



Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska

# Konstrukcje nawierzchni z asfaltem wysokomodyfikowanym HiMA - projektowanie metodą SiM

dr inż. Magdalena Złotowska

## **KONGRES NAWIERZCHNI 2023**

**Kraków, 22-24 listopada**

[www.konferencjespecjalistyczne.pl](http://www.konferencjespecjalistyczne.pl)



Rozprawa doktorska:

„Mechanistyczno-empiryczne projektowanie konstrukcji nawierzchni drogowych podatnych z asfaltem wysokomodyfikowanym HiMA z wykorzystaniem metody podobieństwa SiM”

Promotor: **prof. dr. hab. inż. Roman Nagórski**

Promotor pomocniczy: **dr. inż. Krzysztof Błażejowski**

Artykuły w czasopismach Materials oraz ACE:

„Concept of Similarity Method for Prediction of Fatigue Life of Pavement Structures with HiMA Binder in Asphalt Layers”

„The influence of highly modified asphalt binder on pavement fatigue life prediction – selected problems”



# Projektowanie metodą mechanistyczno-empiryczną

TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA - liczba obciążeń standardowych, jaką może przenieść nawierzchnia do wystąpienia stanu krytycznego, określonego ilością spękań zmęczeniowych lub głębokością kolein strukturalnych.

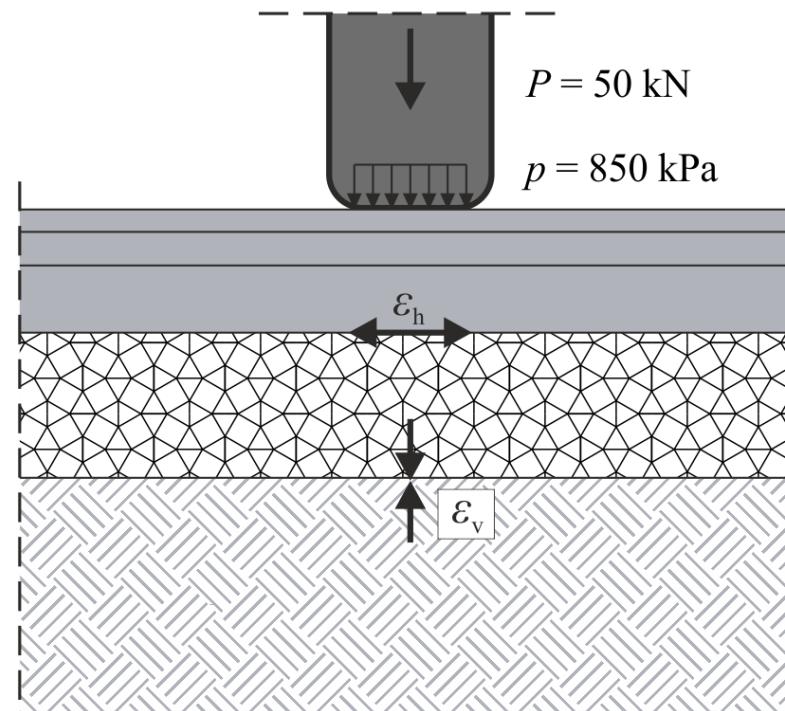
Podstawowe kryteria:

1. Kryterium spękań zmęczeniowych

$$N_f = C \left( \frac{1}{\varepsilon_h} \right)^\alpha$$

2. Kryterium deformacji strukturalnych

$$N_d = l \left( \frac{k}{\varepsilon_v} \right)^{1/m}$$





# Projektowanie metodą mechanistyczno-empiryczną

TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA - liczba obciążeń standardowych, jaką może przenieść nawierzchnia do wystąpienia stanu krytycznego, określonego ilością spękań zmęczeniowych lub głębokością kolein strukturalnych.

Podstawowe kryteria:

1. Kryterium spękań zmęczeniowych

$$N_f = C \left( \frac{1}{\varepsilon_h} \right)^\alpha$$



- Metoda Shella (1977)
- Metoda Instytutu Asfaltowego (1982)
- Metoda francuska (1994)

• Kryterium AASHTO 2004

2. Kryterium deformacji strukturalnych

$$N_d = l \left( \frac{k}{\varepsilon_v} \right)^{1/m}$$

dobrze dla konstrukcji  
standardowych,  
z asfaltem drogowym



# Metoda SiM

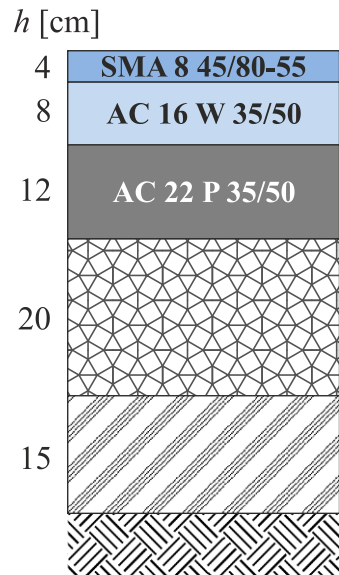
Similarity Method – metoda podobieństwa

uwzględnienie relacji pomiędzy  
krzywymi zmęczeniowymi mieszanek mma

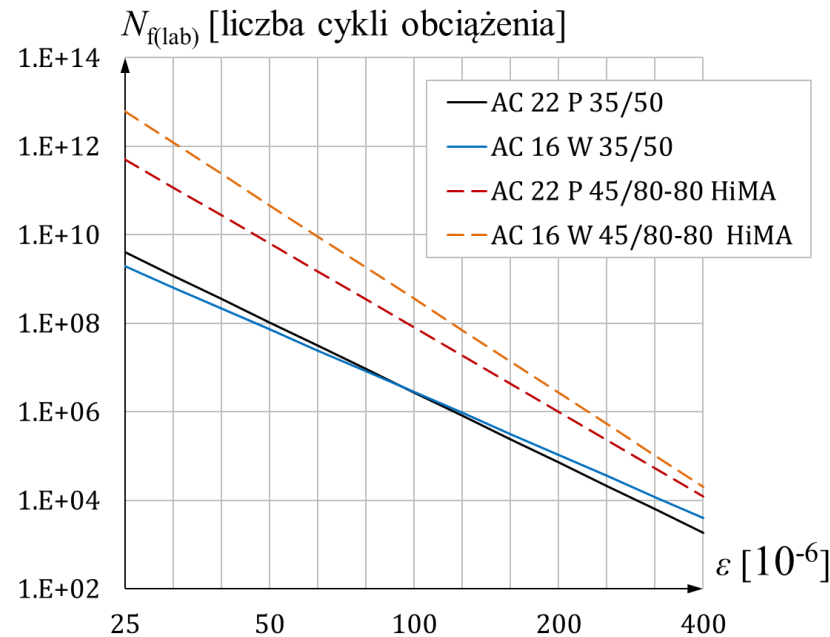


$$N_f = C_{\text{struct}}^{\text{ref}} \left( \frac{1}{\varepsilon_h^{\text{ref}}} \right)^{\alpha_{\text{struct}}^{\text{ref}}}$$

Konstrukcja referencyjna  
(z asfaltem drogowym)

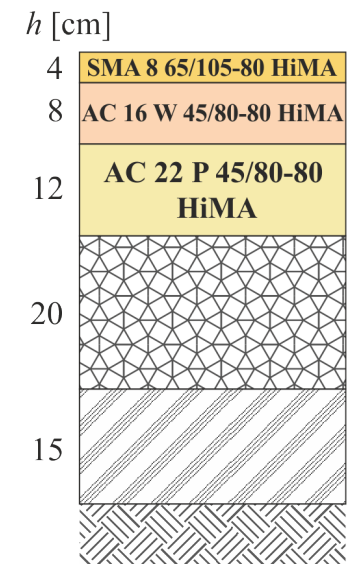
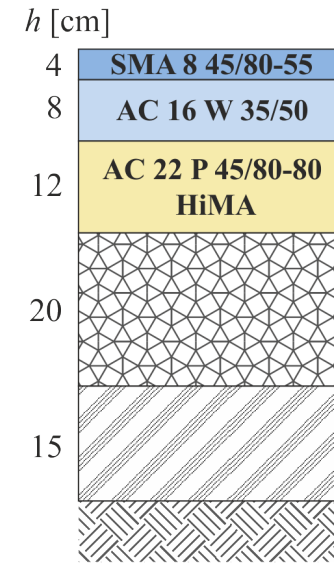


$$\lg N_f = A - \alpha \lg \varepsilon_{\text{cr}}$$



$$N_f = C_{\text{SiM}} \left( \frac{1}{\varepsilon_h^{\text{HiMA}}} \right)^{\alpha_{\text{SiM}}}$$

Konstrukcja z lepiszczem HiMA





# Konstrukcje nawierzchni z asfaltem wysokomodyfikowanym HiMA - projektowanie metodą SiM

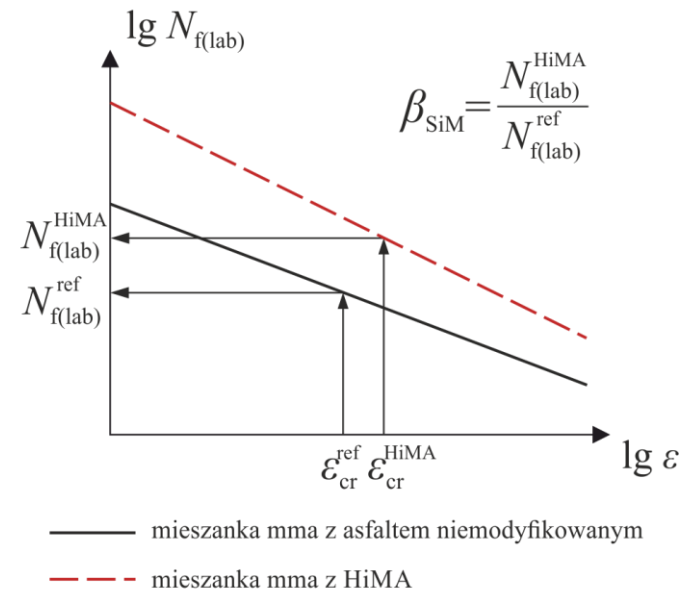
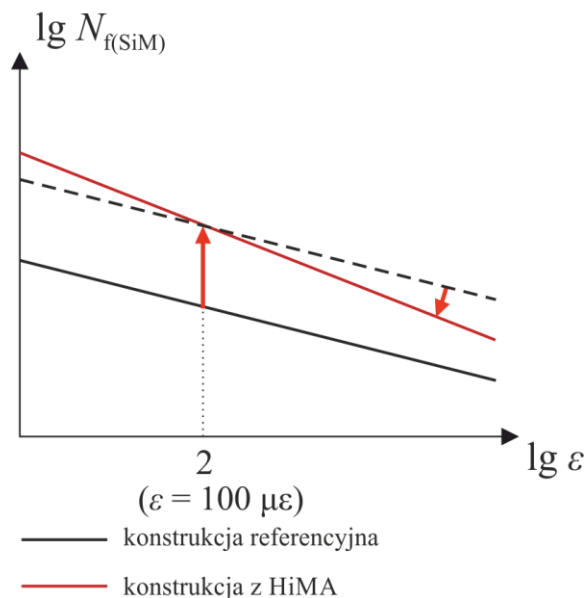
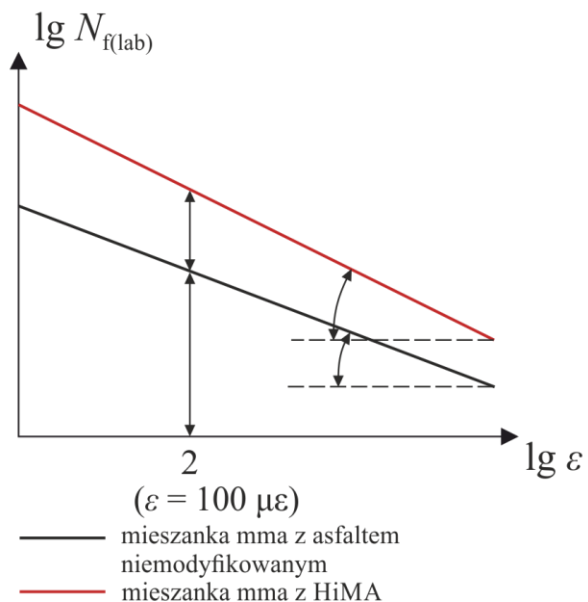
1) SIM 1 (scale) - skalowanie współczynników prostej zmęczeniowej konstrukcji referencyjnej

$$y = A - \alpha x$$

$$A_{\text{SiM}} = A_{\text{struct}}^{\text{ref}} \frac{A_{\text{lab}}^{\text{HiMA}}}{A_{\text{lab}}^{\text{ref}}}; \quad \alpha_{\text{SiM}} = \alpha_{\text{struct}}^{\text{ref}} \frac{\alpha_{\text{lab}}^{\text{HiMA}}}{\alpha_{\text{lab}}^{\text{ref}}}$$

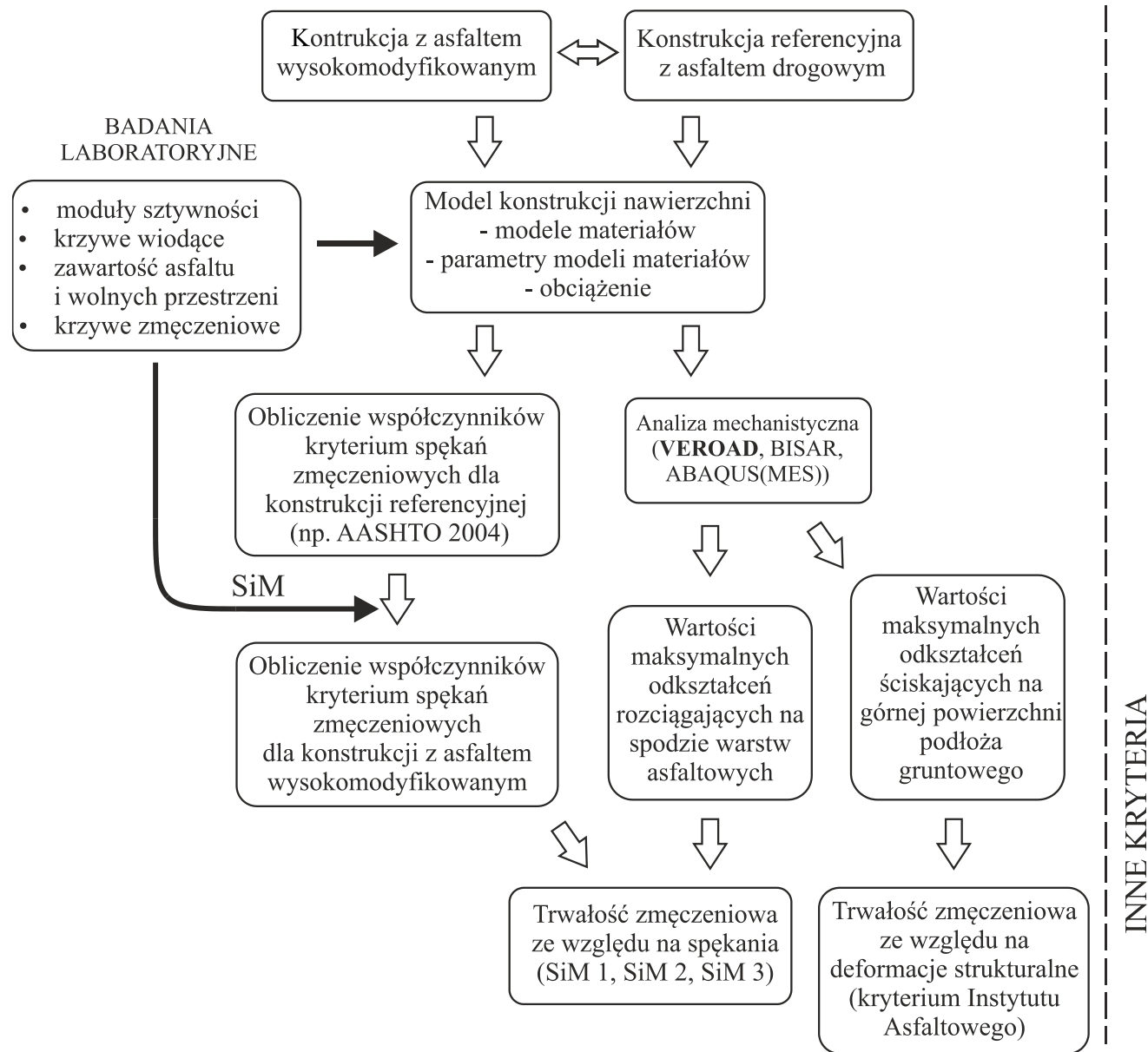
2) SIM 2 (move) - translacja i rotacja prostej zmęczeniowej konstrukcji referencyjnej

3) SIM 3 (direct) - zastosowanie współczynnika korygującego trwałość konstrukcji referencyjnej



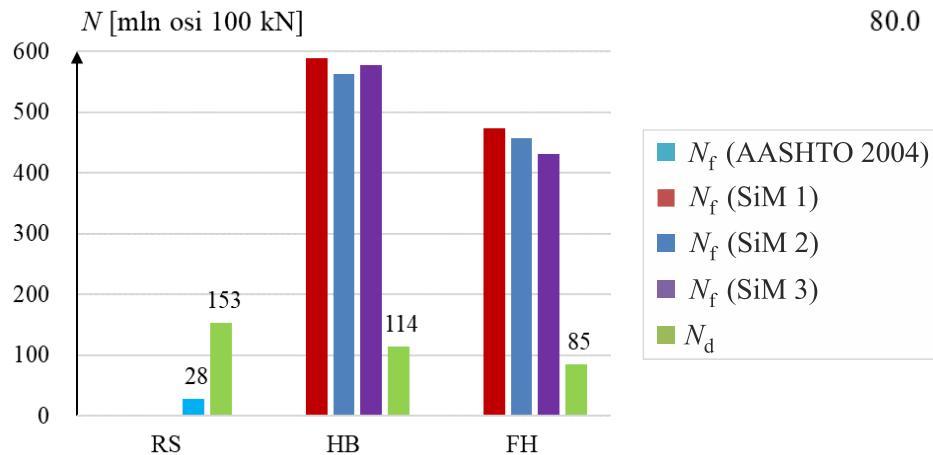
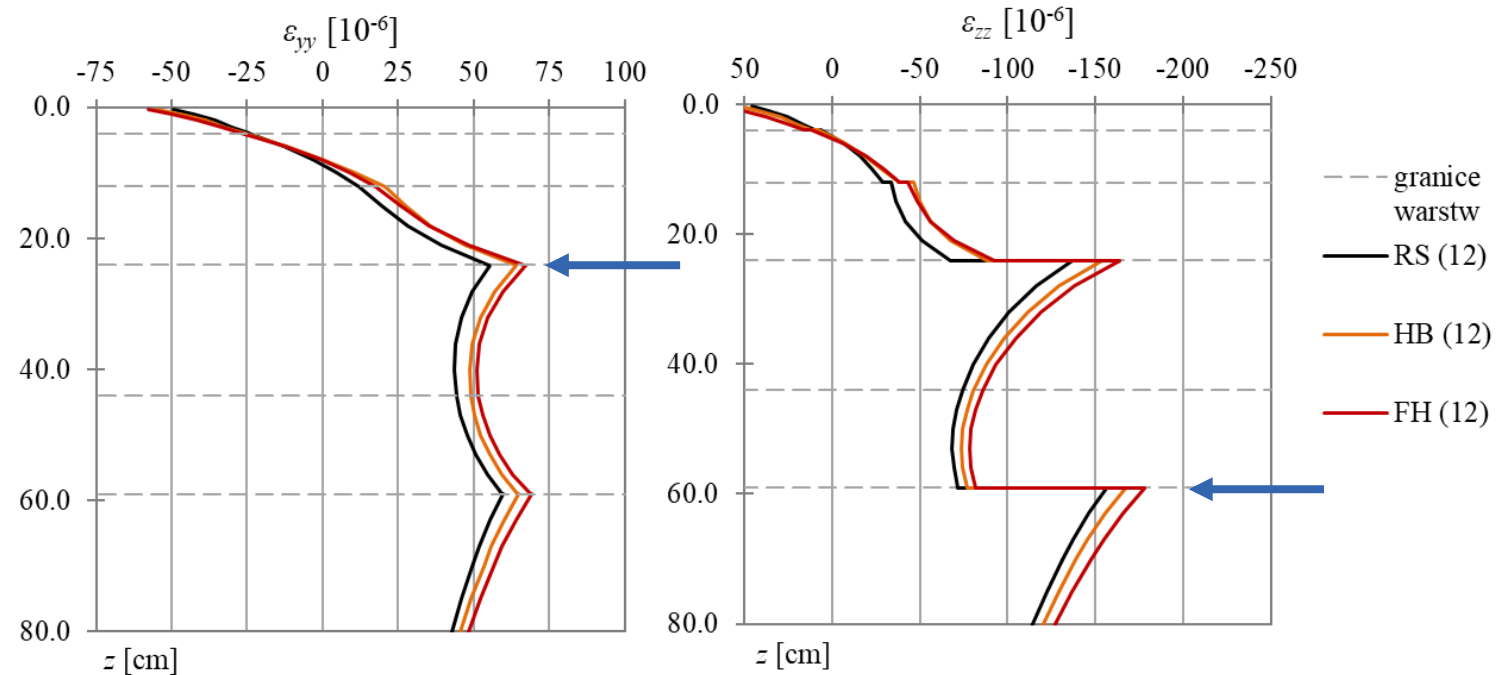
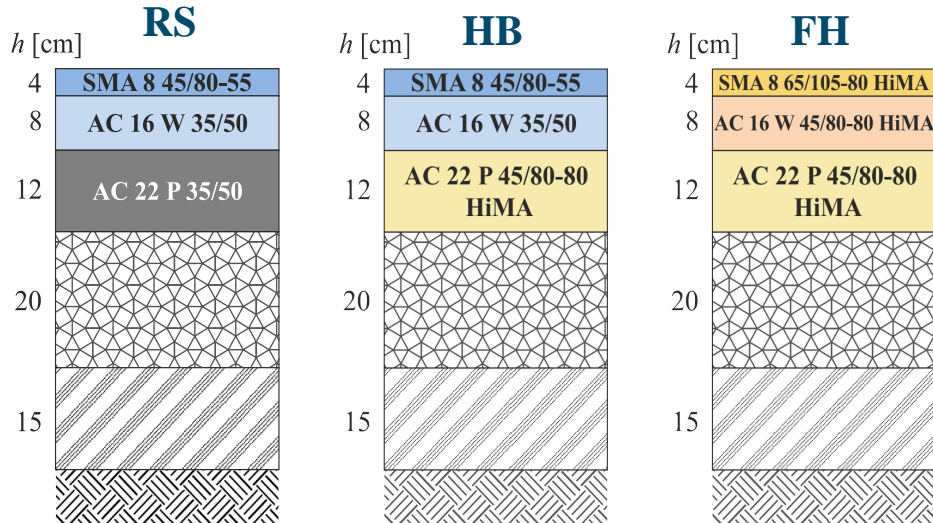


Schemat określania trwałości zmęczeniowej konstrukcji z HiMA z wykorzystaniem metody SiM





# Konstrukcja podstawowa KR5

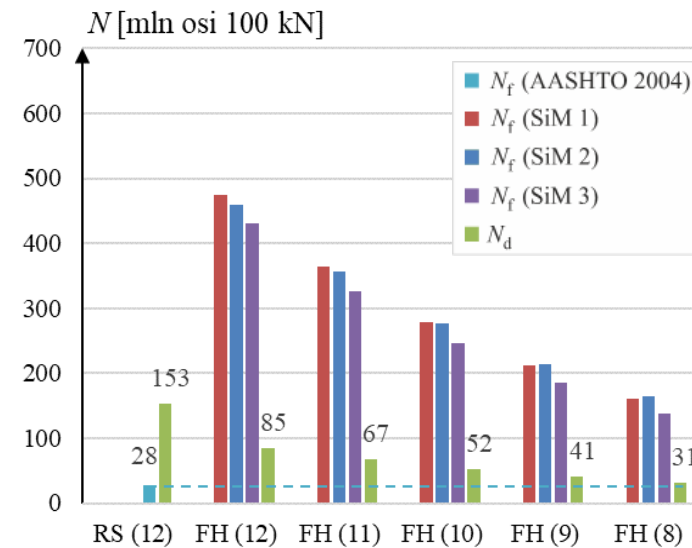
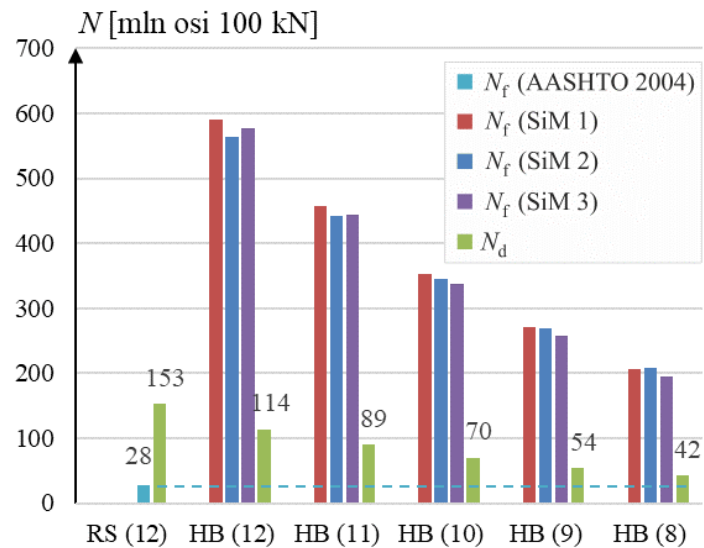
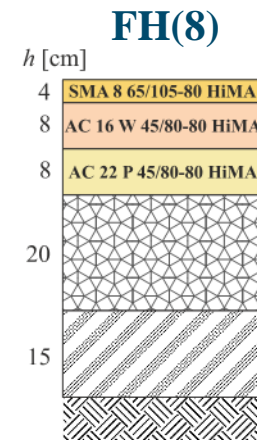
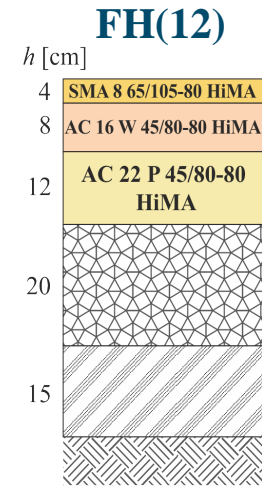
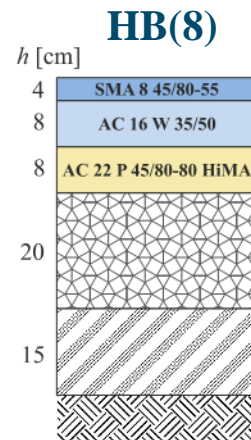
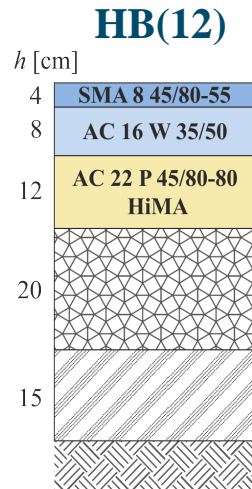
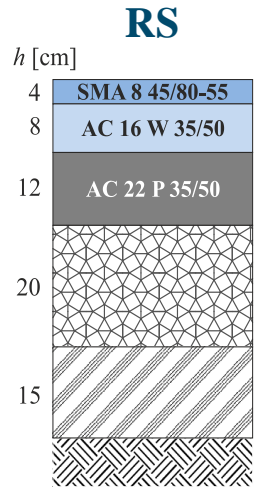


- Trwałość zmęczeniowa konstrukcji z lepiszczem HiMA jest znacznie wyższa niż konstrukcji standardowych
- Decydującym o trwałości kryterium jest kryterium deformacji strukturalnych



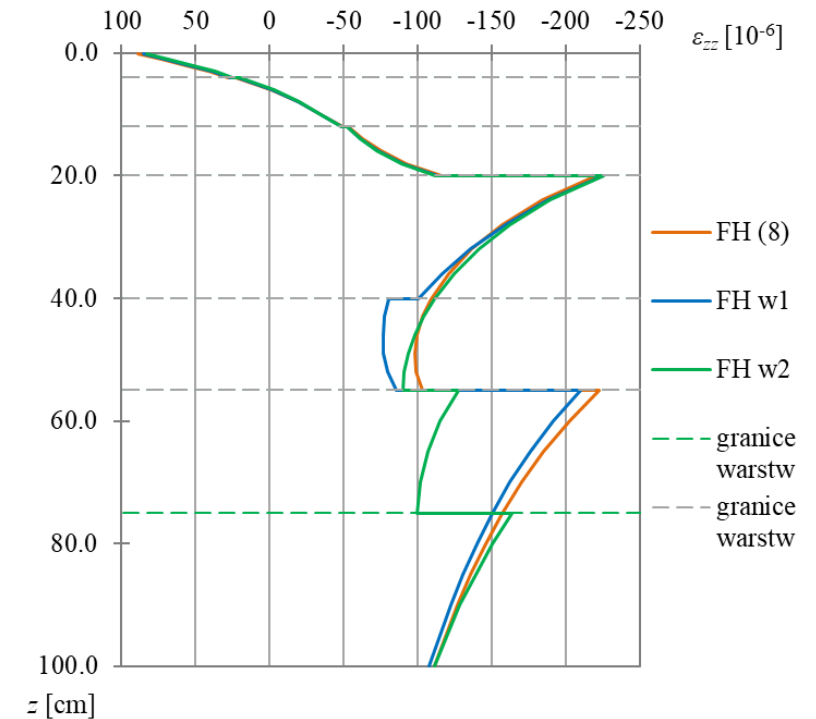
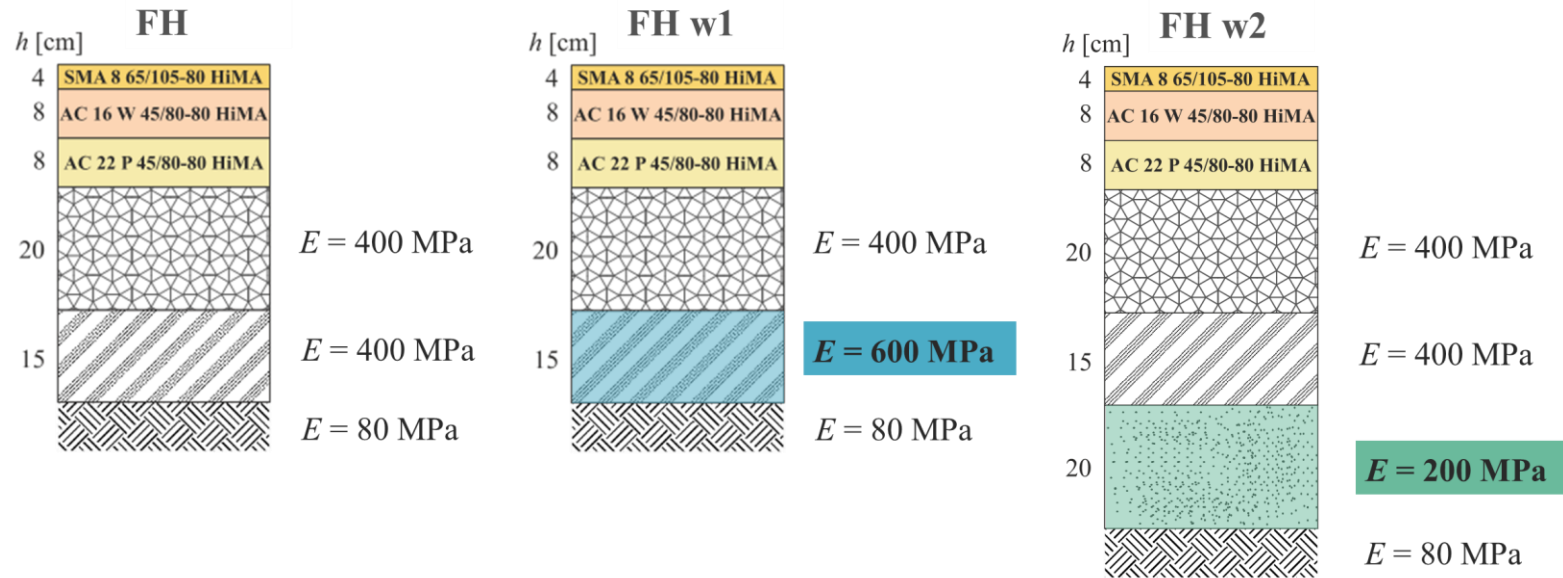


# Konstrukcja podstawowa – pocienianie





# Konstrukcja podstawowa – wzmocnienie dolnych warstw



$N$ [mln osi obl.]	FH (8)	FH w1	FH w2
$N_f$	104	121	125
$N_d$	<b>25</b>	<b>33</b>	<b>107</b>



## Przykłady innych konstrukcji z asfaltem wysokomodyfikowanym

Kategoria ruchu	KR5	KR6	KR7	Kategoria ruchu	KR5	KR6	KR7
Ruch projektowy [mln osi 100 kN]	7.4 -22.0	22.0 – 52.0	>52	Ruch projektowy [mln osi 100 kN]	7.4 -22.0	22.0 – 52.0	>52
<p><b>HAF</b></p> <p>HiMA w warstwie przeciw-zmęczeniowej</p>	<p>h [cm]</p>	<p>h [cm]</p>	<p>h [cm]</p>	<p><b>HB wa</b></p> <p>AC 16 W 45/80-80 HiMA w podbudowie asfaltowej</p>	<p>h [cm]</p>	<p>h [cm]</p>	<p>h [cm]</p>
Trwałość zmęczeniowa [mln osi 100 kN]	$N_f = 123$ $N_d = 24$	$N_{f(\text{podb})} > 100$ $N_{f(\text{AF})} > 100$ $N_d = 52$	$N_{f(\text{podb})} > 100$ $N_{f(\text{AF})} > 100$ $N_d = 88$	Trwałość zmęczeniowa [mln osi 100 kN]	$N_{f(\text{wiąz})} > 100$ $N_{f(\text{podb})} > 100$ $N_d = 36$	$N_{f(\text{podb})} = 84$ $N_{f(\text{podb})} > 100$ $N_d = 57$	$N_{f(\text{podb})} > 100$ $N_{f(\text{podb})} > 100$ $N_d = 97$

Legenda:



warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C<sub>90/3</sub>



warstwa podbudowy pomocniczej z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C<sub>3/4</sub>



warstwa ulepszonego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym C<sub>1,5/2</sub>



grunt charakteryzujący się grupą nośności podłoża G1



## Przykłady innych konstrukcji z asfaltem wysokomodyfikowanym

Kategoria ruchu	KR5	KR6	KR7
Ruch projektowy [mln osi 100 kN]	7.4 -22.0	22.0 – 52.0	>52
<b>HB wa1</b> AC 16 HiMA tylko w drugiej warstwie asfaltowej			
Trwałość zmęczeniowa [mln osi 100 kN]	$N_f = 49$ $N_d = 26$	$N_f = > 100$ $N_d = 55$	$N_f = > 100$ $N_d = 88$

Kategoria ruchu	KR5	KR6	KR7
Ruch projektowy [mln osi 100 kN]	7.4 -22.0	22.0 – 52.0	>52
<b>FH wa1</b> HiMA w obydwu warstwach asfaltowych			
Trwałość zmęczeniowa [mln osi 100 kN]	$N_f = 42$ $N_d = 22$	$N_f = > 100$ $N_d = 58$	$N_f > 100$ $N_d = 92$

Legenda:



warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C<sub>90/3</sub>



warstwa podbudowy pomocniczej z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C<sub>3/4</sub>



warstwa ulepszonego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym C<sub>1,5/2</sub>



grunt charakteryzujący się grupą nośności podłoża G1



## Podsumowanie

- Metoda SiM – prosta metoda pozwalająca na oszacowanie trwałości ze względu na spękania zmęczeniowe konstrukcji nawierzchni z asfaltem wysokomodyfikowanym.
- Konstrukcje z asfaltem wysokomodyfikowanym mogą być trwalsze niż konstrukcje z asfaltem drogowym o takich samych grubościach warstw lub mogą mieć porównywalną trwałość zmęczeniową, ale przy cieńszych pakietach warstwach asfaltowych.
- W przypadku konstrukcji z lepiszczem HiMA decydującym o trwałości zmęczeniowej jest kryterium deformacji strukturalnych → wzmocnienie dolnych warstw znacząco poprawia trwałość konstrukcji.

## Na co trzeba uważać?

- Jakość badań laboratoryjnych.
- Jakość wykonania dolnych warstw asfaltowych, przyjęcie odpowiednich parametrów modelu.
- W modelowaniu lepiej stosować modele lepkosprężyste materiałów, model sprężysty daje zaniżone wartości odkształcenia, a tym samym zawyżone trwałości.



# Dziękuję za uwagę

dr inż. Magdalena Złotowska

Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska  
Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa  
+48 (22) 234 50 92  
[magdalena.zlotowska@pw.edu.pl](mailto:magdalena.zlotowska@pw.edu.pl)