

TN-253: Nawierzchnie asfaltowe długowieczne i tanie w utrzymaniu

Sprawozdanie z realizacji zadań 2 i 3

Opracował zespół:

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
dr inż. Wojciech Bańkowski
mgr inż. Renata Horodecka
mgr inż. Maciej Maliszewski

Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad 2010.

SPIS TREŚCI

Zakres sprawozdania	3
Zadanie 2	4
Wybór rozwiązań odpowiednich do polskich warunków klimatycznych i materiałowych: nawierzchnie asfaltowe podatne i półsztywne, niezbrojone i zbrojone siatkami	5
Wytypowanie i zgromadzenie materiałów do badań oraz zaprojektowanie składów MMA wraz z określeniem ich właściwości podstawowych i funkcjonalnych	6
Wytypowanie i zgromadzenie materiałów do badań oraz zaprojektowanie składów mieszanek związanych spoiwami hydraulicznymi do podbudowy wraz z określeniem ich właściwości podstawowych i funkcjonalnych	7
Wytypowanie i zgromadzenie siatek zbrojących do badań wraz z określeniem ich właściwości	7
Zadanie 3	20
Wybór lokalizacji odcinków doświadczalnych na drodze krajowej	21
Zaprojektowanie metodą mechanistyczną konstrukcji nawierzchni asfaltowych: podatnych i półsztywnych, niezbrojonych i zbrojonych siatkami o prognozowanej trwałości ponad 40 lat	22
Literatura	39

Zakres sprawozdania

Zgodnie z umową na realizację pracy badawczej pt.: „Nawierzchnie asfaltowe długowieczne i tanie w utrzymaniu” w roku 2010 przewidziano do realizacji zadanie 2 i 3:

Zadanie 2 Opracowanie i weryfikacja zasad doboru materiałów do warstw asfaltowych, stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi, siatek zbrojących

- Wybór rozwiązań odpowiednich do polskich warunków klimatycznych i materiałowych: nawierzchnie asfaltowe podatne i półsztywne, niezbrojone i zbrojone siatkami
- Wytypowanie i zgromadzenie materiałów do badań oraz zaprojektowanie składów MMA wraz z określeniem ich właściwości podstawowych i funkcjonalnych
- Wytypowanie i zgromadzenie materiałów do badań oraz zaprojektowanie składów mieszanek związanych spoiwami hydraulicznymi do podbudowy wraz z określeniem ich właściwości podstawowych i funkcjonalnych
- Wytypowanie i zgromadzenie siatek zbrojących do badań wraz z określeniem ich właściwości

Zadanie 3 Zaprojektowanie konstrukcji nawierzchni

- Wybór lokalizacji odcinków doświadczalnych na drodze krajowej
- Badania warunków gruntowych i wodnych
- Zaprojektowanie metodą mechanistyczną konstrukcji nawierzchni asfaltowych: podatnych i półsztywnych, niezbrojonych i zbrojonych siatkami o prognozowanej trwałości ponad 40 lat

Zadanie 2 Opracowanie i weryfikacja zasad doboru materiałów do warstw asfaltowych, stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi siatek zbrojących

1. Wybór rozwiązań odpowiednich do polskich warunków klimatycznych i materiałowych: nawierzchnie asfaltowe podatne i półsztywne, niezbrojone i zbrojone siatkami

Analiza doświadczeń w zakresie nawierzchni długowiecznych na świecie przedstawiona w zadaniu 1 pozwala na wytypowanie potencjalnie najlepszych rozwiązań do zastosowania w polskich warunkach klimatycznych i materiałowych.

Ogólnie można stwierdzić, że konstrukcje nawierzchni długowiecznych charakteryzują się dużą grubością warstw konstrukcyjnych, warstwa ścieralna powinna być odporna na deformacje trwałe, pękanie niskotemperaturowe i zmęczenie (generowane od góry) a warstwa podbudowy i wiążąca powinny charakteryzować się wysoką sztywnością, odpornością na koleinowanie i zmęczenie. Przedmiotem niniejszej pracy są nawierzchnie podatne i półsztywne.

W zakresie warstwy wiążącej i podbudowy należy wykorzystać beton asfaltowy o wysokim module sztywności ACWMS. Mieszanka tego typu projektowana jest metodą funkcjonalną, a więc jej właściwości są oceniane zaawansowanymi metodami badawczymi, które w sposób bezpośredni symulują warunki i mechanizmy obciążenia na drodze. Dobre, podwyższone właściwości uzyskiwane są poprzez odpowiedni dobór składu mieszanki. Uziarnienie jest tak dobierane, aby przy stosunkowo niskiej zawartości próżni wprowadzona została dość duża ilość asfaltu. Dzięki temu mieszanka ACWMS charakteryzuje się większą trwałością zmęczeniową niż typowe betony asfaltowe do warstwy wiążącej i podbudowy. Odporność na deformacje trwałe i sztywność są zapewnione dzięki zastosowaniu twardszych asfaltów lub polimeroasfaltów. Mieszanka typu ACWMS jest od około 10 lat stosowana w Polsce. W ostatnich latach coraz częściej stosowana przez projektantów. Zalety i przydatność do stosowania w naszych warunkach zostały również potwierdzone w pracach badawczych na zlecenie GDDKiA [2, 1] oraz międzynarodowym projekcie współfinansowanym przez UE pt. „SPENS”[2].

W planowanych odcinkach zastosowane zostaną asfalty dotychczas stosowane do ACWMS w Polsce (20/30 i 10/40-65) oraz asfalty twardsze (10/20 lub 15/25). Przewidywane jest również zastosowanie asfaltów modyfikowanych nowym rodzajem SBS produkcji Kraton (MD-243) [3] oraz modyfikatorem produkcji Honeywell (HON7686). W projektowanych receptach ACWMS zostaną również uwzględnione różnego rodzaju kruszywa, w tym kruszywa lokalne o niższej jakości takich

materiałów została potwierdzona w pracy badawczej realizowanej na zlecenie GDDKiA w roku 2006 [4] oraz na odcinkach testowych w ramach projektu SPENS [5]. W ramach przytoczonej powyżej pracy badawczej w projekcie SPENS bardzo obiecujące wyniki uzyskano w przypadku konstrukcji z ACWMS i warstwą przeciwmęczeniową z asfaltem modyfikowanym i włóknem Tofic. Jak wskazano w przeglądzie doświadczeń zagranicznych w zadaniu 1 podobne rozwiązania stosowane są w USA. Rozwiązanie to zostanie również wdrożone na odcinkach testowych realizowanych w ramach niniejszej pracy badawczej.

W przypadku nawierzchni półsztywnych przewidziano wykonanie konstrukcji o podbudowie z kruszywa stabilizowanego cementem i chudego betonu. Przy tych konstrukcjach szczególną uwagę należy zwrócić na zastosowanie środków zapobiegających spękanom odbitym generowanym w warstwach związanych spoiwem hydraulicznym (nacinanie co 2-3 metry, siatki zbrojące, dobre połączenie międzywarstwowe).

Do warstwy ścieralnej przewidziano zastosowanie mieszanki SMA i mieszanki o nieciąglym uziarnieniu BBTM, w obydwu przypadkach z polimeroasfaltem. Tego rodzaju mieszanki są zalecane do stosowania, szczególnie do wyższych kategorii ruchu (KR5-6). Biorąc pod uwagę trwałość nawierzchni powinny zapewnić lepszą odporność niskotemperaturową, lepszą odporność na koleinowanie i zmęczenie niż mieszanki z asfaltem drogowym (zwykłym) i beton asfaltowy.

2. Wytypowanie i zgromadzenie materiałów do badań oraz zaprojektowanie składów MMA wraz z określeniem ich właściwości podstawowych i funkcjonalnych

Mieszanki mineralno-asfaltowe typu SMA, BBTM i ACWMS do zastosowania na odcinkach testowych powinny zostać zaprojektowane zgodnie z normami z serii PN-EN 13108 oraz wymaganiami zawartymi w aktualnym wydaniu „Wymagań Technicznych – Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych”. Dobór materiałów i projektowanie recept powinno zostać przeprowadzone pod nadzorem IBDiM. Szczegóły w zakresie doboru materiałów zostaną ustalone po ustaleniu lokalizacji, ilości odcinków i konsultacjach z GDDKiA. W Załączniku 1 przedstawiamy przykładowe recepty na SMA i ACWMS, które mogą być wykorzystane przy okazji budowy odcinków.

3. Wytypowanie i zgromadzenie materiałów do badań oraz zaprojektowanie mieszanek związanych spoiwami hydraulicznymi

W ramach realizacji odcinków testowych przewiduje się zastosowanie dwóch rodzajów podbudów sztywnych: z kruszywa stabilizowanego cementem i chudego betonu. Dobór materiałów jaki i projektowanie recept powinno zostać przeprowadzone pod nadzorem IBDiM. Szczegóły w zakresie doboru materiałów zostaną ustalone po ustaleniu lokalizacji, ilości odcinków i konsultacjach z GDDKiA. W Załączniku 2 przedstawiamy przykładowe recepty na mieszankę kruszywa stabilizowanego cementem i chudego betonu udostępnione przez firmę TPA Instytut Badań Technicznych Sp. z o.o.

4. Wytypowanie i zgromadzenie siatek zbrojących do badań wraz z określeniem ich właściwości

Zgodnie z zapisami Zeszytu 66/2004 IBDiM podstawową zasadą zastosowania geosyntetyków, zarówno w budowie nowych nawierzchni i remoncie lub modernizacji starych jest określenie celu tego zabiegu. W przypadku istniejących nawierzchni, należy określić, pod względem ilościowym i jakościowym rodzaj uszkodzeń oraz poznać przyczyny ich powstania. Określenie celu będzie pomocne w wyborze odpowiedniego geosyntetyku i sposobu zainstalowania go w konstrukcji nawierzchni. Z powodu braku ogólnie przyjętej metody uwzględniania geosyntetyków w pracy nawierzchni należy przyjąć, że stosowanie geosyntetyku w konstrukcji nawierzchni powinno mieć charakter profilaktyczny dla zwiększenia jej trwałości, jeżeli to było głównym celem jego zastosowania.

Na obecnym etapie realizacji pracy badawczej nie zostały jeszcze sprecyzowane lokalizacje odcinków testowych, więc w dalszej części przedstawiono najważniejsze dostępne rozwiązania i materiały oraz wybrano zalecenia dotyczące warunków montażu.

Siatki wzmacniające w praktyce

Pomysł zastosowania zbrojenia nawierzchni asfaltowych wywodzi się z zastosowań w geotechnice. Do zbrojenia gruntów z powodzeniem stosuje się geotekstylię pod postacią geowłóknin i geosiatek oraz połączenia tych dwóch produktów, czyli geokompozytów do wzmacniania i stabilizacji warstw ziemnych, kruszywa niezwiązanego itp. Praktyka pokazała, iż zastosowanie tych rozwiązań w warstwach asfaltowych również przynosi korzyści, jednak nie są one tak widoczne, jak w

przypadku zastosowań geotechnicznych. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń międzynarodowych przyjęło się, że geosyntetyki do zbrojenia nawierzchni mają na celu:

- opóźnianie powstawania spękań zmęczeniowych,
- opóźnianie powstawania spękań odbitych oraz wzmacnianie połączenia między konstrukcją starej i nowej nawierzchni na poszerzeniu,
- zwiększenie odporności na deformacje strukturalne nawierzchni (odkształcenia podłoża),
- zwiększenie odporności na deformacje trwałe,
- zwiększenie nośności nawierzchni.

Zastosowanie geosiatek może mieć spory wpływ na trwałość nawierzchni. W miejscach spodziewanej propagacji spękań od podbudowy do warstw asfaltowych ułożenie geosiatki, pod warunkiem prawidłowego wykonania, może opóźnić pojawienie się tych uszkodzeń. Badania przeprowadzone przez IBDiM [6, 7] na różnych odcinkach doświadczalnych dowiodły, iż stosowanie geosiatek zbrojeniowych nie powoduje zmniejszenia ugięć nawierzchni, lecz ma wpływ na zmianę promienia czaszy ugięcia. Fakt ten bezpośrednio przekłada się na poprawę trwałości zbrojonych warstw asfaltowych poprzez ograniczenie naprężeń rozciągających w spodzie warstw asfaltowych. Nie opublikowano jednak jeszcze sposobu na wykorzystanie tej cechy siatek przy obliczaniu trwałości remontu.

Wielokrotnie w trakcie odwiercania próbek do badań natrafiono na niezbitý dowód tezy spodziewanych efektach zbrojenia geosiatkami nawierzchni. Spostrzeżenie to przedstawiono na poniższym zdjęciu. W jednym z odwiertów natrafiono na podbudowę z pęknięciem przechodzącym centralnie przez średnicę próbki. Pęknięcie to nie przeniosło się na wyższe warstwy asfaltowe najprawdopodobniej za sprawą geosiatki zastosowanej w tym miejscu (fotografia 1).



Rysunek 1 Dowód na efektywność zbrojenia nawierzchni geosiatkami (jasna linia obrazuje lokalizację siatki)

Można niestety również mnożyć negatywne przykłady. Na niektórych nawierzchniach o konstrukcji półsztywnej, pomimo zastosowania siatek zbrojeniowych z włókna szklanego, nie udało się zupełnie wykluczyć wystąpienia spękań odbitych na nawierzchni asfaltowej. Jak się okazało, przy okazji odwiertu pobranego w Al. Stanów Zjednoczonych, jednym z możliwych powodów przejścia spękań na nową nawierzchnię była **zbyt wąska szerokość układanych pasm siatki zbrojeniowej**. W pobranym odwiercie stwierdzono zakończenie siatki zbrojeniowej dokładnie w miejscu pęknięcia (rysunek 2).



Rysunek 2 „Przedwczesne” zakończenie siatki zbrojeniowej w jednej ze spękanych lokalizacji.

Rodzaje siatek

Na rynku polskim dostępna jest szeroka gama siatek do zbrojenia nawierzchni. Pod względem użytego do produkcji siatki materiału można wyróżnić następujące rodzaje siatek:

- aramidowe,
- bazaltowe,
- polipropylenowe,
- stalowe,

- szklane,
- węglowe.

Połączenie nici zbrojeniowych siatki w węzłach realizuje się na trzy sposoby:

- na sztywno – połączenie o węzłach sztywnych i nieprzesuwnych występujące w przypadku siatek zbrojeniowych polipropylenowych; ten sposób połączenia uniemożliwia przesuwanie względem siebie oraz zmianę kąta między nićmi,
- związanie – połączenie o węzłach nieprzesuwnych; ten sposób uniemożliwia przesuwanie się względem siebie nici,
- sklejenie – połączenie nici osnowy i wątku przy użyciu lepiszcza,
- przeplot – wzajemny przeplot nici osnowy i wątku; ten sposób nie powoduje przesuwu nici względem siebie w czasie przechowywania, transportu, itp. siatki, ale umożliwia pełne dostosowanie się nici do uziarnienia mieszanki mineralno-asfaltowej, która kładzona jest na siatce,
- skręcenie – stosowane w przypadku siatek stalowych.

Wyróżnia się następujące metody mocowania siatek do podłoża:

- skropienie emulsją – w tym celu najlepiej zastosować emulsję asfaltową na bazie asfaltu modyfikowanego elastomerem; w zależności od tekstury nawierzchni ilość spryskania waha się od $0,3 \text{ kg/m}^2$ do $0,5 \text{ kg/m}^2$; spryskuje się warstwę podłoża, na której układana będzie siatka,
- „slurry seal” – mieszanka przygotowana na bazie piasku, cementu oraz emulsji (najlepiej na bazie asfaltu modyfikowanego elastomerem); stosuje się w przypadku zbrojenia nawierzchni siatką stalową po wcześniejszym przybiciu siatki do podłoża,
- przybicie – zazwyczaj stosowane w przypadku siatek stalowych; ze względu na czasochłonne wykonanie stosuje się w miejscach szczególnych np. na łączeniach pasm siatek, na końcach pasm, itd.,
- pokrycie siatki środkiem adhezyjnym – niektóre siatki pokrywane są w procesie produkcyjnym środkiem zapewniającym przyczepność do podłoża; sposób praktyczny, ale wilgotne podłoże powoduje utratę właściwości przez środek adhezyjny.

Siatki do zbrojenia nawierzchni posiadają kilka parametrów charakterystycznych:

- masa powierzchniowa,
- wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż pasma,

- wytrzymałość na rozciąganie wszerz pasma,
- wydłużenie przy rozciąganiu wzdłuż pasma,
- wydłużenie przy rozciąganiu wszerz pasma.

Siatki do zbrojenia nawierzchni mają na celu:

- zapobieganie spękanom zmęczeniowym,
- zapobieganie spękanom odbitym oraz wzmacnianie połączenia między starą i nową konstrukcją nawierzchni,
- zwiększenie odporności na deformacje struktury nawierzchni,
- zwiększenie odporności na deformacje trwałe,
- zwiększenie nośności nawierzchni.

Każde z wymienionych zagadnień wykorzystuje inne parametry siatki zbrojeniowej. Przy zapobieganiu spękanom odbitym najistotniejszą rolę odgrywa wytrzymałość na rozciąganie wraz z wydłużeniem względnym przy zerwaniu. Natomiast przy zwiększaniu odporności na deformacje trwałe, zwiększeniu odporności na spękania zmęczeniowe oraz zwiększaniu nośności nawierzchni najistotniejsza jest wartość modułu sprężystości siatki. Wartość modułu sprężystości oblicza się np. przy 2 % odkształceniu w czasie badania rozciągania siatki na podstawie wzoru:

$$E = \frac{F}{\varepsilon_{2\%}} \cdot \frac{b}{b' \cdot d}, \text{ MPa}$$

gdzie:

E – moduł sztywności siatki,

F – siła potrzebna do osiągnięcia odkształcenia o wartości 2 %, N/mm,

$\varepsilon_{2\%}$ - odkształcenie o wartości 2 %,

b/b' – część siatki zajmowana przez włókna, przy czym b to szerokość pasma włókien, b' to szerokość światła oczka siatki, mm,

d – grubość siatki, mm.

Poniższa tablica zawiera przybliżone wartości parametrów mechanicznych różnych rodzajów siatek.

Tablica 1 Zestawienie orientacyjnych parametrów technicznych siatek

Lp.	Materiał siatki	Moduł sprężystości, MPa	Wydłużenie graniczne, %
1	Włókna węglowe	240 000	1,7
2	Stal	210 000	nie dotyczy
3	Aramid (Kevlar)	120 000	2,4
4	Włókna bazaltowe	110 000	4,0
4	Włókna szklane	65 000	3,5
5	Poliester	15 000	12,0
6	Polipropylen	12 000	15,0

W celu uzyskania optymalnych parametrów współpracy siatki z nawierzchnią minimalna głębokość wbudowania siatki wynosi 40 mm. W poniższych tablicach zestawiono parametry konkretnych wyrobów dostępnych na rynku.

Tablica 2 Siatki szklane powlekane asfaltem

Lp.	Właściwości	Jed- nostka	Wymaganie dla geosyntetyków				Metoda badania według
			S&P Glasphalt			S&P typ G	
			G	GS	GV		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Liczba nici na długości 100 cm:						PN-ISO 4602:1998
	- kierunek podłużny	szt.	50 ± 2			50 ± 2	
	- kierunek poprzeczny	szt.	51 ± 2			54 ± 2	
2	Masa powierzchniowa	g/m ²	520 ±26	480 ±24	540 ±27	290 ±15	PN-EN ISO 9864:2007
3	Wytrzymałość na rozciąganie:						PN-ISO 10319:1996
	- kierunek podłużny	kN/m	120 ±15			120 ±15	
	- kierunek poprzeczny	kN/m	120 ±15			120 ±15	
4	Wydłużenie względne przy obciążeniu maksymalnym:						PN-ISO 10319:1996
	- kierunek podłużny	%	≤ 3,0			≤ 3,0	
	- kierunek poprzeczny	%	≤ 3,0			≤ 3,0	

Tablica 3 Siatki szklano-węglowe powlekane asfaltem.

Lp.	Właściwości	Jed- nostki	Wymaganie dla geosyntetyków S&P Carbophalt			Metoda badania według
			G	GS	GV	
1	2	3	4	5	6	7
1	Liczba nici na długości 100 cm: - kierunek podłużny - kierunek poprzeczny	szt. szt.	50 ± 2 52 ± 2			PN-ISO 4602:1998
2	Masa powierzchniowa	g/m ²	420 ±21	400 ±10	440 ±22	PN-EN ISO 9864:2007
3	Wytrzymałość na rozciąganie: - kierunek podłużny - kierunek poprzeczny	kN/m kN/m	120 ±15 250 ±30			PN-ISO 10319:1996
4	Wydłużenie względne przy obciążeniu maksymalnym: - kierunek podłużny - kierunek poprzeczny	% %	≤ 3,0 ≤ 1,5			PN-ISO 10319:1996

Tablica 4 Siatki poliestrowe powlekane mieszanką żywicy akrylowej i asfaltu.

Lp.	Właściwości	Jed- nostki	Wymagania dla geosiatek CERTUS A			Metody badań według
			70/70-35x35	65/65-35x35	50/50-35x35	
1	2	3	4	5	6	7
1	Masa powierzchniowa	g/m ²	350 ± 53	340 ± 50	270 ± 40	PN-EN ISO 9864:2007
2	Wytrzymałość na rozciąganie w kierunku: - podłużnym, - poprzecznym.	kN/m	≥ 70 ≥ 70	≥ 65 ≥ 65	≥ 50 ≥ 50	PN-ISO 10319
3	Wytrzymałość na rozciąganie przy 2 % odkształceniu w kierunku: - podłużnym, - poprzecznym.	kN/m	≥ 14 ≥ 14	≥ 12 ≥ 12	≥ 10 ≥ 10	PN-ISO 10319
4	Wydłużenie przy zerwaniu w kierunku: - podłużnym, - poprzecznym.	%	≤ 12,5 ≤ 12,5	≤ 12,5 ≤ 12,5	≤ 12,5 ≤ 12,5	PN-ISO 10319

Tablica 5 Siatki polipropylenowe

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wymaganie dla geosyntetyków TENSAR		Metoda badania według
			Geosiatka AR1	Geokompozyt ARG	
1	2	3	4	5	6
1	Liczba żeber na długości/szerokości 100 cm	sztuka	15 ± 2		wizualnie
2	Wymiary oczek geosiatki AR1 w osiach żeber podłużnych i poprzecznych	mm	65 x 65; ± 13		pomiar liniałem lub
3	Masa powierzchniowa	g/m ²	od 210 do 240	od 330 do 390	PN-EN 965:1999
4	Wydłużenie względne przy zerwaniu geosiatki AR1: - kierunek wzdłużny - kierunek poprzeczny	% %	≤ 11,5 ≤ 14,5		PN-ISO 10319: 1996
5	Wytrzymałość na rozciąganie: - kierunek wzdłużny - kierunek poprzeczny	kN/m kN/m	≥ 20 ≥ 20		
6	Wytrzymałość na rozciąganie przy wydłużeniu względnym 2 %: - kierunek wzdłużny - kierunek poprzeczny	kN/m kN/m	≥ 7,5 ≥ 7,0		
7	Wytrzymałość na rozciąganie przy wydłużeniu względnym 5 %: - kierunek wzdłużny - kierunek poprzeczny	kN/m kN/m	≥ 15,0 ≥ 14,5		

Tablica 6 Siatki stalowe – wymagania wobec drutu

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wymagania dla siatki ROAD MESH™ odmiany:			Metody badań według
			8 × 10 / S	8 × 10 / L	8 × 10 / L1	
1	2	3	4	5	6	7
1	Średnica:					pomiar bezpośredni
	- drut oczek	mm	2,70 ± 0,1	2,40 ± 0,1	2,20 ± 0,1	
	- pręty poprzeczne	mm	4,90 ± 0,1	4,40 ± 0,1	3,90 ± 0,1	
2	Wytrzymałość na rozciąganie:					PN-EN 10218-1:2001
	- drut oczek	N/mm ²	≥ 373	≥ 373	≥ 373	
	- pręty poprzeczne	N/mm ²	≥ 373	≥ 373	≥ 373	
3	Masa powłoki z cynku:					PN-EN 10244-2:2003
	- drut oczek	g/m ²	≥ 245	≥ 230	≥ 230	
	- pręty poprzeczne	g/m ²	≥ 280	≥ 280	≥ 275	

Tablica 7 Siatki stalowe – wymagania wobec wyrobu

Właściwość	Jednostka	Wymagania dla siatki ROAD MESH™ odmiany:			Metoda badania według
		8 × 10 / S	8 × 10 / L	8 × 10 / L1	
Wytrzymałość na rozciąganie siatki:	kN/m				ASTM A 975
- wzdłuż		≥ 49	≥ 40	≥ 32	
- poprzeczne		≥ 62	≥ 50	≥ 35	

Zasady stosowania geosyntetyków

Aby geosyntetyk spełniał efektywnie swoją rolę, muszą być spełnione poniższe podstawowe warunki, w zależności od celu, który się chce osiągnąć.

A) Wzmocnienie geosiatką konstrukcji w celu zmniejszenia jej ugięć

- geosiatka powinna być umiejscowiona w konstrukcji nawierzchni tak aby pracowała na rozciąganie pod wpływem obciążenia od pojazdów,

- geosiatka będzie zainstalowana w sposób zapewniający jej współpracę z warstwami sąsiednimi (dobre zespolenie i niewielkie jej naciągnięcie),
- geosiatka nie będzie poddana lub tylko w niewielkim stopniu działaniu sił ścinających od obciążenia pojazdami (warunek ten w małym stopniu dotyczy geosiatki z drutu stalowego),
- w zakresie temperatury eksploatacji nawierzchni moduł sprężystości geosiatki będzie większy od modułu sztywności MMA, zwłaszcza w temperaturze ujemnej, w której moduł MMA jest największy,
- geosiatka będzie się charakteryzowała małym wydłużeniem przy zerwaniu, a jej wytrzymałość na rozciąganie będzie dostosowana do kategorii ruchu.

B) Zapobieganie przenikaniu pęknięć z warstw dolnych do górnych (odbitych)

Sposób polegający na wykonaniu cienkiej warstwy SAMI z użyciem geowłókniny

- zastosowana geowłóknina powinna mieć dużą chłonność asfaltu.
- warstwa SAMI z geowłókniną będzie umieszczona bezpośrednio na warstwie (warstwach) dolnej, będącej potencjalną przyczyną generowania pęknięć odbitych lub w przypadku, gdy jest ona nierówna, wówczas na warstwie wyrównawczej.

Sposób polegający na zbrojeniu geosiatką lub geokompozytem warstw (warstwy) asfaltowych w celu przeciwdziałania ich rozciąganiu na skutek skurczu warstw (warstwy) niżej leżących

- geosiatka lub geokompozyt będą umieszczone na spodzie warstwy lub pakietu warstw asfaltowych, które mają być chronione przed pęknięciami odbitymi,
- geosiatka lub geokompozyt będą z warstwami (warstwą) chronionymi ściśle zespolone i lekko naciągnięte,
- geosiatka lub geokompozyt tylko w niewielkim stopniu będą podlegały działaniu sił ścinających od obciążenia pojazdami (warunek ten w małym stopniu dotyczy geosiatki z drutu stalowego),
- moduł sprężystości geosiatki lub geokompozytu będzie w temperaturze ujemnej większy od modułu sztywności MMA,

- geosiatka lub geokompozyt będą się charakteryzowały małym wydłużeniem przy zerwaniu i bardzo dużą wytrzymałością na rozciąganie (lecz nie dotyczy to geosiatki z drutu stalowego).

C) Zapobieganie deformacjom strukturalnym

- geosiatka powinna być umiejscowiona w konstrukcji nawierzchni tak aby pracowała na rozciąganie pod wpływem obciążenia od pojazdów,
- geosiatka będzie zainstalowana w sposób zapewniający jej współpracę z warstwami sąsiednimi (dobre zespolenie i niewielkie jej naciągnięcie),
- geosiatka nie będzie poddana lub tylko w niewielkim stopniu działaniu sił ścinających od obciążenia pojazdami (warunek ten w małym stopniu dotyczy geosiatki z drutu stalowego),
- w zakresie temperatury eksploatacji nawierzchni moduł sprężystości geosiatki będzie większy od modułu sztywności MMA, zwłaszcza w temperaturze ujemnej, w której moduł MMA jest największy,
- geosiatka będzie się charakteryzowała małym wydłużeniem przy zerwaniu, a jej wytrzymałość na rozciąganie będzie dostosowana do kategorii ruchu.

D) Zapobieganie koleinom

- geosiatka będzie ułożona poniżej warstwy ścieralnej, na warstwie najbardziej narażonej na tworzenie się kolein i o najmniejszej na nie odporności spośród pozostałych warstw konstrukcji,
- zespolenie geosiatki (lekko naciągniętej) z sąsiednimi warstwami będzie przy pomocy asfaltu modyfikowanego, stosowanego na gorąco,
- geosiatka będzie się charakteryzowała małym wydłużeniem poprzecznym przy zerwaniu, a jej wytrzymałość na rozciąganie w kierunku poprzecznym będzie dostosowana do kategorii ruchu.

E) Wzmocnienie połączenia dwóch różnych konstrukcji lub konstrukcji starej i nowej

- geosiatka lub geokompozyt będą umieszczone na spodzie warstwy lub pakietu warstw asfaltowych, które mają być chronione przed pęknięciami odbitymi,
- geosiatka lub geokompozyt będą z warstwami (warstwą) chronionymi ściśle zespolone i lekko naciągnięte,

- geosiatka lub geokompozyt tylko w niewielkim stopniu będą podlegały działaniu sił ścinających od obciążenia pojazdami (warunek ten w małym stopniu dotyczy geosiatki z drutu stalowego),
- moduł sprężystości geosiatki lub geokompozytu będzie w temperaturze ujemnej większy od modułu sztywności MMA,
- geosiatka lub geokompozyt będą się charakteryzowały małym wydłużeniem przy zerwaniu i bardzo dużą wytrzymałością na rozciąganie (lecz nie dotyczy to geosiatki z drutu stalowego).

Zadanie 3 Zaprojektowanie konstrukcji nawierzchni

1. Wprowadzenie do projektu konstrukcji

Obliczenia projektowe zostały przeprowadzone dla konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Zgodnie z wnioskami przedstawionymi w analizie doświadczeń długowiecznych na świecie do analiz przyjęto konstrukcje o warstwie podbudowy i wiążącej o zwiększonej sztywności wykonanych z mieszanki ACWMS. Przewidziano wykonanie warstwy ścieralnej o grubości 2-3 cm, jednak warstwa ta zgodnie z doświadczeniami francuskimi nie jest włączana do obliczeń trwałości konstrukcji. Obliczenia przeprowadzono na konstrukcjach typu A, C, E i F według KTKNPiP. Konstrukcje typu A i C są konstrukcjami podatnymi, pierwsza z nich posiada podbudowę dolną z kruszywa stabilizowanego mechanicznie, druga natomiast posiada jedynie podbudowę z betonu asfaltowego ACWMS, ale o zwiększonej grubości. Konstrukcje E i F są konstrukcjami półsztywnymi, odpowiednio o podbudowie dolnej z kruszywa (lub gruntu) stabilizowanego mechanicznie oraz z chudego betonu. Założono, że okres projektowy będzie wynosił od 30 – 50 lat i w takim zakresie przeprowadzono obliczenia dla różnych kategorii ruchu (KR3-6).

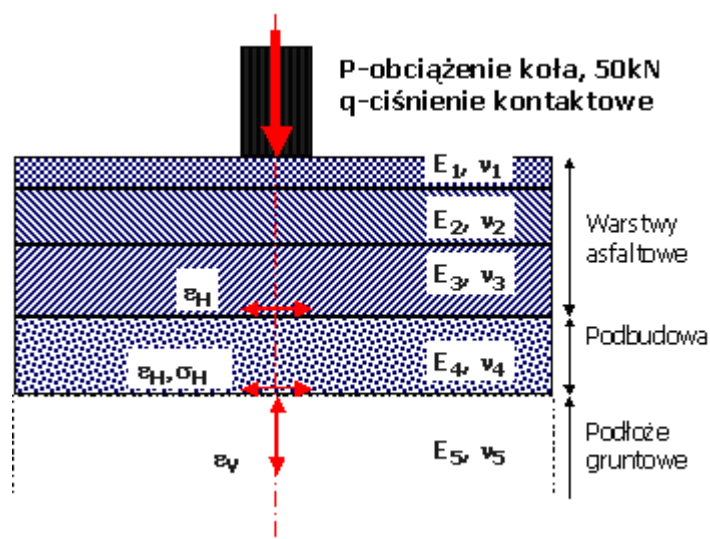
Projektowanie nie uwzględnia specjalnych rozwiązań, które zostaną uwzględnione na odcinkach testowych, takie jak siatki zbrojące czy warstwa przeciwmęczeniowa. Metody mechanistyczne nie pozwalają na racjonalne obliczenia konstrukcji w takich przypadkach. Zakłada się, że wprowadzenie tych rozwiązań poprawi trwałość nawierzchni w zakresie zmęczenia i odporności na deformacje trwałe podłoża, czyli podstawowych kryteriów projektowania nawierzchni. Potwierdzenie tego założenia zostanie zweryfikowane w badaniach na odcinkach próbnych. W obliczeniach uwzględniono dwie klasy sztywności mieszanki AC WMS, które wprowadzone zostały w Wymaganiach Technicznych – Nawierzchnie Asfaltowe na drogach publicznych (WT-2).

Wyniki badań i obserwacji długoterminowej pozwolą na sprawdzenie poprawności obliczeń i wskażą na ewentualną konieczność zmian. Jednocześnie można zaproponować w przyszłości analizę zaprojektowanych konstrukcji metodą MEPDG, której wdrożenie w Polsce jest przedmiotem równolegle prowadzonej pracy badawczej.

2. Analiza mechanistyczna

2.1. Opis metody

Metoda mechanistyczna projektowania konstrukcji nawierzchni polega na określeniu trwałości zmęczeniowej konstrukcji na podstawie analizy stanu naprężeń i odkształceń. W tym celu nawierzchnię traktuje się jako układ warstw o określonych grubościach na podłożu gruntowym o nieskończonej grubości. Najczęściej przyjmuje się model warstw sprężystych położonych na półprzestrzeni sprężystej. Poszczególne warstwy charakteryzowane są grubością (h_i), modułem sprężystości (sztywności) (E_i) i współczynnikiem Poissona (ν_i). Schemat obliczeniowy przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3 Schemat obliczeniowy

Kryteriami oceny trwałości konstrukcji nawierzchni asfaltowej podatnej są:

- odkształcenie pionowe strukturalne podłoża gruntowego,
- zmęczenie warstw asfaltowych,
- zmęczenie warstw związanych spoiwem hydraulicznym.

W analizie nawierzchni asfaltowej półsztywnej zakłada się, że podbudowa sztywna pracuje w dwóch etapach, w których charakteryzuje się innym modułem sprężystości E oraz współczynnikiem Poissona:

- etap I warstwa związana, przed spękaniami zmęczeniowymi, konstrukcja półsztywna
- etap II warstwa spękana, konstrukcja podatna.

2.2. Parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji nawierzchni

W obliczeniach przyjęto następujące parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcyjnych:

- moduły sztywności warstw asfaltowych typu ACWMS 14000 MPa (klasa 1),
- moduły sztywności warstw asfaltowych typu ACWMS 16000 MPa (klasa 2),
- moduły sprężystości warstw stabilizowanych spoiwem hydraulicznym przed spękaniami 4500 MPa [4],
- moduły sprężystości warstw stabilizowanych spoiwem hydraulicznym po spękaniu 300 MPa [4],
- moduły sprężystości warstw chudego betonu przed spękaniami 12 900 MPa [4],
- moduły sprężystości warstw chudego betonu po spękaniu 400 MPa [4],
- moduły sztywności podbudowy stabilizowanej mechanicznie 400 MPa [4],
- moduły sztywności podłoża gruntowego 100 MPa [4],
- współczynnik Poissona warstw asfaltowych 0,3 [8],
- współczynnik Poissona warstw stabilizowanych spoiwem hydraulicznym 0,25 przed spękaniami [4],
- współczynnik Poissona warstw stabilizowanych spoiwem hydraulicznym 0,3 po spękaniu [4],
- współczynnik Poissona warstw chudego betonu 0,2 przed spękaniami [4],
- współczynnik Poissona warstw chudego betonu 0,3 po spękaniu [4],
- współczynnik Poissona podbudowy stabilizowanej mechanicznie 0,3 [4],
- współczynnik Poissona podłoża gruntowego 0,3 [4],
- wytrzymałość na rozciąganie warstw stabilizowanych spoiwem hydraulicznym 0,5 MPa,
- wytrzymałość na rozciąganie warstw chudego betonu 0,9 MPa.

2.3. Założenia obliczeniowe

Przyjęto następujące założenia obliczeniowe:

- nacisk osi 100 kN (koło pojedyncze 50 kN),
- ciśnienie kontaktowe $q = 660$ kPa,
- temperatura równoważna 10°C , [9],
- pełne połączenie między warstwami,

- prawdopodobieństwo sukcesu 95% - uwzględniono dopuszczalną zmienność grubości warstw asfaltowych oraz zmienność modułu sztywności warstw asfaltowych na podstawie doświadczeń laboratoryjnych
- wzorem metody francuskiej w obliczeniach nie uwzględniono grubości warstwy ścieralnej,
- grubość warstw związanych spoiwem hydraulicznym (typ E i F) wynosi 20 lub 22 cm,
- grubość warstw asfaltowych (podbudowy i wiążącej) jest przedmiotem obliczeń.

2.4. Kryteria obliczeniowe

Trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych została obliczona z zastosowaniem charakterystyk zmęczeniowych uzyskanych w badaniach laboratoryjnych oraz według kryterium Instytutu Asfaltowego [10]:

$$N_f = 18,4 \cdot 10^{4,84(Vb/(Vv+Vb)-0,69)} \cdot (6,167 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon^{-3,291} \cdot E^{-0,854})$$

Równanie 1

w których:

E – moduł sztywności, MPa,

Vb – zawartość objętościowa lepiszcza w mma, %,

Vv – zawartość objętościowa wolnej przestrzeni w mma, %.

Przyjęto następujące założenia potrzebne do wyznaczenia trwałości zmęczeniowej:

- o zawartość wolnych przestrzeni 4% v/v,
- o zawartość asfaltu 4,8 % m/m,
- o moduł sztywności 14000 MPa (klasa 1) i 16000 MPa (klasa 2).

Trwałość zmęczeniowa warstw stabilizowanych została obliczona z zastosowaniem metody Dempseya [11]:

$$\log N_f = 11,784 - 12,121 \cdot (\sigma / R_{zgin})$$

Równanie 2

w którym:

N_f – liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym,

σ – naprężenie, jakie występuje w warstwie podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym pod obciążeniem osią obliczeniową,

R_{zgin} – wytrzymałość materiału podbudowy na rozciąganie przy zginaniu

Kryterium deformacji podłoża gruntowego jest zależnością pomiędzy dopuszczalną liczbą powtarzalnych obciążeń N do powstania krytycznej deformacji strukturalnej równej 12,5 mm a odkształceniem pionowym na powierzchni podłoża gruntowego ε_p jest następująca:

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

Równanie 3

w której:

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

k, m współczynniki doświadczalne, równe odpowiednio: $k = 1,05 \cdot 10^{-2}$; $m = 0,223$.

2.5. Obciążenie ruchem

Założono, że dla poszczególnych kategorii ruchu, konstrukcja powinna przenieść liczbę osi obliczeniowych równą górnej granicy przedziału według KTKNPiP w przeliczeniu na okres 30-40-50 lat, natomiast przy KR6 przyjęto liczbę osi równą odpowiednio trzykrotnej, czterokrotnej lub pięciokrotnej dolnej granicy dla okresu 20 lat (Tablica 8).

Tablica 8 Założenia obciążenia ruchem pojazdów ciężkich

Kategoria ruchu	Okres projektowany (lata)	Liczba osi (mln osi 100 kN)
KR3	30	3,7
	40	4,9
	50	6,1
KR4	30	11,0
	40	14,6
	50	18,3
KR5	30	21,9
	40	29,2
	50	36,5
KR6	30	43,8
	40	58,4
	50	73,0

3. Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji typu A, C, E i F w zależności od łącznej grubości warstwy wiążącej i podbudowy asfaltowej przedstawiono w tablicach 9-16 oraz na rysunkach 4-7. W tablicach przyjęto następujące oznaczenia:

ϵ_a – poziome odkształcenie w spodzie warstw asfaltowych,

ϵ_g – pionowe odkształcenie w stropie podłoża gruntowego,

σ_c – naprężenie poziome w spodzie warstw związanych spoiwem hydraulicznym,

N_a – trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych,

N_g – trwałość ze względu na odkształcenie podłoża gruntowego,

N_c – trwałość zmęczeniowa warstw związanych spoiwem hydraulicznym,

N_{min} – minimalna trwałość konstrukcji,

N_{1+2} – suma trwałości w etapie 1 i 2 (konstrukcje półsztywne).

Tablica 9 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji typu A (klasa 1)

H_{ACWMS}	ACWMS Klasa 1				
	ϵ_a	ϵ_g	N_a	N_g	N_{min}
cm	$\mu m/m$	$\mu m/m$	mln	mln	mln
16	104,4	399	7,7	2,3	2,3
17	100,3	380	8,7	2,9	2,9
18	91,4	351	11,9	4,1	4,1
19	85,8	314	14,6	6,8	6,8
20	80,7	291	17,9	9,6	9,6
21	74,7	266	23,1	14,3	14,3
22	70,4	248	28,0	19,6	19,6
23	65,3	228	35,9	28,5	28,5
24	62,1	215	42,4	37,1	37,1
25	58,7	203	51,0	48,2	48,2
26	55,6	190	60,9	65,0	60,9
27	49,7	169	88,2	110,0	88,2

Tablica 10 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji typu A (klasa 2)

H _{ACWMS}	ACWMS Klasa 2				
	ϵ_a	ϵ_g	Na	Ng	Nmin
cm	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	mln	mln	mln
16	94,3	370	9,6	3,3	3,3
17	87,2	336	12,4	5,0	5,0
18	80,8	306	15,9	7,7	7,7
19	75,0	280	20,3	11,4	11,4
20	70,0	258	25,5	16,5	16,5
21	65,4	238	31,9	23,7	23,7
22	61,1	220	39,9	33,7	33,7
23	57,1	204	49,8	47,3	47,3
24	53,5	190	61,7	65,0	61,7
25	50,0	175	77,1	94,0	77,1
26	47,2	165	93,2	122,4	93,2

Tablica 11 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji typu C (klasa 1)

H _{ACWMS}	ACWMS Klasa 1				
	ϵ_a	ϵ_g	Na	Ng	Nmin
cm	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	mln	mln	mln
16	131	569	3,6	0,5	0,5
17	124,2	533	4,3	0,6	0,6
18	110,1	464	6,4	1,2	1,2
19	103,5	431	7,9	1,7	1,7
20	96,2	395	10,0	2,4	2,4
21	88,2	358	13,3	3,8	3,8
22	82,5	331	16,6	5,4	5,4
23	75,9	301	21,9	8,2	8,2
24	71,8	283	26,3	10,9	10,9
25	66,9	262	33,1	15,5	15,5
26	64,1	250	38,2	19,1	19,1
27	59,3	228	49,3	28,7	28,7
28	56,7	219	57,1	34,8	34,8
29	51,7	197	77,4	55,3	55,3
30	47,4	179	103,0	85,0	85,0

Tablica 12 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji typu C (klasa 2)

H _{ACWMS}	ACWMS Klasa 2				
	ϵ_a	ϵ_g	Na	Ng	Nmin
cm	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	mln	mln	mln
18	98,3	421	8,3	1,8	1,8
19	90,2	381	11,1	2,9	2,9
20	83,3	347	14,4	4,4	4,4
21	77,0	317	18,6	6,6	6,6
22	71,3	290	23,9	9,8	9,8
23	66,3	267	30,5	14,1	14,1
24	61,7	246	38,6	20,4	20,4
25	57,6	228	48,4	28,7	28,7
26	53,8	212	60,6	39,8	39,8
27	50,4	197	75,1	55,3	55,3
28	47,3	184	92,6	75,1	75,1

Tablica 13 Wyniki obliczeń odkształceń i naprężeń oraz trwałości konstrukcji typu E (klasa 1)

H _{ACWMS}	ACWMS Klasa 1												
	Etap 1							Etap 2					
	ε_a	ε_g	σ_c	Na	Ng	Nc	Nmin	ε_a	ε_g	Na	Ng	Nmin	N ₁₊₂
cm	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	MPa	mln	mln	mln	mln	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	mln	mln	mln	mln
18	27,3	191	0,36	633,2	63,5	0,0	0,0	99,6	348	8,9	4,3	4,3	4,3
19	26,8	181	0,34	672,9	81,7	0,0	0,0	91,4	319	11,9	6,3	6,3	6,3
20	26,3	171	0,32	715,9	103,5	0,0	0,0	85,6	296	14,7	9,0	9,0	9,0
21	25,8	162	0,30	762,6	132,9	0,0	0,0	79,6	272	18,7	13,0	13,0	13,1
22*	23,4	140	0,27	1051,6	257,4	0,2	0,2	73,0	239	24,9	23,4	23,4	23,5
23*	22,8	133	0,26	1145,5	320,8	0,4	0,4	68,0	222	31,4	32,3	31,4	31,8
24*	22,1	127	0,24	1269,3	403,0	0,9	0,9	64,1	207	38,1	44,3	38,1	39,1
25*	21,6	121	0,23	1374,8	486,5	1,6	1,6	60,6	195	45,8	58,0	45,8	47,5
26*	20,9	116	0,22	1525,3	594,4	3,0	3,0	57,0	183	56,0	76,6	56,0	59,0
27*	20,2	110	0,21	1706,2	754,2	5,2	5,2	53,6	171	68,5	103,6	68,5	73,8

Tablica 14 Wyniki obliczeń odkształceń i naprężeń oraz trwałości konstrukcji typu E (klasa 2)

H _{ACWMS}	ACWMS Klasa 2												
	Etap 1							Etap 2					
	ε_a	ε_g	σ_c	Na	Ng	Nc	Nmin	ε_a	ε_g	Na	Ng	Nmin	N ₁₊₂
cm	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	MPa	mln	mln	mln	mln	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	mln	mln	mln	mln
17	25,9	181	0,34	671,8	80,8	0,0	0,0	97,8	353	8,5	4,0	4,0	4,0
18	25,5	170	0,32	707,1	107,1	0,0	0,0	90,1	320	11,1	6,3	6,3	6,3
19	25,0	161	0,30	750,8	136,7	0,0	0,0	83,3	292	14,4	9,5	9,5	9,5
20	24,5	152	0,29	807,7	176,9	0,1	0,1	77,1	267	18,5	14,1	14,1	14,2
21	23,9	143	0,27	875,2	232,6	0,2	0,2	71,8	246	23,4	20,4	20,4	20,6
22*	23,4	136	0,26	938,3	291,3	0,4	0,4	66,9	227	29,6	29,3	29,3	29,6
23*	22,7	129	0,24	1044,5	369,2	0,7	0,7	62,4	210	37,2	41,4	37,2	37,9
24*	21,9	122	0,23	1166,9	474,1	1,5	1,5	58,2	194	46,7	59,0	46,7	48,2
25*	21,2	116	0,22	1306,6	594,4	2,8	2,8	54,5	181	57,9	80,5	57,9	60,8
26*	20,4	110	0,21	1473,8	754,2	5,2	5,2	51,1	169	71,5	109,2	71,5	76,7

* - grubość warstw stabilizowanych spoiwem hydraulicznym 22 cm (pozostałe warianty 20 cm)

Tablica 15 Wyniki obliczeń odkształceń i naprężeń oraz trwałości konstrukcji typu F (klasa 1)

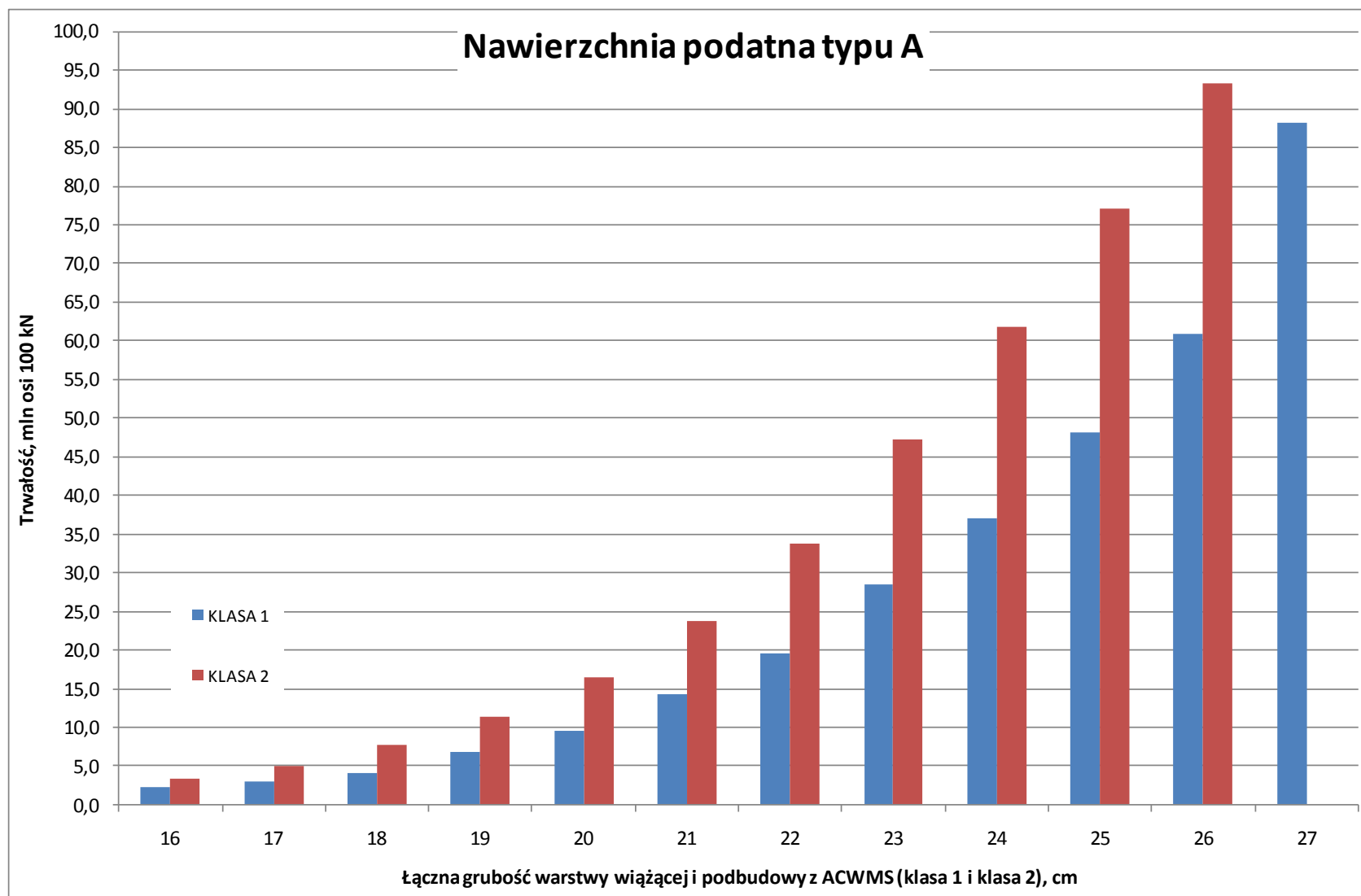
H _{ACWMS}	ACWMS Klasa 1												
	Etap 1							Etap 2					
	ε_a	ε_g	σ_c	Na	Ng	Nc	Nmin	ε_a	ε_g	Na	Ng	Nmin	N ₁₊₂
cm	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	MPa	mln	mln	mln	mln	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	mln	mln	mln	mln
16	7,0	136	0,59	55812,8	293,2	0,0	0,0	104,4	399	7,7	2,3	2,3	2,3
17	7,3	131	0,57	48613,4	344,6	0,0	0,0	100,3	380	8,7	2,9	2,9	2,9
18	7,5	125	0,54	44475,9	432,9	0,0	0,0	93,3	348	11,1	4,3	4,3	4,4
20	7,7	113	0,49	40786,0	676,5	0,2	0,2	81,5	295	17,3	9,0	9,0	9,2
21	7,8	107	0,47	39090,3	846,7	0,3	0,3	76,0	272	21,8	13,1	13,1	13,3
22*	6,9	92	0,41	58519,3	1672,5	1,8	1,8	69,6	239	29,1	23,4	23,4	25,2
23*	6,9	88	0,39	58519,3	2061,9	3,4	3,4	65,2	222	36,1	32,6	32,6	36,0
24*	6,9	84	0,37	58519,3	2487,1	6,3	6,3	61,4	207	44,0	43,8	43,8	50,1
25*	6,9	81	0,36	58435,7	3033,1	8,9	8,9	57,7	194	53,9	59,1	53,9	62,8
26*	6,9	77	0,35	59081,1	3668,7	13,7	13,7	54,2	181	66,3	80,5	66,3	80,0

. * - grubość warstw chudego betonu 22 cm (pozostałe warianty 20 cm)

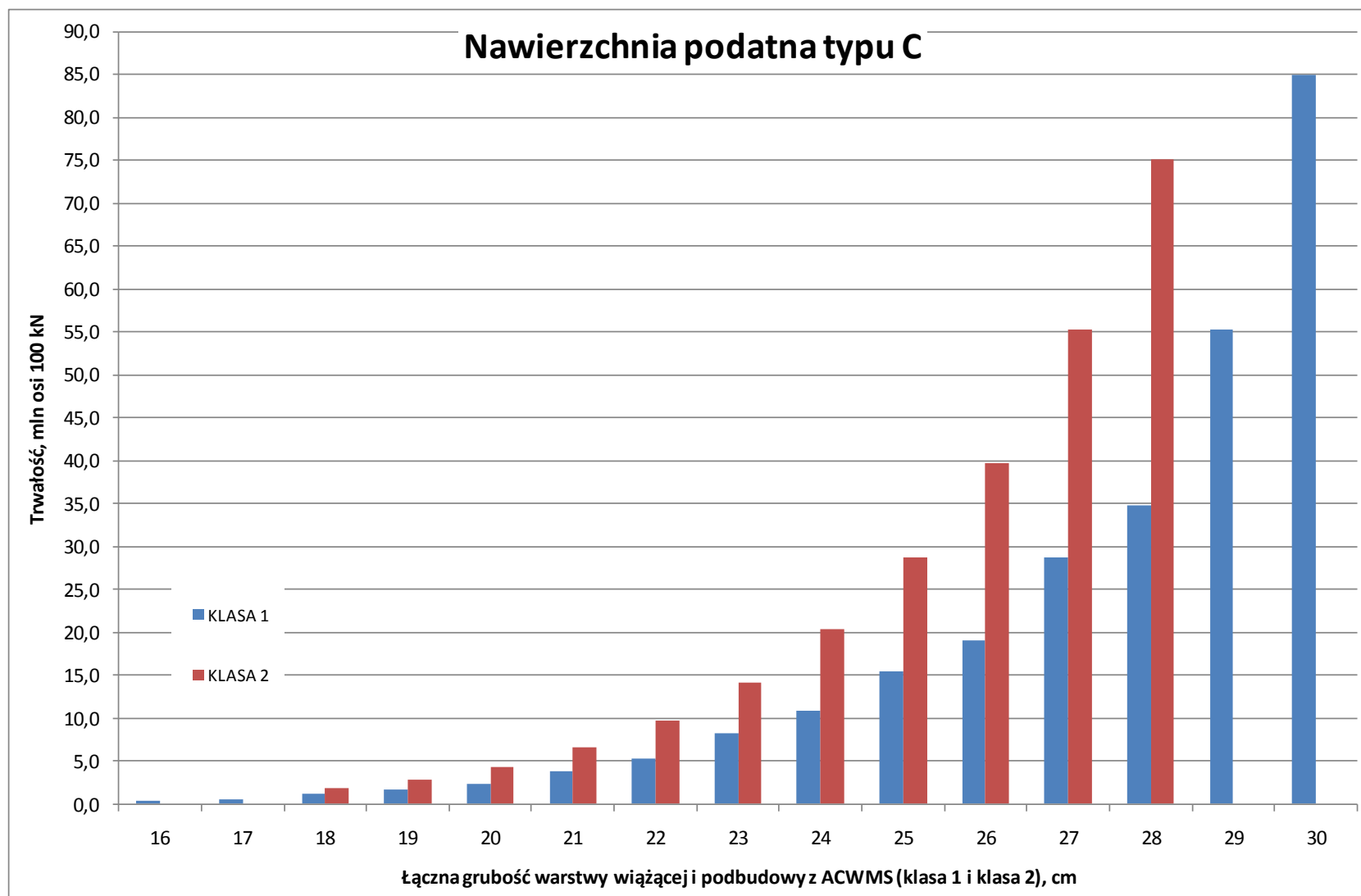
Tablica 16 Wyniki obliczeń odkształceń i naprężeń oraz trwałości konstrukcji typu F (klasa 2)

H _{ACWMS}	ACWMS Klasa 2												
	Etap 1							Etap 2					
	ε_a	ε_g	σ_c	Na	Ng	Nc	Nmin	ε_a	ε_g	Na	Ng	Nmin	N ₁₊₂
cm	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	MPa	mln	mln	mln	mln	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	mln	mln	mln	mln
17	8,0	123	0,54	32221,5	457,1	0,0	0,0	87,1	336	12,4	5,0	5,0	5,1
18	8,2	116	0,51	30064,5	594,4	0,1	0,1	80,7	306	16,0	7,7	7,7	7,8
19	8,3	110	0,49	28998,6	754,2	0,2	0,2	75,0	280	20,3	11,4	11,4	11,6
20	8,3	105	0,46	28654,2	929,2	0,3	0,3	70,0	258	25,5	16,5	16,5	16,8
21	8,3	100	0,44	28883,2	1182,7	0,7	0,7	65,3	238	32,0	23,7	23,7	24,4
22*	7,4	86	0,38	41659,9	2274,1	4,1	4,1	60,1	212	42,1	39,7	39,7	43,8
23*	7,4	84	0,38	41845,9	2473,9	5,1	5,1	59,1	207	44,5	44,2	44,2	49,3
24*	7,4	81	0,36	41659,9	3024,7	8,4	8,4	55,4	192	55,0	61,9	55,0	63,4
25*	7,4	77	0,35	41474,9	3711,5	13,3	13,3	51,9	180	68,2	82,6	68,2	81,5

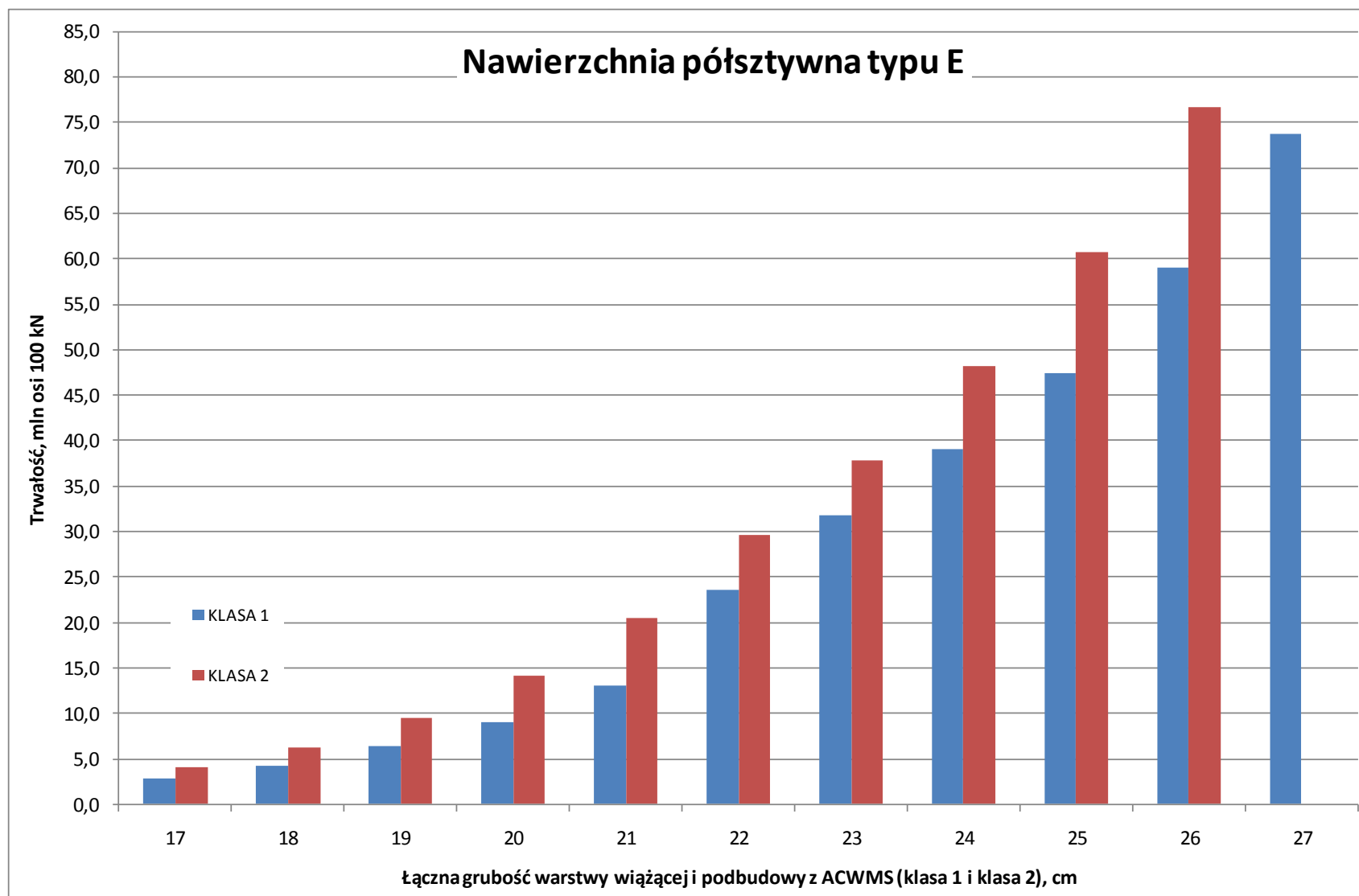
. * - grubość warstw chudego betonu 22 cm (pozostałe warianty 20 cm)



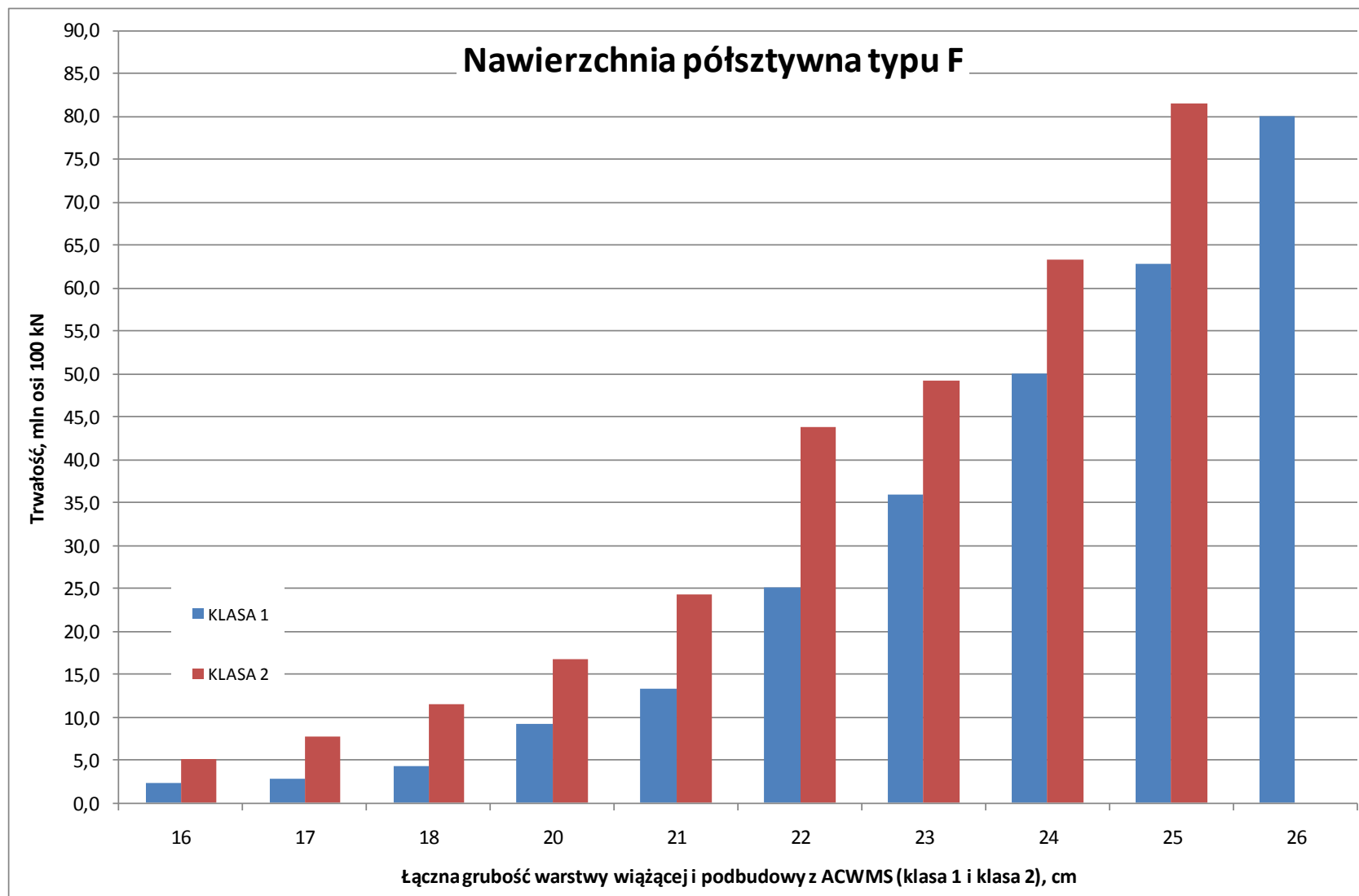
Rysunek 4 Trwałość konstrukcji podatnej typu A w zależności od klasy ACWMS oraz grubości warstwy wiążącej i podbudowy



Rysunek 5 Trwałość konstrukcji podatnej typu C w zależności od klasy ACWMS oraz grubości warstwy wiążącej i podbudowy



Rysunek 6 Trwałość konstrukcji podatnej typu E w zależności od klasy ACWMS oraz grubości warstwy wiążącej i podbudowy



Rysunek 7 Trwałość konstrukcji podatnej typu F w zależności od klasy ACWMS oraz grubości warstwy wiążącej i podbudowy

Tablica 17 Grubość warstw asfaltowych ACWMS w konstrukcji typu A

Kategoria ruchu	Okres projektowania	Grubość warstw asfaltowych ACWMS	
	liczba lat	ACWMS Klasa 1	ACWMS Klasa 2
		cm	cm
KR3	30	18	17
	40	19	17
	50	19	18
KR4	30	21	19
	40	22	20
	50	22	21
KR5	30	23	21
	40	24	22
	50	24	23
KR6	30	25	23
	40	26	25
	50	27	25

Tablica 18 Grubość warstw asfaltowych ACWMS w konstrukcji typu C

Kategoria ruchu	Okres projektowania	Grubość warstw asfaltowych ACWMS	
	liczba lat	ACWMS Klasa 1	ACWMS Klasa 2
		cm	cm
KR3	30	21	20
	40	22	21
	50	23	21
KR4	30	24	23
	40	25	24
	50	26	24
KR5	30	27	25
	40	28	26
	50	29	26
KR6	30	29	27
	40	30	28
	50	30	28

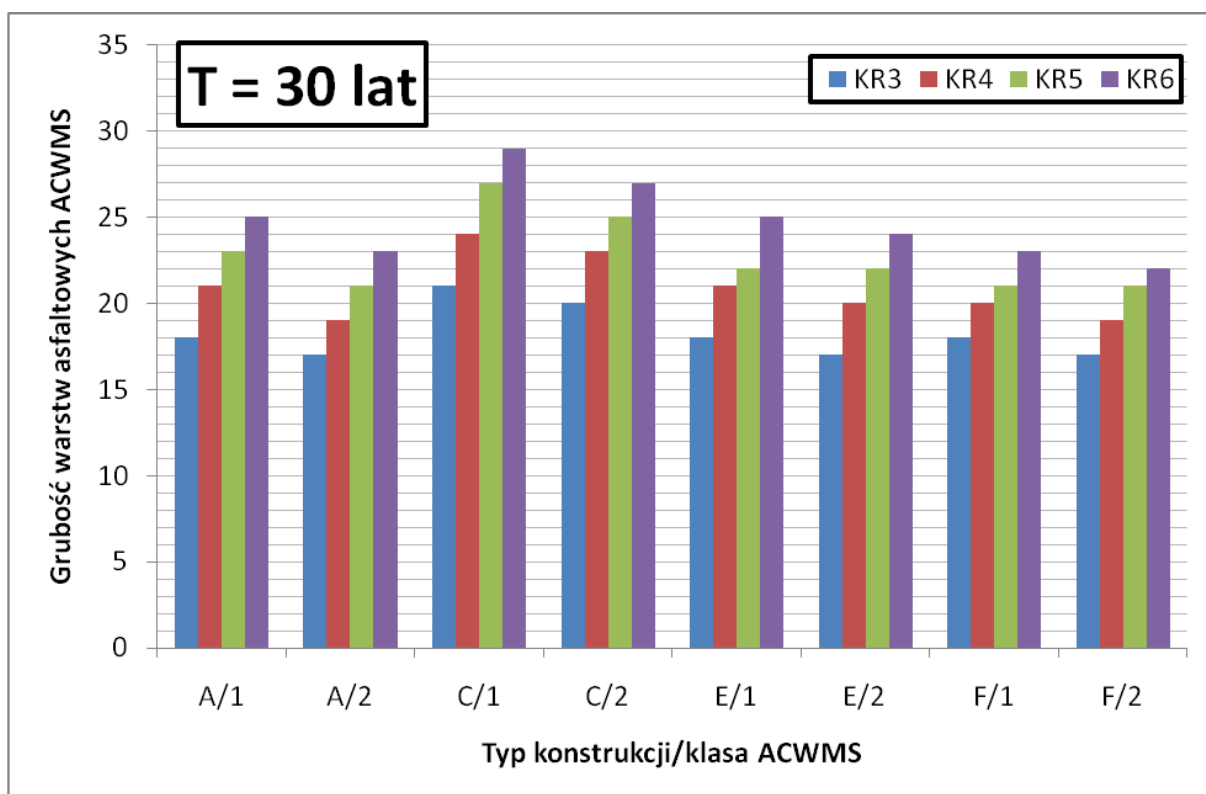
Tablica 19 Grubość warstw asfaltowych ACWMS w konstrukcji typu E

Kategoria ruchu	Okres projektowania	Grubość warstw asfaltowych ACWMS	
	liczba lat	ACWMS Klasa 1	ACWMS Klasa 2
		cm	cm
KR3	30	18	17
	40	19	18
	50	19	18
KR4	30	21	20
	40	22*	21
	50	22*	21
KR5	30	22*	22*
	40	23*	22*
	50	24*	23*
KR6	30	25*	24*
	40	26*	25*
	50	27*	26*

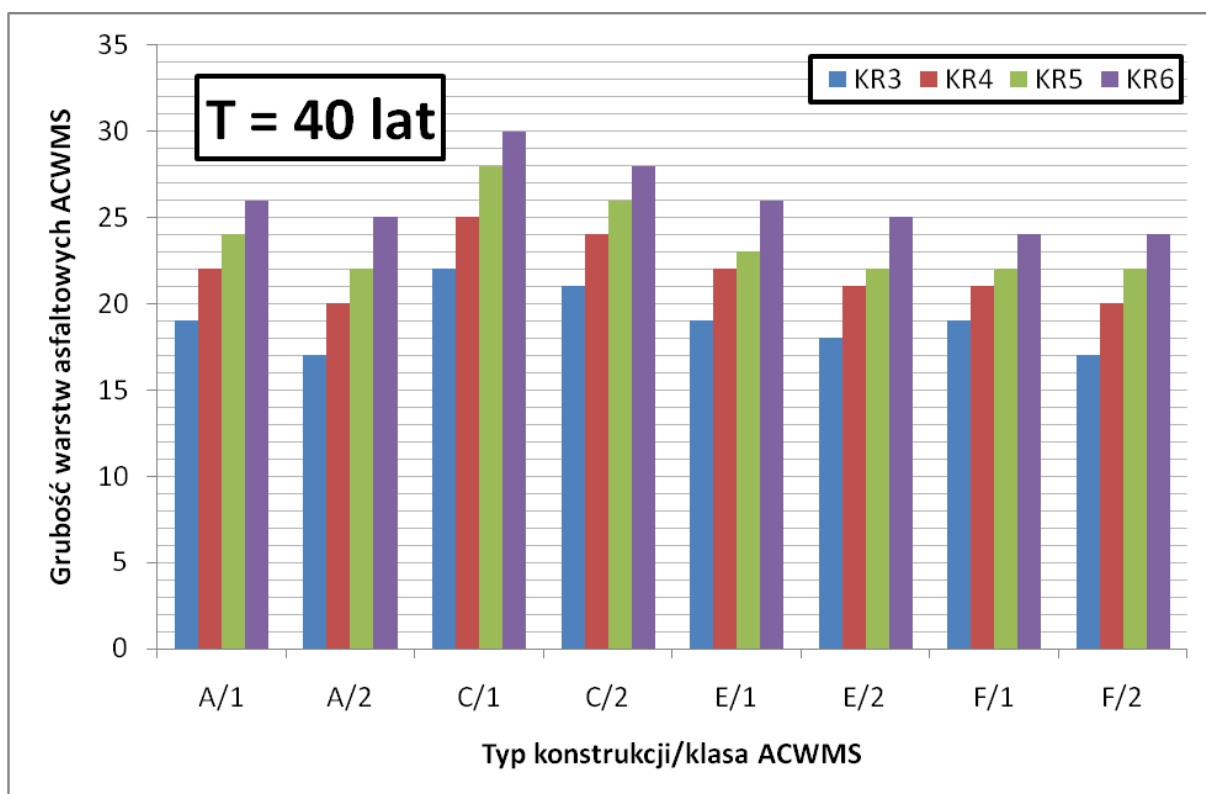
Tablica 20 Grubość warstw asfaltowych ACWMS w konstrukcji typu F

Kategoria ruchu	Okres projektowania	Grubość warstw asfaltowych ACWMS	
	liczba lat	ACWMS Klasa 1	ACWMS Klasa 2
		cm	cm
KR3	30	18	17
	40	19	17
	50	19	18
KR4	30	20	19
	40	21	20
	50	21	20
KR5	30	21	21
	40	22*	22*
	50	23*	22*
KR6	30	23*	22*
	40	24*	24*
	50	25*	25*

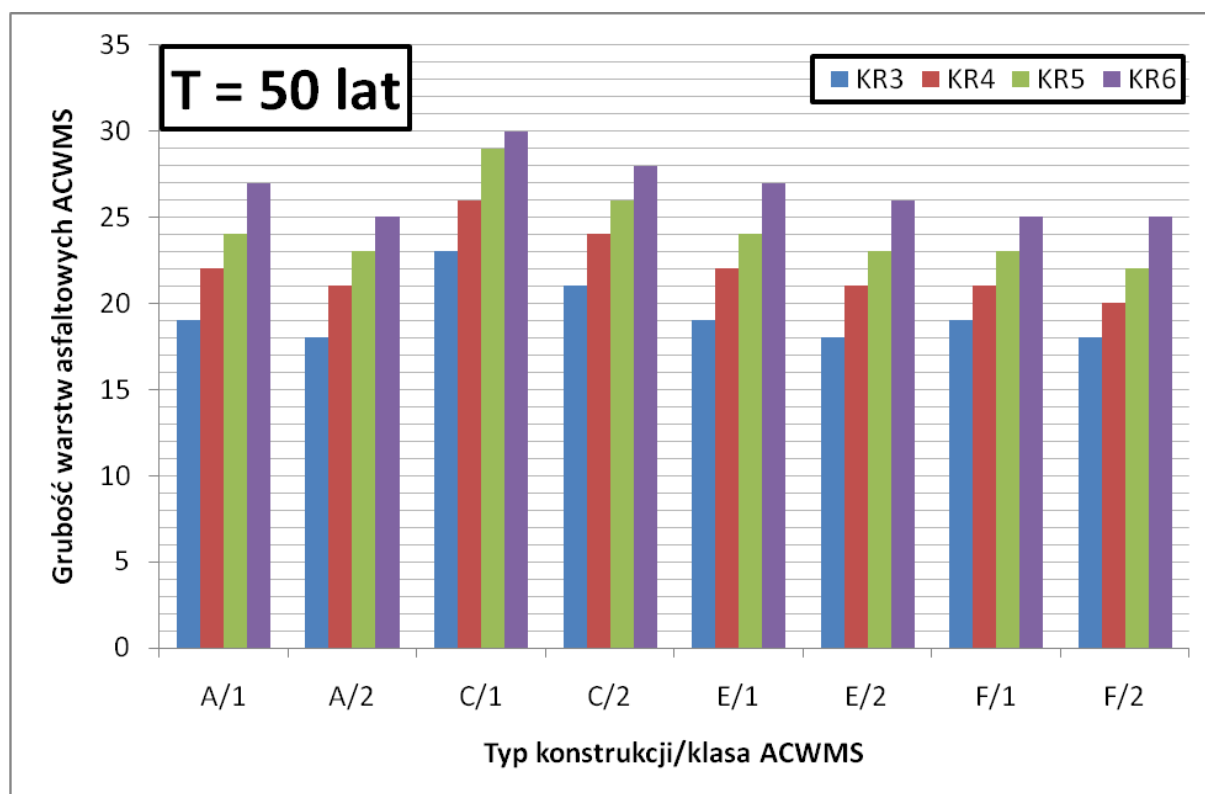
. * - grubość warstw chudego betonu 22 cm (pozostałe warianty 20 cm)



Rysunek 8 Grubość warstw ACWMS w zależności od typu konstrukcji i klasy sztywności ACWMS przy okresie projektowania równym 30 lat



Rysunek 9 Grubość warstw ACWMS w zależności od typu konstrukcji i klasy sztywności ACWMS przy okresie projektowania równym 40 lat



Rysunek 10 Grubość warstw ACWMS w zależności od typu konstrukcji i klasy sztywności ACWMS przy okresie projektowania równym 40 lat

4. Podsumowanie przeprowadzonych obliczeń

Zaprojektowano konstrukcje czterech typów, w tym dwie podatne i dwie półsztywne, z uwzględnieniem kategorii ruchu KR3 do KR6. Założono okres projektowania 30, 40 i 50 lat. Przedstawiono wyniki obliczeń, które pozwalają dobrać odpowiednią grubość warstw asfaltowych do projektowanej liczby osi obliczeniowych. Obliczenia zostały przeprowadzone jak w przypadku obliczeń katalogu typowych konstrukcji, czyli przy założeniu dość wysokiego bezpieczeństwa konstrukcji. Po wyborze konstrukcji i zaprojektowaniu mieszank na odcinki próbne obliczenia powinny zostać zweryfikowane z uwzględnieniem parametrów mieszank. Grubość warstw konstrukcyjnych i technologicznych z ACWMS powinny zostać odpowiednio dobrane w zależności od wymiaru mieszanki.

5. Lokalizacja odcinków testowych

W ramach dotychczasowych rozmów z przedstawicielami GDDKiA otrzymano deklarację, że odcinki testowe zostaną zrealizowane w Oddziale Poznańskim, na jednym z realizowanych kontraktów, prawdopodobnie na obwodnicy Poznania. Planowane jest wybudowanie 6-8 odcinków testowych w ciągu nowej lub

modernizowanej drogi. Po wybudowaniu odcinka będzie on poddawany systematycznym oględzinom, pobierane będą próbki do badań oraz prowadzone badania terenowe diagnostyczne. Z tego powodu planuje się, że wybudowane odcinki będą stanowiły dodatkowy, prawy pas ruchu, który w razie potrzeby będzie mógł być zamknięty dla ruchu bez powodowania utrudnień dla użytkowników i zapewni większe bezpieczeństwo pracownikom wykonującym badania.

Konkretne ustalenia w zakresie lokalizacji i szczegółów odcinka zostaną poczynione wkrótce w rozmowach z przedstawicielami GDDKiA.

Literatura:

- 1 Sybilski D., Bańkowski W., Horodecka R.: „Wpływ zastosowania betonu o wysokim module sztywności na trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni podatnej lub półsztywnej”, IBDiM 2004
- 2 Bańkowski W., Gajewski M., Sybilski D.: „Looking for fatigue damage on test sections submitted to the accelerated loading test”, ISAP 2010, Nagoya
- 3 Scholten E., Vonk W., Korenstra J.: „Towards green pavements with novel class of SBS polymers for enhanced effectiveness in bitumen and pavement performance”, IJPR&T, 3/4 2010
- 4 Sybilski D., Bańkowski W., Mularzuk R., Maliszewski M., Maliszewska D.: „Badania możliwości stosowania kruszyw lokalnych o niższej jakości w betonie asfaltowym o wysokim module sztywności BAWMS”, IBDiM 2006
- 5 Bańkowski W., Horodecka R., Krajewski M., Sybilski D.: „Badania w skali rzeczywistej nawierzchni odcinków testowych wykonanych z zastosowaniem kruszyw produkcji LAFARGE”, Saminarium w Zakopanem, SMA 2009.
- [6] Zawadzki J., Skierczyński P., Mechowski T. – „Wybrane przykłady zastosowania geosyntetyków w warstwach asfaltowych”, X Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 2004 r.
- [7] Zawadzki J., Maliszewska D., Maliszewski M., Mechowski T., Mularzuk R. – „Ocena wzmocnienia nawierzchni asfaltowej geosiatką szklaną”, Drogownictwo Nr 10/2007, Warszawa
- 8 Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, IBDM, GDDP, Warszawa 1997
- 9 Sybilski D., Bańkowski W. i zespół: „Temperatura równoważna nawierzchni asfaltowej ze względu na zmęczenie w polskich warunkach klimatycznych”, Drogownictwo 6/2004
- 10 Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych – IBDiM, GDDP, Warszawa, 2001
- 11 Dempsey B.J. i in., Report ESL-TR-83-34, University of Illinois, Urbana, 1984