



## Ocena warunków klimatycznych Polski w aspekcie doboru rodzaju funkcjonalnego PG asfaltu do warstw nawierzchni drogowych

Dr inż. Marek Pszczoła

Katedra Inżynierii Drogowej  
Politechnika Gdańska



POLITECHNIKA WARSZAWSKA



„Projekt realizowany w ramach wspólnego przedsięwzięcia RID, finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad: Asfalty drogowe i modyfikowane w polskich warunkach klimatycznych”



## CELE I REZULTAT ZADANIA

- **Cele:**
  - Ocena warunków klimatycznych w Polsce
  - Wyznaczenie temperatur nawierzchni
  - Dobór rodzaju funkcjonalnego asfaltu do poszczególnych warstw nawierzchni
  
- **Rezultat:**
  - Wyznaczenie stref klimatycznych w Polsce w zależności od rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów w warstwie ścieralnej, wiążącej i podbudowie



# US - VIRGINIA

Klimat – ciepły i wilgotny

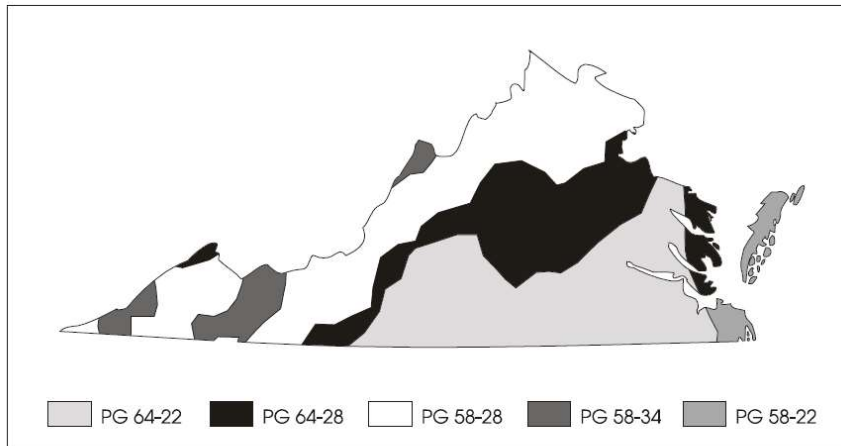


Figure 1. SHRP Asphalt Binder Grade at 98% Reliability

wg Prowell 1999

5

# PG - INNE KRAJE

## ■ Estonia

Klimat umiarkowany: morski i kontynentalny

PG 58-28

PG 58-34

PG 58-40

PG HT

split

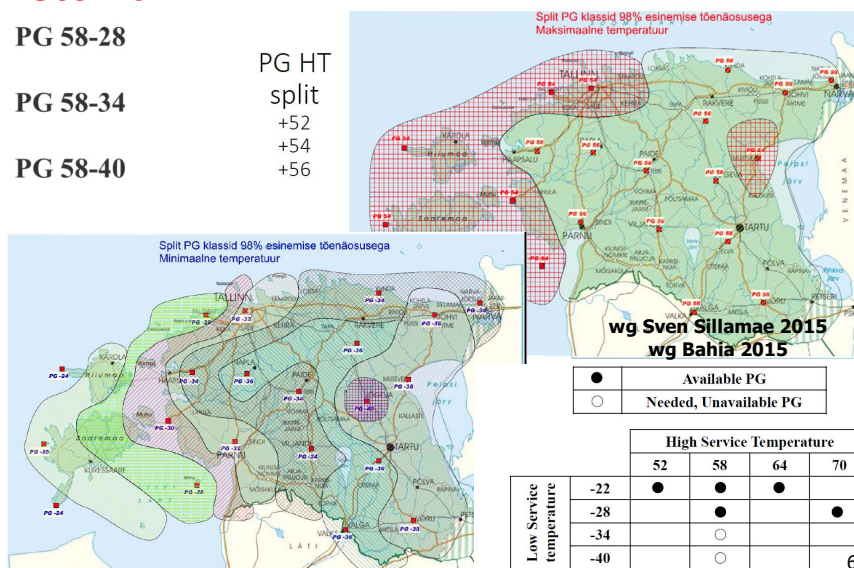
+52

+54

+56

PG LT  
split

-24  
-28  
-30  
-32  
-34  
-36  
-38  
-40



●	Available PG
○	Needed, Unavailable PG

		High Service Temperature			
		52	58	64	70
Low Service temperature	-22	●	●	●	
	-28		●		●
	-34		○		
	-40		○		

## PG - INNE KRAJE

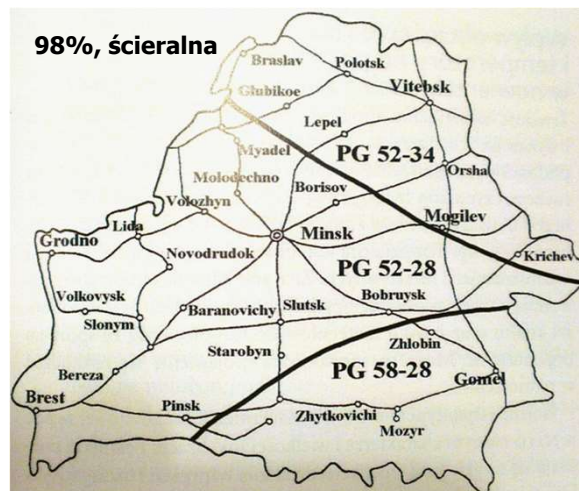
### ■ Białoruś

Klimat – umiarkowany, wpływy kontynentalne

PG 58-28

PG 52-28

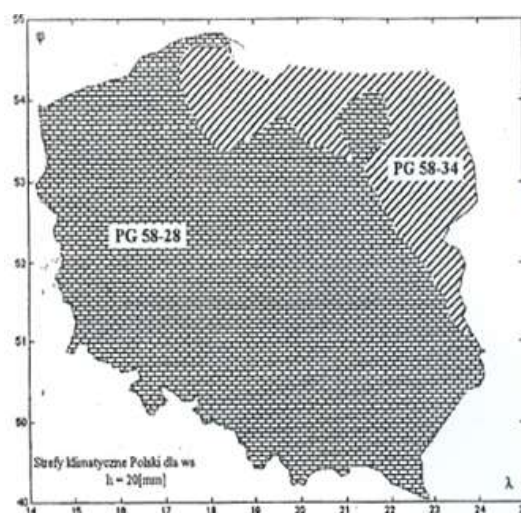
PG 52-34



wg Leonowicz 2012

7

## PG – DOŚWIADCZENIA POLSKIE



wg Sybilski, 2000

P=98%  
PG 58 – 34  
PG 58 - 28

Analiza w oparciu o dane meteo z  
okresu 5 lat (od 1994 do 1998).

8

## UZYSKANIE DANYCH

- Umowa pomiędzy Politechniką Gdańską i Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej
- Dane klimatyczne ze wszystkich dostępnych stacji IMiGW na terytorium Polski
- Dane z IMiGW przekazane w ponad 140 plikach tekstowych
- Stworzono bazy danych zawierające łącznie **12 029 302** rekordów

9

## ANALIZA DANYCH IMiGW

- Dane w latach 1986 – 2015, **30 lat**
- Temperatura powietrza na wysokości 2 m od powierzchni terenu
- Odrzucono stacje z okresem pomiaru krótszym od 20 lat i położone na szczytach górskich
- **Ostatecznie przyjęto 61 stacji meteo IMiGW**



10

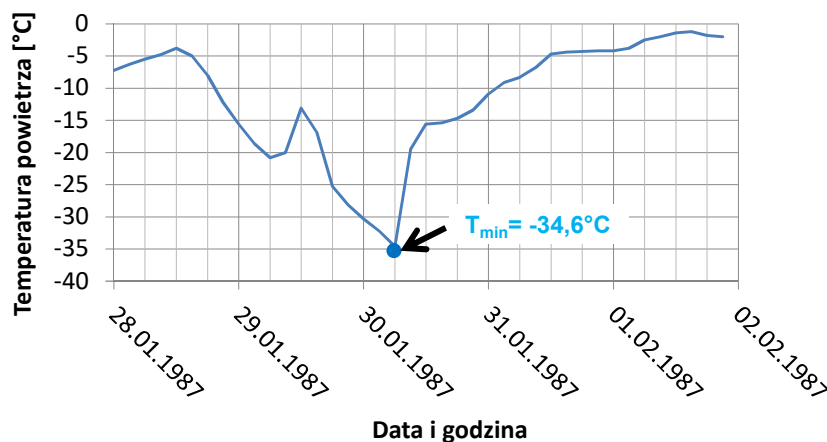
## ANALIZA TEMPERATURY POWIETRZA (wg. Superpave)

- Minimalna temperatura powietrza** – najniższa temperatura powietrza w roku  
 Przykładowo: rok 1987, Białystok,  $T_{\min} = -34,6^{\circ}\text{C}$ ,  $S_{\text{Dev}} = 4,82$ , zmierzona 30.01.1987 r.
- Średnia 7-dniowa maksymalna temperatura powietrza** – średnia z najwyższych temperatur powietrza w ciągu 7 kolejnych dni w roku  
 Przykładowo: rok 1987, Białystok,  $T_{\max} = +24,3^{\circ}\text{C}$ ,  $S_{\text{Dev}} = 2,22$ , obliczona jako średnia z maksymalnych temperatur powietrza w każdym z 7 kolejnych dni od 19.07. do 25.07.1987 r.
- Średnia z 30 lat** – wartość średnia z minimalnych temperatur powietrza i średnich 7-dniowych maksymalnych temperatur powietrza

11

## MINIMALNE TEMPERATURY POWIETRZA – 1 ROK

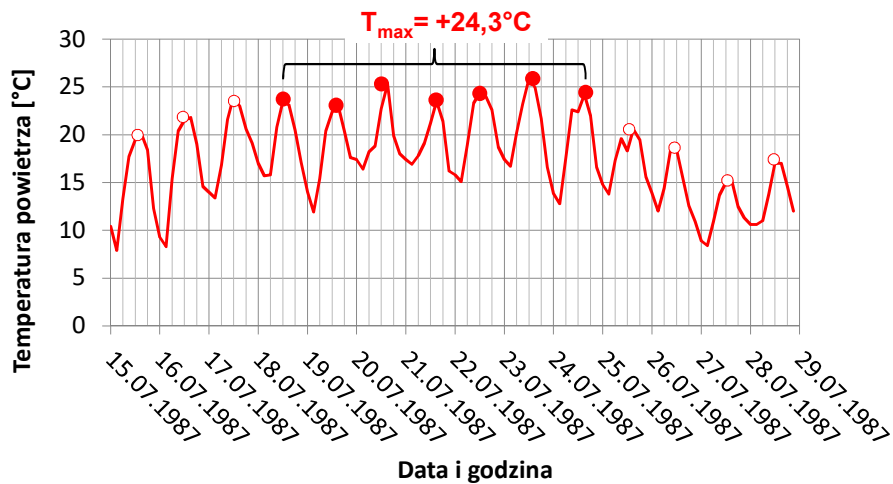
Przykład rocznej minimalnej temperatury powietrza –  
rok 1987, Białystok,  $T_{\min} = -34,6^{\circ}\text{C}$ , 30.01.1987 r.



12

## MAKSYMALNE TEMPERATURY POWIETRZA – 1 ROK

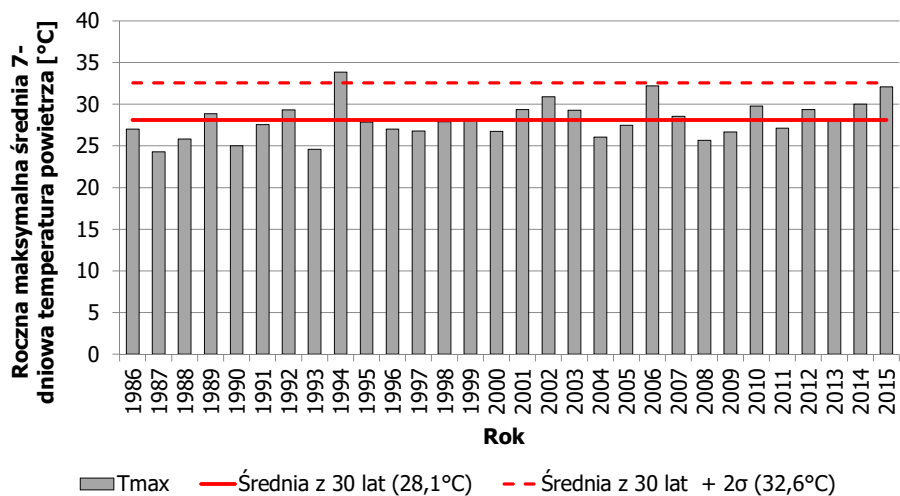
Przykład rocznej najwyższej średniej 7-dniowej maksymalnej temperatury powietrza – rok 1987, Białystok



13

## TEMPERATURY POWIETRZA ANALIZA Z 30 LAT

Analiza 30-letnia temperatur maksymalnych – Białystok, P=98%

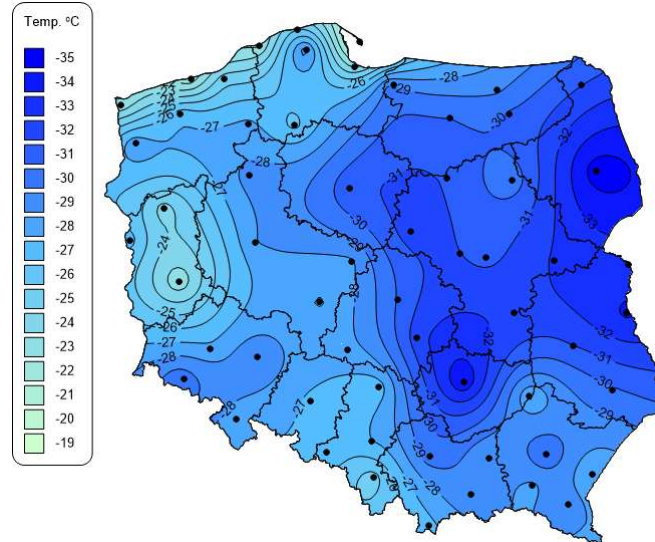


14



## NAJNIŻSZA MINIMALNA TEMPERATURA POWIETRZA

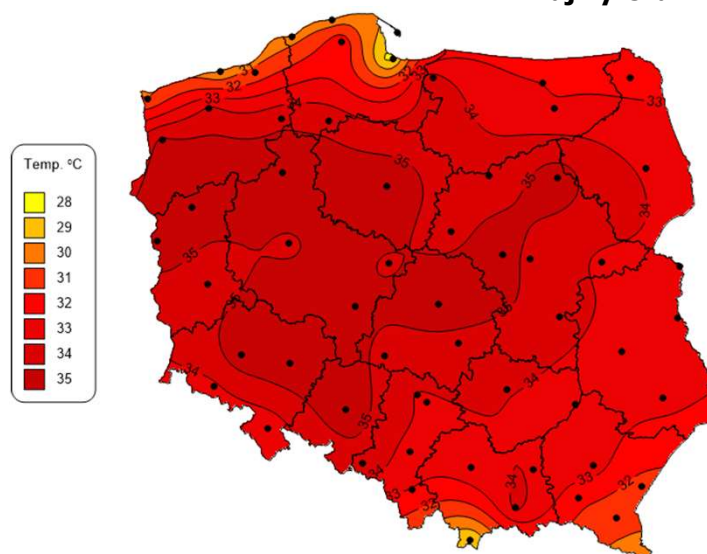
Najniższa w ciągu 30 lat



15

## NAJWYŻSZA ŚREDNIA 7-DNIOWA MAKS. TEMPERATURA POWIETRZA

Najwyższa w ciągu 30 lat



16



## UWZGLĘDNIENIE PRAWDOPODOBIEŃSTWA

- Wg. metody Superpave prawdopodobieństwo - ocena ryzyka wystąpienia temperatury, która może przekroczyć wartość projektowaną (minimalną lub średnią 7-dniową maksymalną).

Przykładowo:

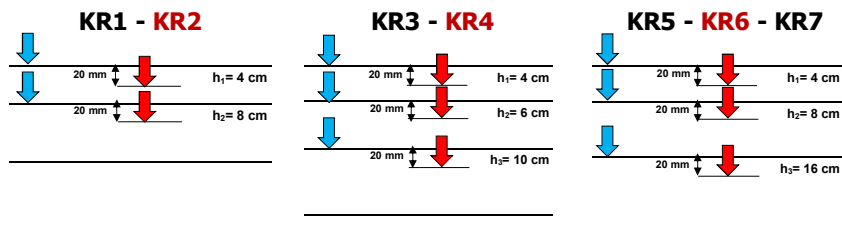
- P=98% - 2% prawdopodobieństwa wystąpienia temperatur wyższych lub niższych niż podano (szansa 1 na 50 lat)
- P=50% - 50% prawdopodobieństwa wystąpienia temperatur wyższych lub niższych niż podano (szansa 1 na 2 lata)

- Zalecane w Superpave poziomy prawdopodobieństwa to 50% i 98%. Decyduje Zarządca Drogi – powinien uwzględnić klasyfikację drogi i możliwości finansowe.
- Dopuszcza się poziomy pośrednie pomiędzy 50 i 100%.

17

## OBLICZENIA TEMPERATURY NAWIERZCHNI

- Przyjęto grubości warstw asfaltowych według KTKNPIp 2014
- Minimalna temperatura warstwy - na powierzchni każdej analizowanej warstwy asfaltowej
- Średnia 7-dniowa maksymalna temperatura warstwy – na głębokości 20 mm od powierzchni każdej analizowanej warstwy



Kolorem zaznaczono kategorię ruchu przyjętą do obliczeń

18

## OBLICZENIA TEMPERATURY NAWIERZCHNI

### Minimalna temperatura nawierzchni dla każdej warstwy:

$$T_{min}^d = -1,56 + 0,72 \cdot T_{air} - 0,004 \cdot \phi^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(H + 25) - z(4,4 + 0,52 \cdot (\sigma_{air})^2)^{0,5}$$

gdzie:

- $T_{min}^d$  - minimalna temperatura nawierzchni na głębokości H, °C
- $T_{air}$  - minimalna temperatura powietrza w analizowanym okresie, °C
- $\phi$  - szerokość geograficzna stacji meteorologicznej, stopnie
- H - głębokość w nawierzchni, mm
- $\sigma_{air}$  - odchylenie standardowe od średniej minimalnej temperatury powietrza w danym okresie, °C
- z - wielkość statystyczna z=2,055 dla p=98%, z=0 dla p=50%.

### Średnia 7-dniowa maksymalna temperatura nawierzchni dla każdej warstwy:

$$T_{max}^d = 54,32 + 0,78 \cdot T_{air} - 0,0025 \cdot \phi^2 - 15,14 \cdot \log_{10}(H + 25) + z(9 + 0,61(\sigma_{air})^2)^{0,5}$$

gdzie:

- $T_{max}^d$  - maksymalna temperatura w nawierzchni na głębokości H, °C
- $T_{air}$  - średnia 7-dniowa maksymalna temperatura powietrza, °C
- $\phi$  - szerokość geograficzna stacji meteorologicznej, stopnie
- H - głębokość w nawierzchni, mm
- $\sigma_{air}$  - odchylenie standardowe od średniej wartości ze średniej 7-dniowej maksymalnej temperatury powietrza, °C
- z - jak dla  $T_{min}$

Bibliografia, m.in.:

The Asphalt Binder Handbook. Asphalt Institute. Manual Series No. 26 (MS-26) 2011  
LTPP Seasonal Asphalt Concrete Pavement Temperature Models. Report No. FHWA-RD-97-103. FHWA 1998

19

## PROCEDURA OBLICZENIOWA

1. Wyznaczenie minimalnych i średnich 7-dniowych maksymalnych temperatur powietrza w każdym analizowanym roku
2. Wyznaczenie wartości średniej oraz odchylenia standardowego dla całego analizowanego okresu 30 lat
3. Obliczenie wartości temperatur nawierzchni dla każdej z warstw oraz dla przyjętego poziomu prawdopodobieństwa, np. P=98%
4. Określenie rodzaju funkcjonalnego PG według zakresów normy AASHTO M 320-10

20

## PROCEDURA OBLICZENIOWA ZAKRESY PG

PG X-Y wg. AASHTO M 320-10	
PG X	PG -Y
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

21

## PRZYKŁADOWE OBLICZENIA PGX-Y

**PG X**  
warstwa ścieralna, P=98% i P=50%

Lokalizacja stacji meteo	T powietrza, °C (średnia 30 letnia ze średnich 7-dniowych maksymalnych Tpow)	Odchylenie standardowe z 30 lat	T nawierzchni °C P=98%	PG X P=98%	T nawierzchni °C P=50%	PG X P=50%
Białystok	28,1	2,22	51,3	PG 52	44,2	PG 46
Gdańsk	24,9	1,49	48,0	PG 52	41,3	PG 46
Szczecin	28,3	2,07	51,3	PG 52	44,2	PG 46
Warszawa	29,2	2,15	52,3	PG 58	45,2	PG 46
Wrocław	29,5	2,09	52,8	PG 58	45,8	PG 46

22

## PRZYKŁADOWE OBLICZENIA PGX-Y

### PG-Y

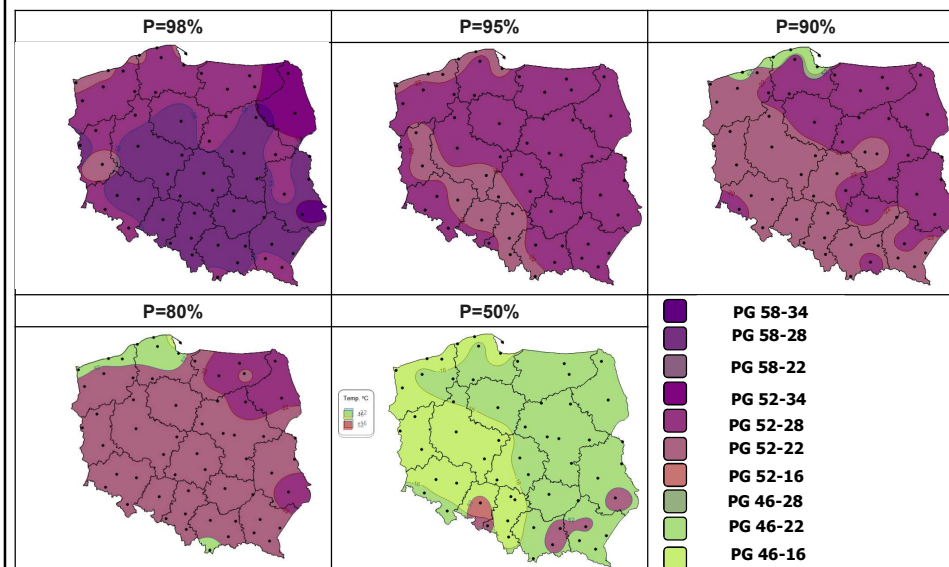
warstwa ścierna, P=98% i P=50%

Lokalizacja stacji meteo	T powietrza, °C (średnia 30 letnia z minimalnych Tpow)	Odchylenie standardowe z 30 lat	T nawierzchni °C P=98%	PG -Y P=98%	T nawierzchni °C P=50%	PG -Y P=50%
Białystok	-22,0	4,82	-28,3	PG -34	-19,9	PG -22
Gdańsk	-14,6	4,40	-22,9	PG -28	-15,1	PG -16
Szczecin	-14,9	5,25	-23,8	PG -28	-14,9	PG -16
Warszawa	-18,2	4,49	-24,7	PG -28	-16,8	PG -22
Wrocław	-17,2	4,45	-23,5	PG -28	-15,6	PG -16

23

## OCENA WPŁYWU PRAWDOPODOBIEŃSTWA

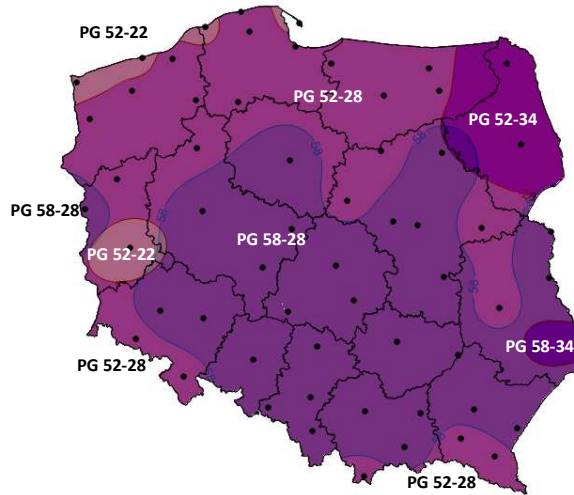
### ■ Przykład dla warstwy ściernej



## STREFY KLIMATYCZNE W POLSCE ZALEŻNOŚCI OD PG

P=98% warstwa ścieralna

- PG 52-22
- PG 52-28
- PG 52-34
- PG 58-22
- PG 58-28
- PG 58-34

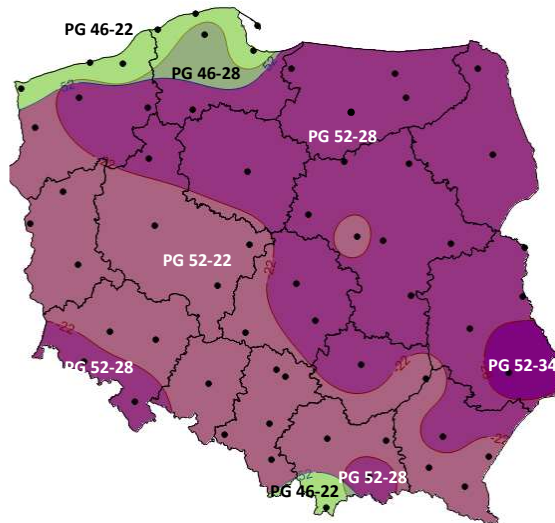


25

## STREFY KLIMATYCZNE W POLSCE ZALEŻNOŚCI OD PG

P=98% warstwa wiążąca

- PG 46-22
- PG 46-28
- PG 52-22
- PG 58-28
- PG 52-34

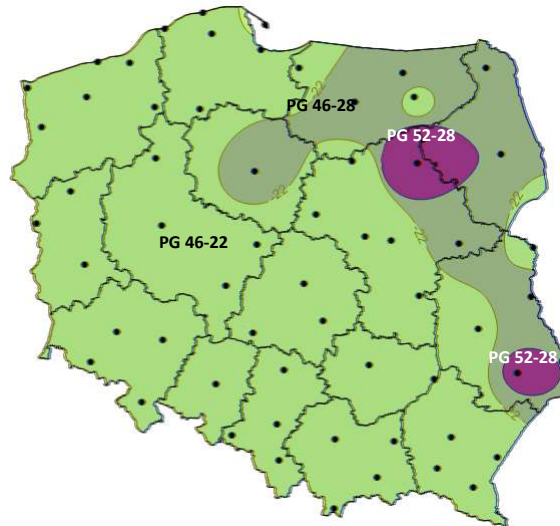


26

## STREFY KLIMATYCZNE W POLSCE ZALEŻNOŚCI OD PG

P=98% warstwa podbudowy

- PG 46-16
- PG 46-22
- PG 46-28
- PG 52-28



27

## MOŻLIWOŚĆ PODNIESIENIA GÓRNEJ WARTOŚCI PG (wg. Superpave)

Ruch USA - mln ESALs (PL - mln osi 100 kN)	Możliwość podniesienia <b>PG X</b> ze względu na:		
	Normalny ruch pojazdów	Powolny ruch pojazdów	Postój pojazdów
< 0,3 (0,12 - ~KR2)	-	-	<b>+ 1 poziomy</b>
0,3 ÷ 3 (0,12 - 1,23 ~środek KR3)	-	<b>+ 1 poziomy</b>	<b>+ 2 poziomy</b>
3 ÷ 30 (1,23 - 12,3 ~środek KR5)	-	<b>+ 1 poziomy</b>	<b>+ 2 poziomy</b>
> 30 (>12,3 KR5)	<b>+ 1 poziomy</b>	<b>+ 1 poziomy</b>	<b>+ 2 poziomy</b>

**Podniesienie poziomu **PG X** nie jest obligatoryjne. Decyzję podejmuje Zarządca drogi.**

(Wg. Superpave: „The engineer may consider selecting one high temperature binder grade higher than the selection based on climate.”)

28

## PODSUMOWANIE

- Opracowano strefy klimatyczne w Polsce w zależności od rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów w poszczególnych warstwach
- Opracowano PG dla różnego poziomu prawdopodobieństwa: **50%**, **80%**, **90%**, **95%**, **98%**
- Wybór poziomu prawdopodobieństwa – decyzja techniczna i ekonomiczna
- Przyjęcie większego P – konieczność produkcji droższych asfaltów ale mniejsze ryzyko powstania spękań niskotemperaturowych i kolein

29

## POTRZEBY I MOŻLIWOŚCI, POLSKA

Warstwa ścieralna P=98%		Warstwa ścieralna P=80%	
Wymagane PG	Asfalt wg Orlen '16	Wymagane PG	Asfalt wg Orlen '16
PG 58-34	<b>Brak</b>		
PG 58-28	<b>Brak</b>		
PG 52-28	<b>Brak</b> , 65/105-60 (PG 64-28)	PG 52-28	<b>Brak</b> , 65/105-60 (PG 64-28)
PG 52-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22)  25/55-60 (PG 76-22) 45/80-55 (PG 70-22) 45/80-65 (PG 72-22)	PG 52-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22)  25/55-60 (PG 76-22) 45/80-55 (PG 70-22) 45/80-65 (PG 72-22)
		PG 46-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) wszystkie PmB
		PG 46-16	35/50 (PG 70-16) wszystkie j.w.

30



## POTRZEBY I MOŻLIWOŚCI, POLSKA

Warstwa wiążąca P=98%		Warstwa wiążąca P=80%	
Wymagane PG	Asfalt wg Orlen '16	Wymagane PG	Asfalt wg Orlen '16
PG 52-34	<b>Brak</b>		
PG 52-28	<b>Brak</b> , 65/105-60 (PG 64-28)		
PG 52-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) 25/55-60 (PG 76-22) 45/80-55 (PG 70-22) 45/80-65 (PG 72-22)		
PG 46-22	wszystkie j.w.	PG 46-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22)  25/55-60 (PG 76-22) 45/80-55 (PG 70-22) 45/80-65 (PG 72-22)
PG 46-28	<b>Brak</b> , 65/105-60 (PG 64-28)	PG 46-16	20/30 (PG 82-16) 35/50 (PG 70-16, 76-16) 70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22)

31

## POTRZEBY I MOŻLIWOŚCI, POLSKA

Warstwa podbudowy P=98%		Warstwa podbudowy P=80%	
Wymagane PG	Asfalt wg Orlen '16	Wymagane PG	Asfalt wg Orlen '16
PG 52-28	<b>Brak</b> 65/105-60 (PG 64-28)		
PG 46-28	<b>Brak</b> 65/105-60 (PG 64-28)		
PG 46-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22)  25/55-60 (PG 76-22) 45/80-55 (PG 70-22) 45/80-65 (PG 72-22)	PG 46-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22)  25/55-60 (PG 76-22) 45/80-55 (PG 70-22) 45/80-65 (PG 72-22)
PG 46-16	20/30 (PG 82-16) 35/50 (PG 70-16) 70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) wszystkie PmB	PG 46-16	20/30 (PG 82-16) 35/50 (PG 70-16) 70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) wszystkie PmB

32

- Wyliczono wymagane PG dla różnych P
- Brak na rynku asfaltów  
**PG 58-34 i PG 58-28**
  - Efekt walki z deformacjami trwałymi
- Propozycja klasyfikacji dla Polski

Drogi A i S	– <b>P=98%</b> (1/50)
Pozostałe drogi KR3-KR7	– <b>P=80%</b> (1/5)
Drogi KR1-KR2	– <b>P=50%</b> (1/2)

### Spostrzeżenia:

- Właściwości asfaltów PmB nie są wystarczające
- HiMA to tylko PG 82-28 lub PG 76-28
- Bardzo miękki PmB 65/105-60 to tylko PG 64-28
- Ulepszyć istniejące asfalty, np. 35/50 poprawić z Y= -16 na Y= -22
- Opracować nowe asfalty odporne na niskie temperatury

