

GAJEWSKI Marcin<sup>1</sup>  
MIRSKI Krzysztof<sup>1</sup>

## Badania ścinania dwuwarstwowych próbek MMA w aparacie umożliwiającym uwzględnienie ciśnienia bocznego

*Mieszanka mineralno-asfaltowa, ścinanie, ciśnienie boczne, innowacyjność*

### Streszczenie

W ramach niniejszego artykułu zaprezentowane zostały wyniki badań ścinania, dwuwarstwowych próbek wykonanych z mieszanki mineralno-asfaltowej, wykonanych w laboratorium w IBDiM. Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu innowacyjnego aparatu pozwalającego na przyłożenia ciśnienia bocznego. W ramach pracy przebadano próbki zarówno z jak i bez siatki ułożonej pomiędzy warstwami, generowane ciśnienie boczne wynosiło 0.15 [MPa] oraz 0.3 [MPa]. Badania ścinania zostały wykonane w temperaturach: 10 [°C], 20 [°C] oraz 30 [°C]. Łącznie, wykonano około 150 oznaczeń, które posłużyły do analizy wpływu zbrojenia siatką na zachowanie interfejsu międzywarstwowego w nawierzchni drogowej.

### SHEAR TESTS OF TWO-LAYER ASPHALT SPECIMENS MADE IN AN PROPOSED APPARATUS ALLOWING SIDE PRESSURE APPLICATION

### Abstract

This article presents the results of shear tests of two-layer asphalt specimens, made in the laboratory of IBDiM. The research was conducted using an innovative device designed to apply the side pressure. In the scope of this work around 150 samples were tested, both with and without grid reinforcement between the layers, the side pressure generated was 0.15 [MPa] and 0.3 [MPa]. Shear tests were performed at temperature of 10 [°C], 20 [°C] and 30 [°C]. The article also contains an analysis of the obtained results, taking into account the influence of geo-grid on the interface physical behaviour.

### 1. WSTĘP

W ramach opisanych w niniejszym artykule prac wykonanych w laboratorium IBDiM przeprowadzono badania ścinania walcowych dwuwarstwowych próbek nawierzchni mineralno-asfaltowych, z siatką lub bez pomiędzy warstwami. Siła ścinająca przykładana była wzdłuż i poprzecznie (siatka o oczkach kwadratowych) do włókien siatki oraz pod kątem 45°. Ponadto, wykorzystując unikalne możliwości innowacyjnego aparatu, przeprowadzono badania ścinania w trzech stanach naprężeń: bez ciśnienia bocznego, z ciśnieniem bocznym wynoszącym 50% maksymalnego ciśnienia generowanego przez urządzenie czyli 0.15 [MPa] oraz 100% czyli 0.3 [MPa]. Badania ścinania zostały wykonane w temperaturach: 10 [°C], 20 [°C] oraz 30 [°C]. Łącznie, w ramach badań wykonano około 150 oznaczeń, które posłużyły do dalszej analizy. Należy zauważyć, że zbrojenie nawierzchni drogowej siatką jest coraz częściej stosowane na szeroka skalę, por. [1-6]. Zbrojenie, w zależności od usytuowania w konstrukcji może spełniać różne funkcje, [3]. W opisanej pracy analizowany jest interfejs, tj. połączenie międzywarstwowo dwóch warstw asfaltowych, przy obciążeniu realizującym ścinanie w płaszczyźnie ich połączenia. Formalnie wprowadzenie siatki w konstrukcję nawierzchni drogowej pomimo wpływ na sposób projektowania nawierzchni, [6], jednak metody obliczeniowe są ciągle niedoskonałe, a zweryfikowanie ich wpływu na trwałość konstrukcji nawierzchni, [7], możliwe jest w skali rzeczywistej, np. przy zastosowaniu HVS, [8].

### 2. PRÓBKI DO BADAŃ

Próbki do badań zostały przygotowane w laboratorium IBDiM, w postaci walców, o średnicy  $\phi=200$  [mm], odwierconych z płyt wykonanych w laboratorium. Płyty wykonane jako dwuwarstwowe o wymiarach w planie 73 [cm] x 47 [cm] x 18 lub 16.5 [cm]. Grubość warstwy dolnej wyniosła 9 [cm], natomiast grubość warstwy górnej 7.5 [cm] lub 9.0 [cm]. Dolna warstwa została wykonana z betonu asfaltowego do warstwy wiążącej o uziarnieniu 0/16 [mm], górną warstwę wykonano z betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej o uziarnieniu 0/12.8 [mm]. Mieszanki wykonane zostały odpowiednio z asfaltem drogowym 35/50 (4.2 % m/m) i 50/70 (5.5 % m/m). Skład betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej (górną warstwę płyty) przedstawiony jest w tab. 1.

<sup>1</sup>Institut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa, tel +4822 3900401, E-mail: mgajewski@ibdim.edu.pl, kmirski@ibdim.edu.pl

Tab.1. Skład mieszanki mineralnej (MM) i mineralno-asfaltowej (MMA) do górnej warstwy płyty

Składniki	Lp.	Oznaczenie	Udział składników w mieszance, % m/m	
			MM	MMA dla zawartości Asfaltu: 5.5
MM	1	MĄCZKA WAPIENNA	10.00	9.45
	2	0/2 GRANIT ŁAMANY	42.00	39.69
	3	2/5 BAZALT	13.00	12.29
	4	5/8 BAZALT	15.00	14.18
	5	8/11 BAZALT	20.00	18.90
			Suma pośrednia:	100.00
A	1	50/70		5.48
	1A	Teramin 14 C		0.02
			Suma całkowita:	100.00

Skład mieszanki mineralnej oraz mineralno asfaltowej betonu asfaltowego do warstwy wiążącej (dolnej warstwy płyty) o uziarnieniu 0/16 [mm] zamieszczono w tab. 2.

Tab. 2. Skład mieszanki mineralnej (MM) i mineralno-asfaltowej (MMA) do dolnej warstwy płyty

Składniki	Lp.	Oznaczenie	Udział składników w mieszance, % m/m	
			MM	MMA dla zawartości Asfaltu: 4.2
MM	1	MĄCZKA WAPIENNA	6.00	5.75
	2	0/2 GRANIT ŁAMANY	22.00	21.08
	3	2/5 BAZALT	13.00	12.45
	4	5/8 BAZALT	13.00	12.45
	5	8/11 BAZALT	20.00	19.16
	6	11/16 BAZALT		
			Suma pośrednia:	95.80
A	1	35/50		4.19
	1A	Teramin 14 C		0.01
			Suma całkowita:	100.00

Mieszanka po wyprodukowaniu w mieszalniku nie była poddana wygrzewaniu, lecz dozowana bezpośrednio do formy, w której została uformowana w warstwę przy użyciu zagęszczarki walcowej. Kolejne etapy przygotowania płyt były zmienne w zależności od użycia lub nie siatki pomiędzy warstwami.

Wykonanie płyty dwuwarstwowej bez siatki pomiędzy odbyło się poprzez ułożenie warstwy górnej bezzwłocznie na gorącej warstwie dolnej (metoda gorące na ciepłe).

W przypadku, gdy płyta miała być wykonana z siatką pomiędzy warstwami (zastosowano siatkę szklano węglową Carbophalt), warstwa górna ułożona została na warstwie dolnej skropionej asfaltem wytrąconym z emulsji w ilości 0.15 [kg/m<sup>2</sup>] wytrąconego asfaltu (metoda gorące na zimne).

Po ostygnięciu, na gotowej płycie oznaczono kierunek ułożenia siatki, białymi liniami, aby po wykonaniu odwiertów możliwe było ustalenie kąta przyłożenia siły ścinającej w stosunku do włókien siatki. Po wykonaniu odwiertów, próbki walcowe były składowane min 14 dni, w celu zapewnienia odparowania całej wody.

### 3. WYNIKI BADANIA ŚCINANIA W NOWYM APARACIE

Jak już wspomniano, badania ścinania w nowym aparacie [fot.1.] przeprowadzono w trzech stanach naprężeń: bez ciśnienia bocznego, z ciśnieniem bocznym wynoszącym 0.15 [MPa]a oraz 0.3 [MPa]. Badania te zostały wykonane w trzech temperaturach: 10 [°C], 20 [°C] oraz 30 [°C].

#### 3.1 Wyniki badań w temperaturze 10 °C

W temperaturze 10 [°C] wykonano 35 oznaczeń, jednakże 4 wyniki zostały odrzucone gdyż znacznie odbiegały od średniej. W tab. 3. zamieszczone zostały średnie wyniki maksymalnej siły ścinającej, [N], oraz przemieszczenie, [mm], w kolejnej tab. 4. zamieszczone zostało odchylenie standardowe wyników uwzględnianych podczas obliczania średniej (w jednostkach danej wielkości).



Fot.1. Aparat do ścinania próbek z możliwością przyłożenia siły bocznej

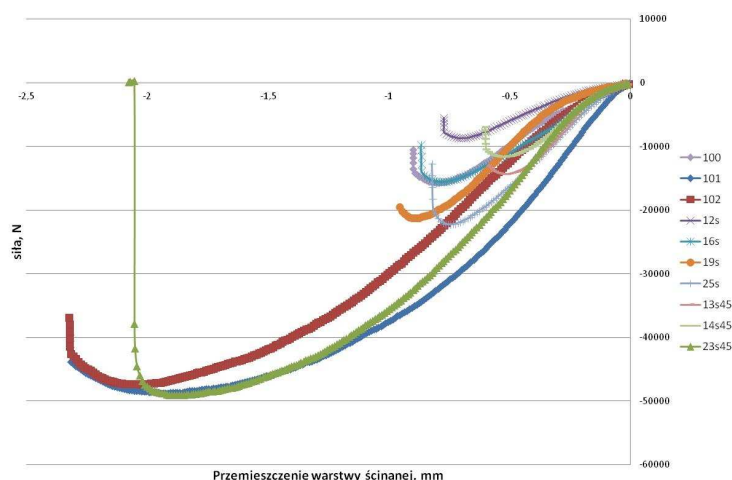
Tab. 3. Wyniki badania ścinania próbek w temperaturze 10 [°C]

Próbka \ Ciśnienie boczne	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
10°C bez siatki	-48394	-1.95	-50696	-2.00	-48931	-2.09
10°C z siatką	-19707	-0.81	-15034	-0.92	-12778	-0.69
10°C z siatką (45°)	-12401	-0.62	-16298	-0.70	-15677	-0.75

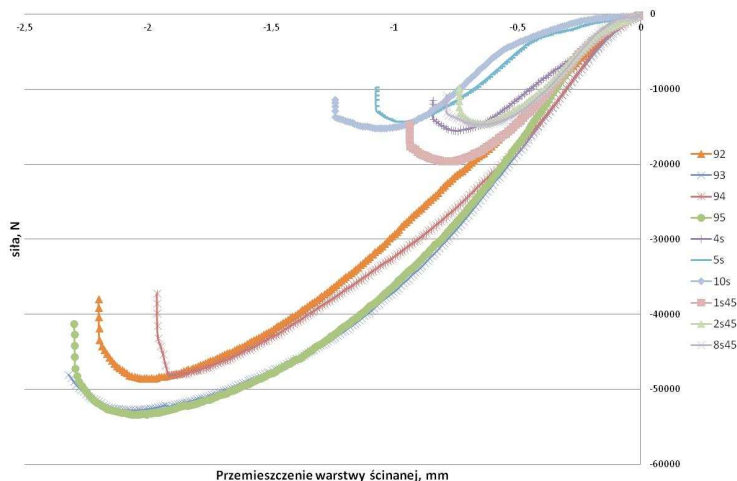
Tab. 4. Odchylenie standardowe wyników badania ścinania próbek w temperaturze 10 [°C]

Próbka \ Odchylenie standardowe	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
10°C bez siatki	900	0,07	2769	0,08	4314	0,16
10°C z siatką	3620	0,07	645	0,16	1868	0,16
10°C z siatką (45°)	130	0,02	2849	0,08	1191	0,06

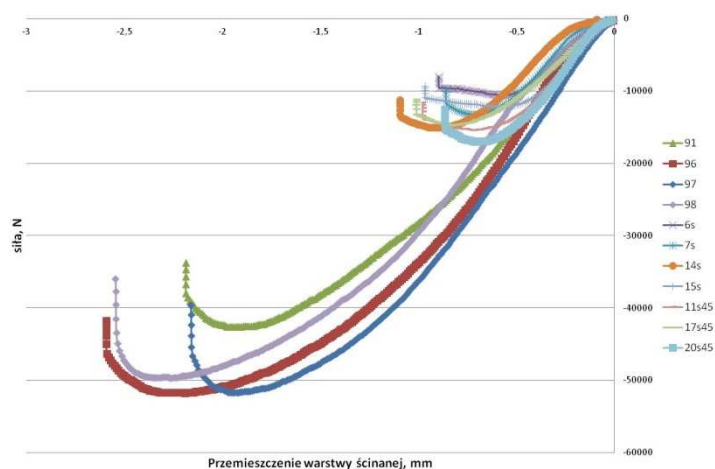
Na rys. od 1 do 3 przedstawiony został przebieg badania ścinania w temperaturze 10 [°C] próbek bez siatki, z siatką i z siatką obróconą o 45° oraz bez lub z ciśnieniem bocznym.



Rys.1. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 10 [°C], bez ciśnienia bocznego



Rys.2. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 10 [°C], z ciśnieniem bocznym 0.15 [MPa]



Rys.3. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 10 [°C], z ciśnieniem bocznym 0.3 [MPa]

### 3.2 Wyniki badań w temperaturze 20 °C

W temperaturze 20 [°C] wykonano 36 oznaczeń, jednakże 4 wyniki zostały odrzucone, gdyż znacznie odbiegały od średniej. W tab. 5. zamieszczone zostały średnie wyniki siły ścinającej, [N], oraz przemieszczenie, [mm], w kolejnej tab. 6. zamieszczone zostało odchylenie standardowe wyników uwzględnianych podczas obliczania średniej (w jednostkach danej wielkości).

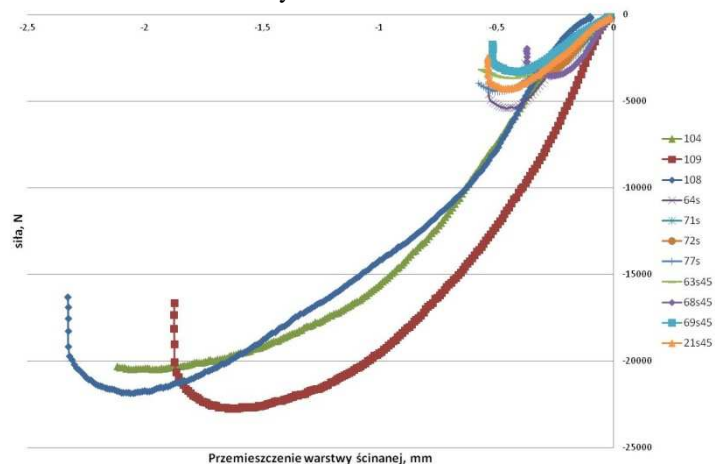
Tab. 5. Wyniki badania ścinania próbek w temperaturze 20 [°C]

Próbka \ Ciśnienie boczne	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
20°C bez siatki	-21683	-1.89	-24399	-1.73	-25143	-2.36
20°C z siatką	-3697	-0.36	-8846	-0.64	-8045	-0.73
20°C z siatką (45°)	-3676	-0.40	-5659	-0.47	-12258	-0.92

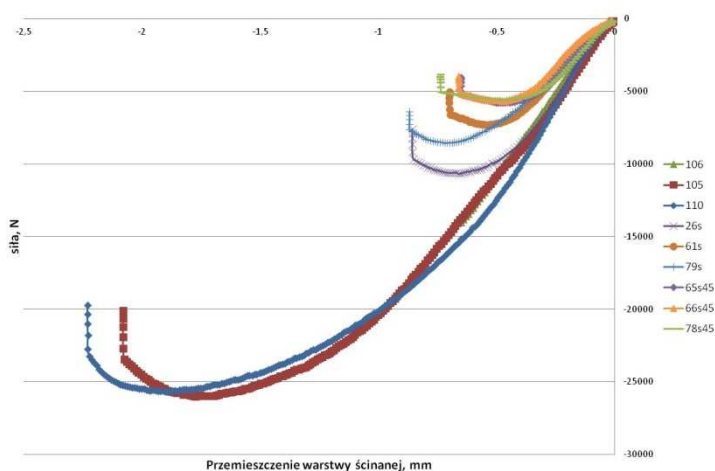
Tab. 6. Odchylenie standardowe wyników badania ścinania próbek w temperaturze 20 [°C]

Próbka \ Odchylenie standardowe	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
20°C bez siatki	1151	0.22	2493	0.20	4567	0.44
20°C z siatką	632	0.12	1708	0.09	1052	0.19
20°C z siatką (45°)	419	0.09	109	0.01	2146	0.15

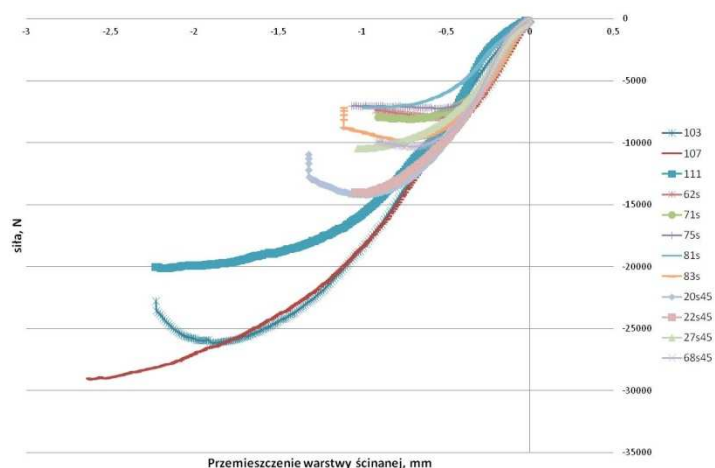
Na rys. od 4 - 6 przedstawiony został przebieg badania ścinania w temperaturze 20 [°C] próbek bez siatki, z siatką i z siatką obróconą o 45° oraz bez lub z ciśnieniem bocznym.



Rys.4. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 20 [°C], bez ciśnienia bocznego



Rys.5. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 20 [°C], z ciśnieniem bocznym 0.15 [MPa]



Rys.6. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 20 [°C], z ciśnieniem bocznym 0.3 [MPa]

### 3.3 Wyniki badań w temperaturze 30 °C

W temperaturze 30 [°C] wykonano 38 oznaczeń, jednakże 3 wyniki zostały odrzucone, ponieważ znacznie odbiegały od średniej. W tab. 7. zamieszczone zostały średnie wyniki siły ścinającej, [N], oraz przemieszczenie, [mm], w kolejnej tab. 8. zamieszczone zostało odchylenie standardowe wyników uwzględnianych podczas obliczania średniej (w jednostkach danej wielkości).

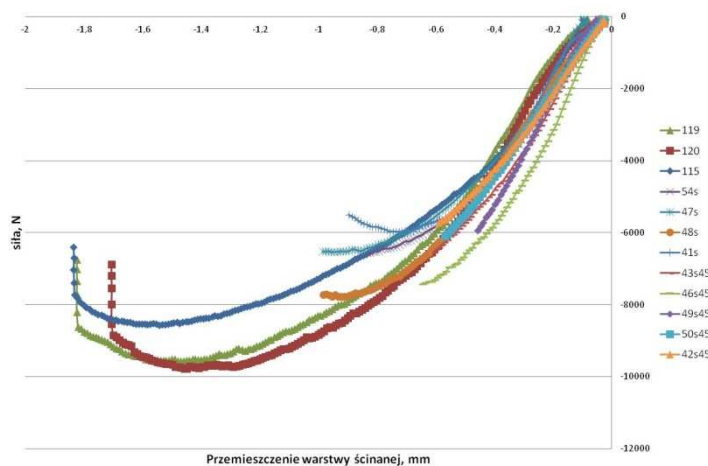
Tab. 7. Wyniki badania ścinania próbek w temperaturze 30 [°C]

Próbka \ Ciśnienie boczne	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
30°C bez siatki	-9302	-1.48	-11139	-1.70	-16725	-2.49
30°C z siatką	-6757	-0.94	-8809	-1.24	-11653	-2.12
30°C z siatką (45°)	-7897	-0.97	-7768	-1.14	-10095	-1.55

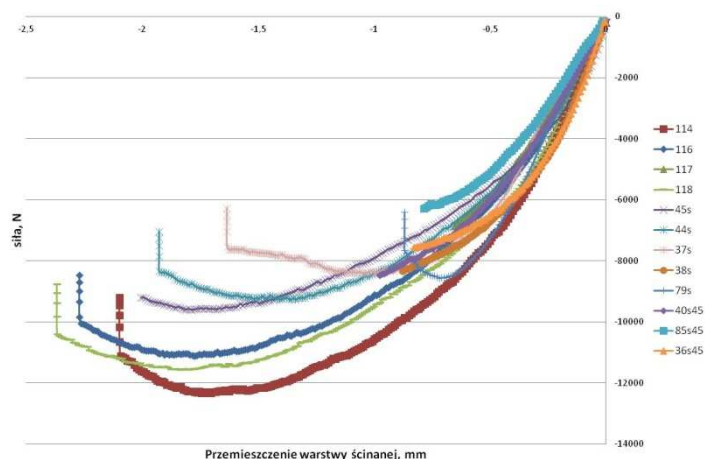
Tab. 8. Odchylenie standardowe wyników badania ścinania próbek w temperaturze 20 [°C]

Próbka \ Odchylenie standardowe	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
30°C bez siatki	640	0.05	1175	0.17	1196	0.38
30°C z siatką	654	0.11	595	0.34	641	0.17
30°C z siatką (45°)	649	0.08	1105	0.17	1571	0.45

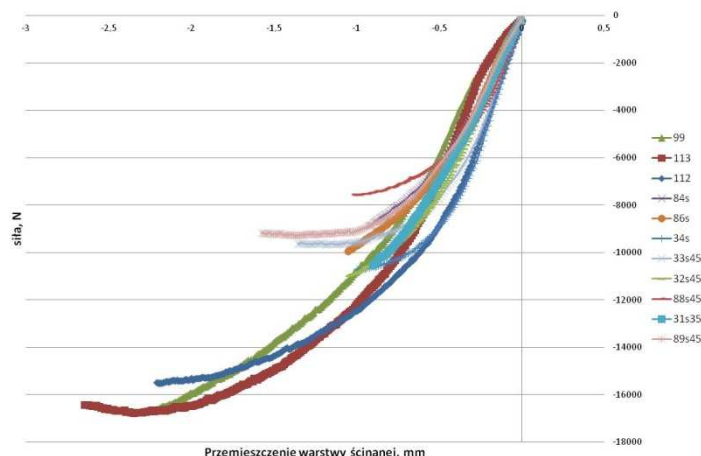
Na rys. od 7 - 9 przedstawiony został przebieg badania ścinania w temperaturze 30 [°C] próbek bez siatki, z siatką i z siatką obróconą o 45° oraz bez lub z ciśnieniem bocznym.



Rys.7. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 30 [°C], bez ciśnienia bocznego



Rys.8. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 30 [°C], z ciśnieniem bocznym 0.15 [MPa]



Rys.9. Przebieg badania ścinania próbek w temperaturze 30 [°C], z ciśnieniem bocznym 0.3 [MPa]

#### 4. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADANIA ŚCINANIA W NOWYM APARACIE ORAZ ICH ANALIZA

Wyniki ponad 100 badań ścinania zostały zestawione w poniższej tab. 9. W kolejnych tab. 10. zamieszczono odchylenia standardowe, obliczone z wyników uwzględnionych przy obliczaniu średnich. Pierwsza z tablic zawiera wartości odchylenia w jednostkach pomiaru natomiast druga procentową wartość odchylenia

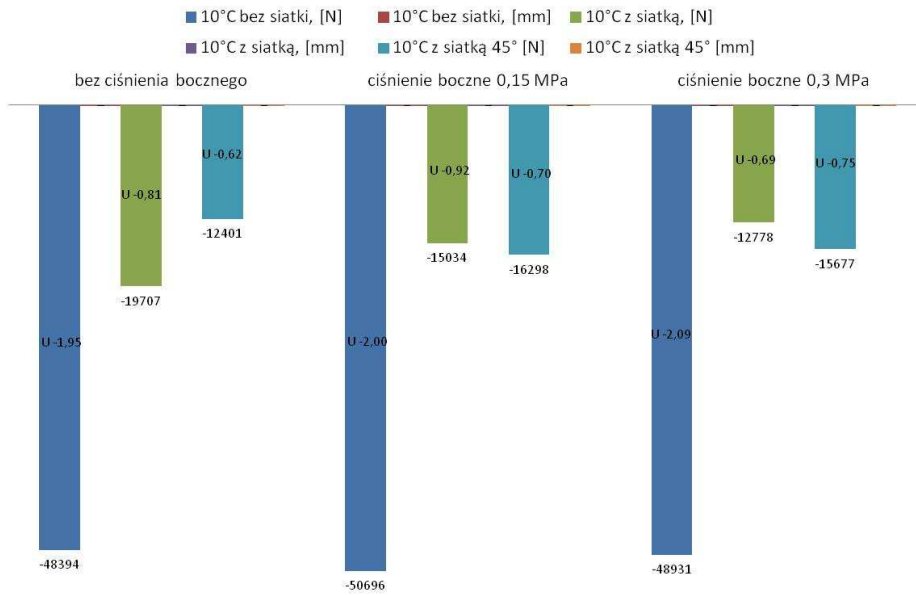
Tab. 9. Wyniki badania ścinania próbek w innowacyjnym aparacie z możliwością przyłożenia ciśnienia bocznego

Próbka \ Ciśnienie boczne	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
10°C bez siatki	-48394	-1.95	-50696	-2.00	-48931	-2.09
10°C z siatką	-19707	-0.81	-15034	-0.92	-12778	-0.69
10°C z siatką (45°)	-12401	-0.62	-16298	-0.70	-15677	-0.75
20°C bez siatki	-21683	-1.89	-24399	-1.73	-25143	-2.36
20°C z siatką	-3697	-0.36	-8846	-0.64	-8045	-0.73
20°C z siatką (45°)	-3676	-0.40	-5659	-0.47	-12258	-0.92
30°C bez siatki	-9302	-1.48	-11139	-1.70	-16725	-2.49
30°C z siatką	-6757	-0.94	-8809	-1.24	-11653	-2.12
30°C z siatką (45°)	-7897	-0.97	-7768	-1.14	-10095	-1.55

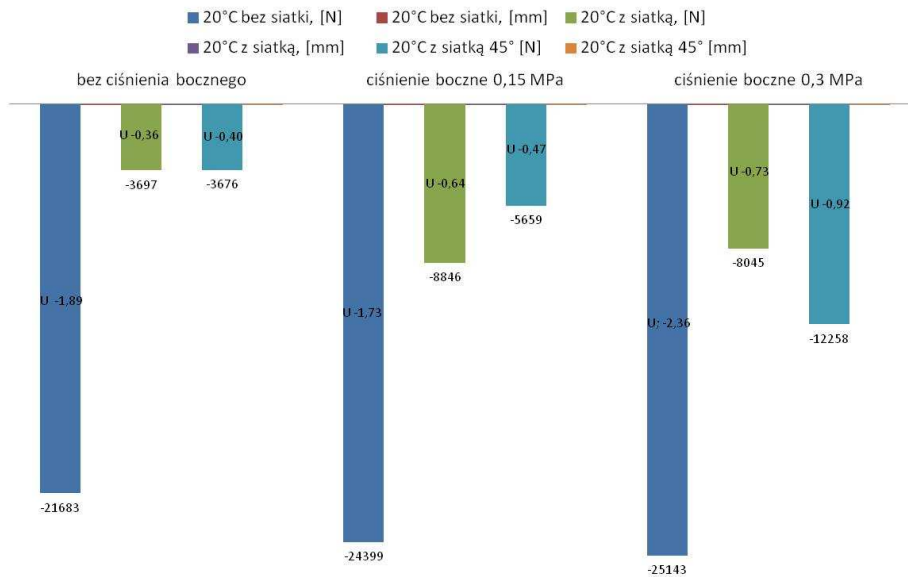
Tab. 10. Odchylenia standardowe wyników badania ścinania w procentach

Próbka \ Ciśnienie boczne	0		0.15 MPa		0.3 MPa	
	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]	siła [N]	przem. [mm]
10°C bez siatki	1,9	3,7	5,5	4,0	8,8	7,7
10°C z siatką	18,4	9,1	4,3	17,2	14,6	23,4
10°C z siatką (45°)	1,0	2,5	17,5	12,1	7,6	8,5
20°C bez siatki	5,3	11,5	10,2	11,4	18,2	18,6
20°C z siatką	17,1	32,7	19,3	13,8	13,1	25,6
20°C z siatką (45°)	11,4	22,0	1,9	1,6	17,5	15,9
30°C bez siatki	6,9	3,5	10,5	10,0	7,2	15,3
30°C z siatką	9,7	12,0	6,8	27,1	5,5	8,2
30°C z siatką (45°)	8,2	8,0	14,2	14,9	15,6	28,7

Wyniki pozwalają stwierdzić, że zaprojektowany i wykonany w IBDiM innowacyjny aparat badawczy spełnił założenia, pozwalając uwzględnić w badaniu ścinania wpływ pozostałej konstrukcji nawierzchni poprzez przyłożenie ciśnienia bocznego. Na rys. 10. przedstawiono wyniki badań w funkcji siły ścinającej i przemieszczenia przy ścięciu w temperaturze 10 [°C], na kolejnych rys. 11. i 12. odpowiednio w temperaturze 20 [°C] i 30 [°C].

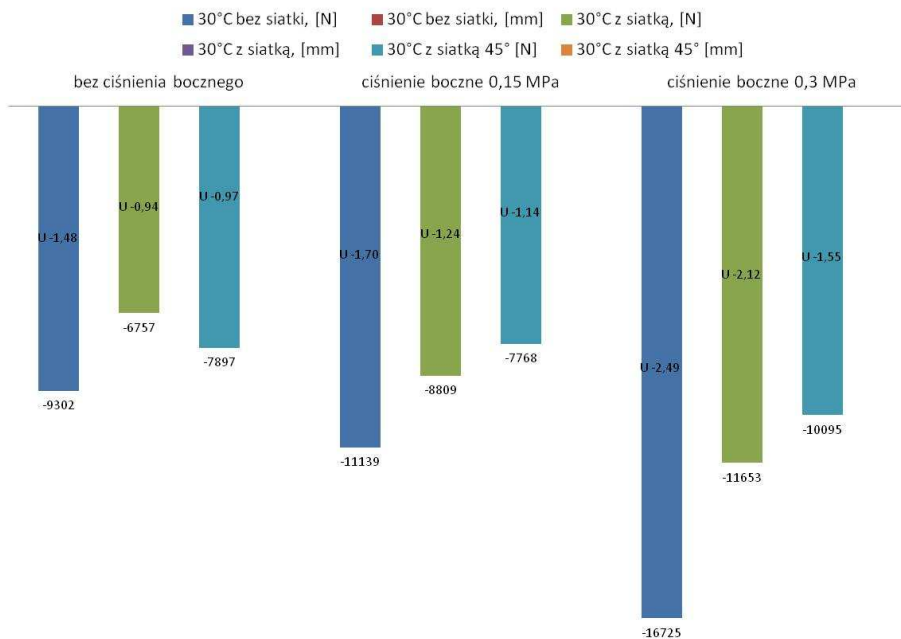


Rys.10. Wyniki badania ścinania w temperaturze 10 °C (siła ścinająca [N] oraz przemieszczenie [mm])



Rys.11. Wyniki badania ścinania w temperaturze 20 °C (siła ścinająca [N] oraz przemieszczenie [mm])





Rys.12. Wyniki badania ścinania w temperaturze 30 °C (siła ścinająca [N] oraz przemieszczenie [mm])

Otrzymane wartości pokazują, że wpływ ciśnienia bocznego rośnie wraz z temperaturą, co jest pochodną zmiany sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej. W temperaturze 10 [°C], gdy moduł sztywności jest wysoki wpływ ciśnienia bocznego jest znikomy, lub nawet nie zauważalny biorąc pod uwagę obliczone odchylenia standardowe. Jest to zgodne z wynikami wcześniejszych prac przeprowadzonych w Polsce [2] jak i zagranicznych [7] ukazujących wpływ temperatury na pracę zbrojonej nawierzchni drogowej. Można stwierdzić, że bez ciśnienia bocznego oraz z ciśnieniem bocznym 0.15 [MPa] i 0.3 [MPa] wielkość siły ścinającej oraz przemieszczenie są stałe lub bardzo zbliżone, nie da się zaobserwować intuicyjnego trendu w wynikach, czyli zwiększania się siły ścinającej wraz z wzrostem ciśnienia bocznego. Jednocześnie odchylenia standardowe wyników badań w tej temperaturze są najniższe.

Analizując wyniki badań wykonanych w 20 [°C] można zauważyć, że przyłożenie ciśnienia bocznego wywołuje wzrost siły ścinającej oraz przyrost przemieszczenia odpowiadającego sile ścinania. W porównaniu do wyników z 10 [°C], wartości sił spadły o około 50% w odniesieniu do próbek bez siatki oraz o około 30% w odniesieniu do próbek z siatką.

Podniesienie temperatury badania do 30 [°C] spowodowało obniżenie o około 50 % siły ścinającej (w stosunku do wyników uzyskanych w temperaturze 20 [°C]) przy badaniu próbek bez siatki. W przypadku próbek z siatką zaobserwowano generalnie wzrost siły ścinającej, lub utrzymanie się na zbliżonym poziomie do danych z 20 [°C]. Przemieszczenie zarejestrowane podczas badania próbek bez siatki zbliżone jest do wartości uzyskanych w 10 [°C], natomiast w odniesieniu do próbek z siatką wzrasta w przybliżeniu dwukrotnie. Jednocześnie widać także wpływ przyłożenia ciśnienia bocznego, wraz z jego wzrostem wzrastają siły ścinające oraz w przypadku próbek z siatką (w obu analizowanych układach) przemieszczenie.

Mimo wykonania płyt w laboratorium odchylenia standardowe wyników było znaczne, dlatego podczas prac na rzeczywistej drodze należy bezwzględnie przestrzegać zaleceń podanych w zaleceniach [5]. Prace badawcze będą w najbliższym czasie kontynuowane z zastosowaniem innych rodzajów siatek. Zostanie również podjęta próba zaproponowania i weryfikacji relacji konstytutywnej interfejsu z siatką i bez siatki, co będzie realizacją wcześniej wysuwanych postulatów [6].

## 5. WNIOSKI

Reasumując, na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że:

- maksymalna siła ścinająca i odpowiadające jej przemieszczenie zaobserwowano w badaniach próbek bez siatki,
- ułożenie siatki pomiędzy warstwami mieszanki mineralno-asfaltowej osłabia wytrzymałość na ścinanie połączenia między warstwowego,
- nie zaobserwowano wyraźnej różnicy pomiędzy wynikami uzyskiwanymi z badań ścinania próbek z siatką z siłą ścinającą przykładaną wzdłuż i prostopadle (siatka o oczkach kwadratowych) do włókien siatki oraz pod kątem 45°,
- największe siły ścinające wystąpiły podczas badań w temperaturze 10 [°C], natomiast największe przemieszczenia w temperaturze 30 °C,
- w próbkach bez siatki zmiana temperatury badania z 10 [°C] na 30 [°C] wywołuje zmniejszenie odporności na ścinanie nawet do 80%, podczas gdy spadek w wypadku badania próbek z siatką nie przekracza 60%,

- zaobserwowano znaczne odchylenia standardowe wyników badań wynikające prawdopodobnie z niedoskonałości zagęszczania próbek z siatką w czasie ich przygotowania w laboratorium.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bugajski M., Grabowski W.: Geosyntetyki w budownictwie drogowym, WPP, Poznań, 1999.
- [2] DiMaggio J.A., Cribbs M.M.: The Role of Geosynthetics on USA Highways, Geotextiles and Geomembranes, vol.14, pp.243-251, 1996.
- [3] Gajewski M., Jemioło S.: Ocena wpływu zbrojenia siatkami warstwowych nawierzchni drogowych, 11 th International Conference „Computer Systems Aided Science, Industry and Transport, str. 215-220, TRANSCOMP 2007, Zakopane 2007.
- [4] Gajewski M., Jemioło S.: Ocena wpływu zbrojenia siatkami warstwowych nawierzchni drogowych, Drogi-Lądowe-Powietrzne-Wodne, Media-Pro, str. 59-61, 1-2/2008.
- [5] Zawadzki J., Skierczyński P.: Zalecenia stosowania geowłóknin w warstwach asfaltowych nawierzchni drogowych, Zeszyt 66 IBDiM, Informacje, Instrukcje, Warszawa 2004.
- [6] Jemioło S., Gajewski M., Maliszewski M., Mularzuk R., Sybilski D.: Theoretical models of road meshes and their use in standard pavement designing software, 4th Euroasphalt&Eurobitume Congress, pp. 468-475, 21-23 May 2008.
- [7] Komatsu T., Kikuta H., Tuji Y., Muramatsu E.: Durability assessment of geogrid-reinforced asphalt concrete, Geotextiles and Geomembranes, vol.16, pp.257-271, 1998.
- [8] Bańkowski W., Gajewski M., Sybilski D.: Looking for fatigue damage on test sections submitted to the accelerated loading test, 11th International Conference on Asphalt Pavements: “Safe Global Environment” – Nagoya, 2010.

### Podziękowania

Urządzenie do ścinania próbek z możliwością przyłożenia siły bocznej oraz badania zostały wykonane w ramach grantu z Ministerstwa Nauki pt.: „Modelowanie kompozytu mieszanki mineralno-asfaltowej z siatką syntetyczną” pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Dariusza Sybilskiego w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów.