin i geomembran. Ustalanie grubości zastępczej jest zatem sprawą dyskusyjną w innym przypadku.

Modele tego typu wykorzystuje się w obliczeniach MES w sytuacji, gdy zbrojenie modeluje się jako "rozmazane" na powierzchnię. Aby efekty makroskopowe modelu teoretycznego i siatki były jednakowe to należy podstawić wyznaczoną grubość zastępczą i moduł sztywności. Jednak do wykorzystania takiego modelu w obliczeniach brakuje informacji o współczynnikach materiałowych v_{12} , v_{21} oraz modułu ścinania G_{12} (por. rozdz. I). Parametrów tych nie można uzyskać ze standardowych badań.

Na końcu rozważono model siatki, w którym wykorzystano wartości uzyskane z pomiarów geometrycznych i badań rzeczywistych. W celu uzyskania modułu sztywności dla rodziny nici, z których wykonana jest siatka przeliczono uzyskane wartości sił niszczących na rzeczywisty przekrój materiału w próbce badawczej. Przeliczono zatem uzyskane siły zrywające z kN/m do kN/rzeczywistą szerokość materiału występującą w jednym metrze szerokości pasma siatki. Przeliczenie wykonano wg wzoru:

$$E = \frac{F_m}{u_i} \cdot \frac{1}{g_i \cdot \varepsilon_m}, \text{ MPa},$$

w którym:

 F_m - maksymalna siła rozciągająca, kN/m,

- *u*_i udział materiału w szerokości pasma siatki, mm/mm,
- *g*_i grubości wstęgi nici siatki w kierunku *i*, mm,
- ε_m odkształcenie przy maksymalnej sile rozciągającej, mm/mm.

Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 9.

Rod siatl	zaj ci	Moduł sztywności siatki, MPa		
		E_1	E_2	
G1		27 450	18 639	
G2		24 724	21 096	
	E^{I}	1 198	1 692	
PS	E^{II}	432	618	
	E^{III}	2 549	2 633	

Tablica 9.Wyniki obliczeń siecznego modułu sztywności siatek.

Uzyskane wyniki na moduły sztywności w kierunku podłużnym i poprzecznym są porównywalne idealizacji siatki przy pomocy membrany.

W tablicy 10 zebrano wszystkie obliczone moduły sztywności siatek.

Rodzaj siatki	Moduł sztywności budulca siatki, MPa	Moduł sztywności siatki w modelu PSN, MPa		Moduł sztywności siatki w modelu membranowym, MPa		Moduł sztywności rodziny nici, MPa	
		\widetilde{E}_1	${\widetilde E}_2$	\hat{E}_1	\hat{E}_2	E_1	E_2
G1	65 000	3 189	3 395	25 561	27 207	27 450	18 639
G2	65 000	4 623	4 837	26 951	28 199	24 724	21 096
		255	318	847	1 054	1 198	1 692
PS	15 000	90	114	300	379	432	618
		533	486	1766	1611	2 5 4 9	2 633

Tablica 10. Porównanie modułów sztywności uzyskanych z obliczeń

5. Wyznaczenie zastępczego modułu sztywności i współczynnika Poissona kompozytu mieszanki mineralno-asfaltowej z siatką

W etapie tym wykonano zamianę podstawowych cech siatki, charakterystycznych dla materiałów ortotropowych na model zastępczy odznaczający się cechami izotropowymi. Z obliczeń tych wyznaczono zastępczy moduł sztywności (E_K) oraz współczynnik Poissona (v_K) kompozytu mieszanki mineralno-asfaltowej z siatką według następujących wzorów:

$$E_{\kappa}(E,\nu,p_{M},\kappa) = \frac{E\left[2\left(1-\nu-2\nu^{2}\right)\kappa^{2}+3p_{M}\left(7-8\nu\right)\kappa+45p_{M}^{2}\right]}{12(1-\nu-2\nu^{2})\kappa+45p_{M}}, \text{ MPa,}$$
$$\nu_{\kappa}(\nu,p_{M},\kappa) = \frac{\left(1-\nu-2\nu^{2}\right)\kappa+15\nu p_{M}}{4(1-\nu-2\nu^{2})\kappa+15p_{M}}, \ \kappa = p_{1}\frac{E_{Z1}}{E} + p_{2}\frac{E_{Z2}}{E},$$

w których:

- *E* moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej, MPa,
- $E_{\rm K}$ moduł sztywności kompozytu mieszanki mineralno-asfaltowej i siatki, MPa,
- E_{Zi} moduł sztywności siatki w kierunku *i*, MPa,
- *ν* współczynnik Poissona mieszanki mineralno-asfaltowej,
- v_K współczynnik Poissona kompozytu siatki i mieszanki mineralno-asfaltowej,
- *p*_i udział objętościowy pasma *i*-tej wstęgi w kompozycie siatki i mieszanki mineralnoasfaltowej,
- $p_{\rm M}$ udział objętościowy matrycy w kompozycie siatki i mieszanki mineralno-asfaltowej.

Obliczenia przeprowadzono dla mieszanki mineralno-asfaltowej, której parametry przyjęto w trzech wariantach: dla pory letniej, wiosenno-jesiennej oraz zimowej. Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 11.

Tablica 11. Wyniki obliczeń parametrów mechanicznych kompozytu mieszanki mineralnoasfaltowej z siatkami szklanymi G1 i G2 oraz efekt wzmocnienia (MMA/kompozyt).

Włości			Kompozy	Efekt		
Dodzai	w fasci w	OSCI WIWIA	as	faltowej z si	atką	wzmocnienia
siatki	Wsp. Poissona	Moduł sztywności, MPa	Wsp. Wsp. κ Poissona		Moduł sztywności, MPa	%
	0,40	3 000	1,5962	0,38	3 241	+8,0
G1	0,30	10 100	0,4741	0,30	8 859	-12,3
	0,25	18 800	0,2547	0,25	15 791	-16,0
	0,40	3 000	4,1133	0,34	3 486	+16,2
G2	0,30	10 100	1,2218	0,29	6 585	-34,8
	0,25	18 800	0,6564	0,25	10 464	-44,3

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż efekt wzmocnienia matrycy mieszanki mineralno-asfaltowej siatką G1 (w mniejszym zakresie) oraz G2 (w większym zakresie) występuje jedynie, gdy mieszanka mineralno-asfaltowa ma właściwości charakterystyczne dla okresu letniego (modułu ok. 3 000 MPa oraz ν =0,40).

Siatka poliestrowa PS została przeanalizowana jedynie porównawczo, gdyż zaproponowany model obliczeniowy kompozytu nie uwzględniał nieliniowego zachowania materiału zbrojącego. W tablicy 12 zawarto wyliczone moduły sztywności kompozytu wraz z zakresem odkształceń jakich parametry te dotyczą.

Rodzaj	Właściwości MMA		Kompozy as	Zakres stosowania parametrów		
siatki	Wsp. Poissona	Moduł sztywności, MPa	Wsp. κ	Wsp. Wsp. κ Poissona		ε-ε%
	0,40	3 000	0,1592	0,40	2 147	
	0,30	10 100	0,0473	0,30	7 023	0 - 2
	0,25	18 800	0,0254	0,25	13 002	
	0,40	3 000	0,0579	0,40	2 093	
PS	0,30	10 100	0,0172	0,30	6 972	2 - 7
	0,25	18 800	0,0092	0,25	12 952	
	0,40	3 000	0,2714	0,40	2 207	
	0,30	10 100	0,0806	0,30	7 079	7 - 12
	0,25	18 800	0,0433	0,25	13 059	

Tablica 12. Wyniki obliczeń parametrów mechanicznych kompozytu mieszanki mineralnoasfaltowej z siatką poliestrową PS oraz zakres stosowalności tych parametrów.

Do dalszych obliczeń przy użyciu programu VEROAD wykorzystano zatem parametry kompozytu (E_K i v_K), które świadczyły o poprawie właściwości mieszanki mineralnoasfaltowej przez siatkę zbrojącą.

Należy w tym miejscu poddać wątpliwości możliwość wzmacniania mieszanek mineralno-asfaltowych przy wykorzystaniu materiałów o niskiej makroskopowej sztywności.

Literatura do pkt. II

- Hakim B.A., The importance of good bond between bituminous layers, Scott Wilson Pavement Engineering, UK
- Pös J., Kruntchev M., Collop A., Thom N., Verbund von Asphaltschichten: Pr
 üfung, Einfl
 üsse, Bewertung - Vergleichende Betrachtungen – Gro
 ßbritannien, s. 177 – 190, Strasse und Autobahn 4/2002
- Raab C., Partl M. N., Besondere Aspekte des Schichtenverbunds von Belägen, s. 141 145, Strasse und Verkehr Nr. 4, April 2002
- Verschuren J., Kiekens P., Gas flow around and through textile structures during plasma treatment, AUTEX Research Journal, Vol. 5, No 3, September 2005, http://www.autexrj.org/No3-2005/0151.pdf 154
- Zawadzki J., Skierczyński P. Zalecenia stosowania geowyrobów w warstwach asfaltowych nawierzchni drogowych, Zeszyt 66 IBDiM, Informacje, Instrukcje, Warszawa 2004 r.