



POLITECHNIKA
GDAŃSKA



Strefy klimatyczne w Polsce z uwzględnieniem klasyfikacji funkcjonalnej asfaltów

dr inż. Marek Pszczoła
Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej



POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Instytut
Badawczy
Dróg i Mostów



„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”

- **Opis problemu**
- **Rodzaj funkcjonalny PG asfaltów**
- **Metodyka opracowania stref klimatycznych w Polsce**
- **Przykład doboru rodzaju asfaltu do warstwy ścieralnej**
- **Podsumowanie i wnioski**

OPIS PROBLEMU

- Obecnie: projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych i dobór asfaltów bez uwzględnienia strefy klimatycznej
- Potrzeba opracowania stref klimatycznych w Polsce z uwzględnieniem cech funkcjonalnych asfaltów

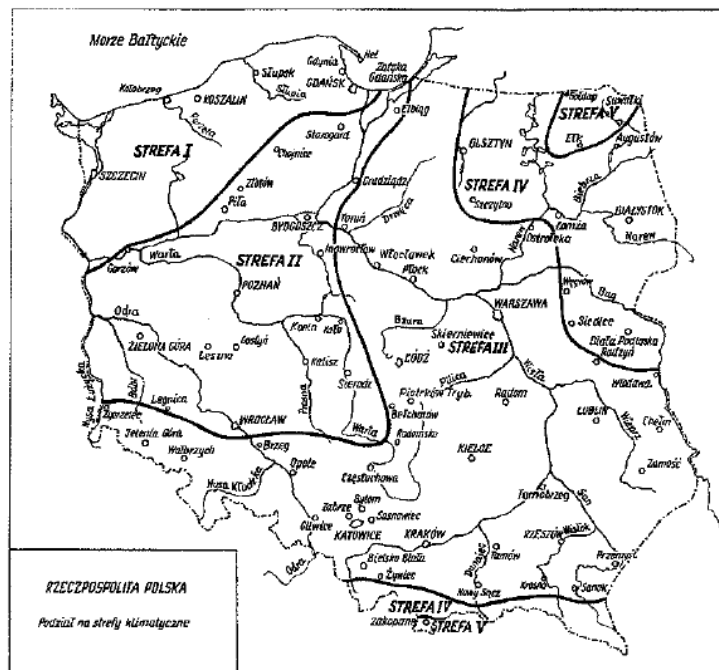
Tabela 1. Zestawienie wyrobów do warstw nawierzchni drogowych z uwzględnieniem obciążenia ruchem

Warstwa	Wyrób	Kategoria ruchu		
		KR 1÷2	KR 3÷4	KR 5÷7
Podbudowa	Mieszanki mineralno-asfaltowe	AC 16 P, AC 22 P	AC 16 P, AC 22 P, AC 32 P, AC WMS 16, AC WMS 22	AC 16 P, AC 22 P, AC 32 P, AC WMS 16, AC WMS 22
	Lepiszczka asfaltowe ^{a)}	50/70	35/50 ^{a)} , 50/70 ^{a)} , 20/30 ^{b)} PMB 10/40-65 ^{b)} PMB 25/55-60 ^{b),c)} MG 20/30-64/74 ^{b)} MG 35/50-57/69 MG 50/70-54/64	35/50 ^{a)} , 50/70 ^{a)} , 20/30 ^{b)} PMB 10/40-65 ^{b)} PMB 25/55-60 ^{b),c)} PMB 25/55-80 ^{b),c)} MG 20/30-64/74 ^{b)} MG 35/50-57/69 MG 50/70-54/64
	Kruszywa mineralne	Tabele 4, 5, 6, 6a, / WI-1 2014		
Wiążąca i warstwa wyrównawcza	Mieszanki mineralno-asfaltowe	AC 11 W, AC 16 W	AC 16 W, AC 22 W, AC WMS 16, AC WMS 22,	AC 16 W, AC 22 W, AC WMS 16, AC WMS 22
	Lepiszczka asfaltowe ^{a)}	50/70 MG 50/70-54/64	35/50 ^{a)} , 50/70 ^{a)} , 20/30 ^{b)} PMB 10/40-65 ^{b)} PMB 25/55-60 ^{b),c)} MG 20/30-64/74 ^{b)} MG 35/50-57/69 MG 50/70-54/64	35/50 ^{a)} , 20/30 ^{b)} PMB 10/40-65 ^{b)} PMB 25/55-60 ^{b),c)} PMB 25/55-80 ^{b),c)} MG 20/30-64/74 ^{b)} MG 35/50-57/69
	Kruszywa mineralne	Tabele 8, 9, 10, 11 WT-1 2014		
Ścieralna	Mieszanki mineralno-asfaltowe	MA 8, MA 11 AC 5 S, AC 8 S, AC 11 S, SMA 5, SMA 8, SMA 11, BBTM 8 ^{d)} , BBTM 11	MA 8, MA 11, AC 8 S, AC 11 S, SMA 5 ^{d)} , SMA 8 ^{d)} , SMA 11, BBTM 8 ^{d)} , BBTM 11, PA 8 S, PA 11 S, PA 16 S ^{e)}	MA 8, MA 11, AC 8 S ^{h)} , AC 11 S ^{h)} , SMA 8 ^{d)} , SMA 11, BBTM 8 ^{d)} , BBTM 11, PA 8 S, PA 11 S, PA 16 S ^{e)}
	Lepiszczka asfaltowe ^{a)}	35/50 ^{a)} , 50/70, 70/100 PMB 45/80-55, PMB 45/80-65, PMB 65/105-60 ^{e)} MG 50/70-54/64	35/50 ^{a)} , 50/70, PMB 25/55-60, PMB 45/80-55, PMB 45/80-65, PMB 45/80-80 PMB 65/105-60 ^{e)} MG 50/70-54/64	PMB 25/55-60, PMB 45/80-55, PMB 45/80-65, PMB 45/80-80 PMB 65/105-60 ^{e)} PMB 65/105-80 ^{e)}
	Kruszywa mineralne	Tabele 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 WT-1 2014		

^{a)} do betonu asfaltowego
^{b)} do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS
^{c)} do betonu asfaltowego do warstwy podbudowy lub wiążącej
^{d)} zalecane, jeżeli wymagane jest zmniejszenie hałasu drogowego
^{e)} do cienkiej warstwy na gorąco z SMA lub BBTM o grubości nie większej niż 3,5 cm i do PA
^{f)} mogą być stosowane także inne lepiszcza nienormowe i asfalty specjalne wg aprobat technicznych lub europejskich ocen technicznych
^{g)} do asfaltu lanego
^{h)} do kategorii ruchu KR5÷6 – w terenach górskich
ⁱ⁾ PA 16 S stanowi dolną warstwę, dwuwarstwowej nawierzchni porowatej. W konstrukcji zawsze występuje warstwa AC

PRÓBY UWZGLĘDNIENIA STREF KLIMATYCZNYCH W POLSCE

- WT-2 2014: Beton asfaltowy o wysokim module sztywności (AC WMS)



Rys.1 Podział Polski na strefy klimatyczne (Załącznik krajowy NB do PN-EN 12831)

Material	Kategoria ruchu KR3÷7	
Mieszanka mineralno-asfaltowa o wymiarze D , [mm]	16	22
Granulat asfaltowy o wymiarze U , [mm]	22,4	31,5
Łepiszczą asfaltowe ^{a)}	20/30 ^{b)} , PMB 10/40-65, PMB 25/55-60, PMB 25/55-80, MG 20/30-64/74, MG 35/50-57/69	
Kruszywa mineralne	Tabele 4, 5, 6, 6a ^{c)} , 7, 8, 9, 10, 11 WT-1 2014	

^{a)} zalecana temperatura łamliwości wg Fraassa dla asfaltów:

- modyfikowanych i wielorodzajowych nie wyższa niż -10°C
- 20/30 nie wyższa niż -5°C

^{b)} dopuszcza się do stosowania w I i II strefie klimatycznej Polski wg Rys 1. Nie dopuszcza się pozostawienia na okres zimowy warstwy z asfaltem 20/30 nieprzykrytej kolejną warstwą asfaltową, która powinna być wykonana z rmm z innym asfaltem niż 20/30 i zgodnym z zamierzonym zastosowaniem.

nie dopuszcza się aby kruszywo o ciągłym uziarnieniu stanowiło 100% zaprojektowanej mieszanki mineralnej

PERFORMANCE GRADE (PG) RODZAJ FUNKCJONALNY ASFALTU

Rodzaj funkcjonalny
(Performance Grade)

wg. Superpave
(SP-1), 1995

PG X - Y

**Najwyższa średnia 7-
dniowa maksymalna
temperatura nawierzchni w
roku**

**Minimalna temperatura
nawierzchni w roku**

Badanie w DSR:
 $G^*/\sin\delta \geq 1$ KPa (bez starzenia)
 $G^*/\sin\delta \geq 2,2$ KPa (po RTFOT)

**Kryterium, badanie w
BBR (po RTFOT + PAV):**
 $S_{60} \leq 300$ MPa
 $m_{60} \geq 0,3$

**Temperatura pośrednia,
wynika z X i Y**

**Badanie w DSR
(po RTFOT + PAV):**
 $G^*\sin\delta \leq 5000$ kPa

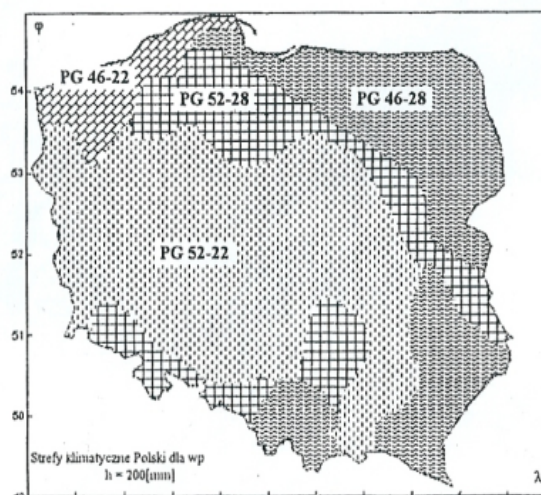
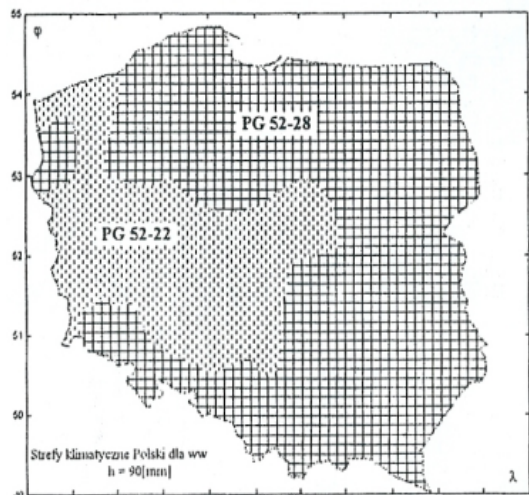
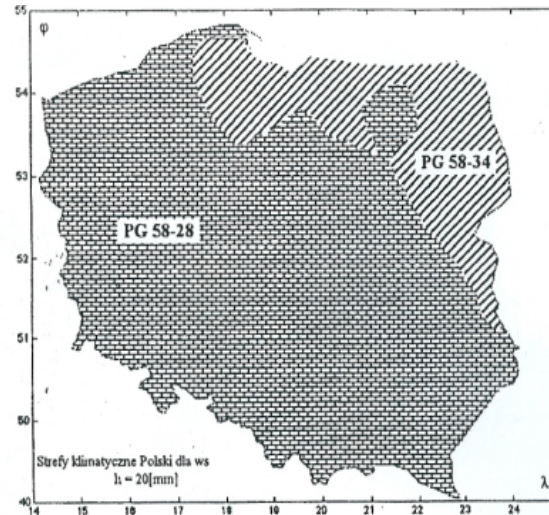
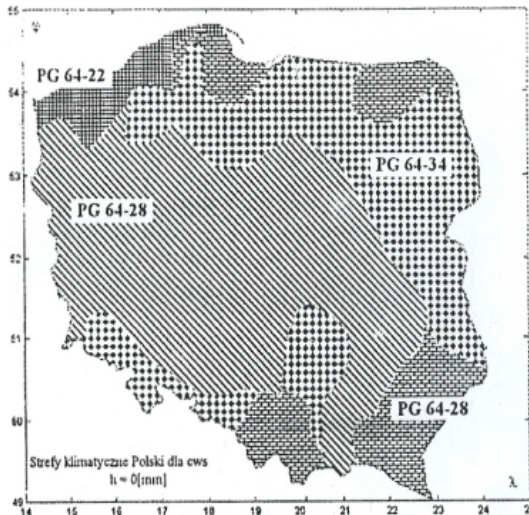
PG X-Y wg. AASHTO M 320-10	
PG X	PG -Y
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

Dodatkowe oznaczenia wynikające z obciążenia ruchem (od 2014): S, H, V, E, np. PG 64-22 E – oznacza duży ruch ciężki oraz postój

wg Prof. Sybilskiego,
z zespołem, 2000 r.

P=98%
dla warstwy ścieralnej:
PG 58-34
PG 58-28

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



DOŚWIADCZENIA AMERYKAŃSKIE - PRZYKŁAD STANU WIRGINIA

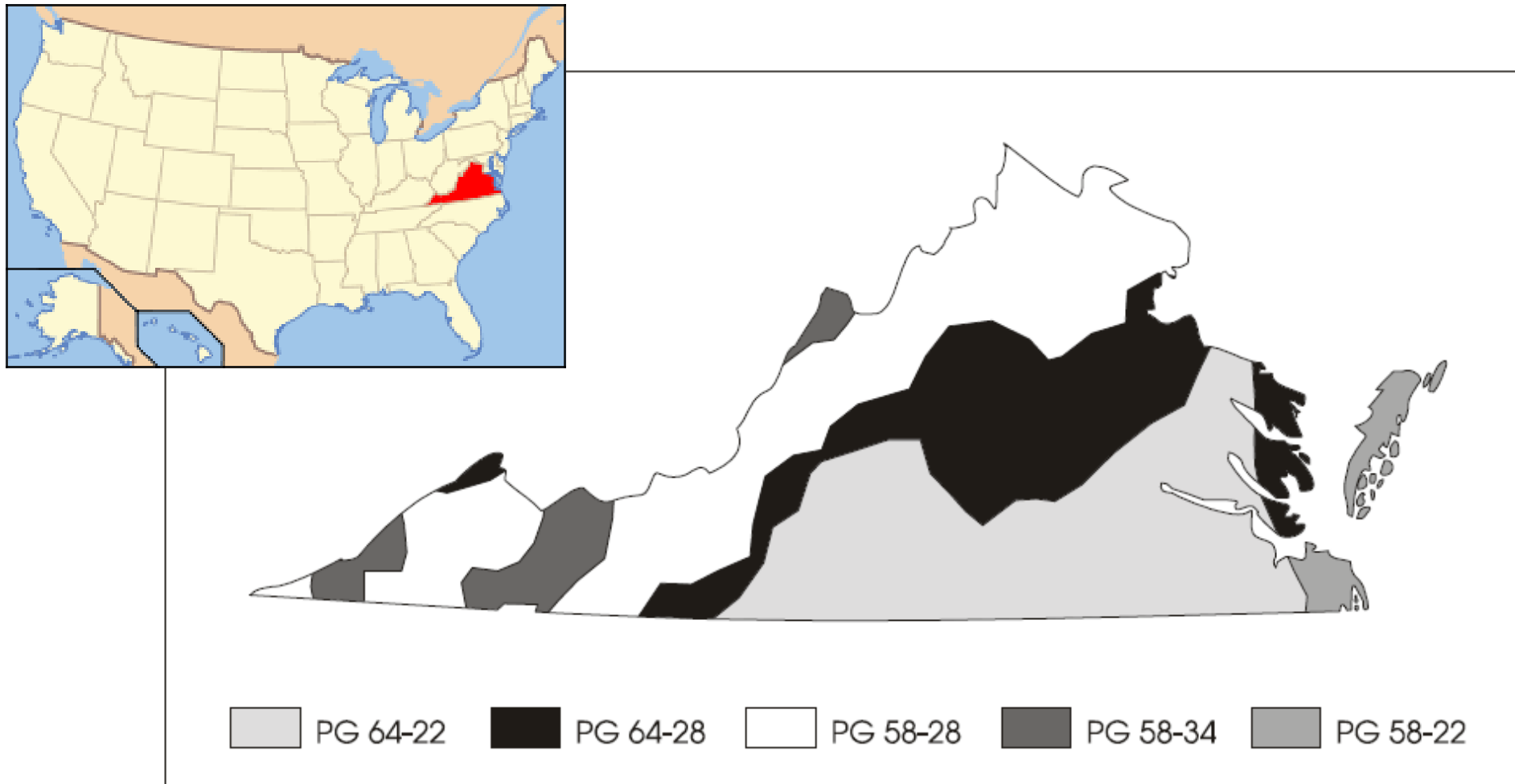


Figure 1. SHRP Asphalt Binder Grade at 98% Reliability

wg Prowell, 1999 r.

DOŚWIADCZENIA AMERYKAŃSKIE - PRZYKŁAD STANU CALIFORNIA



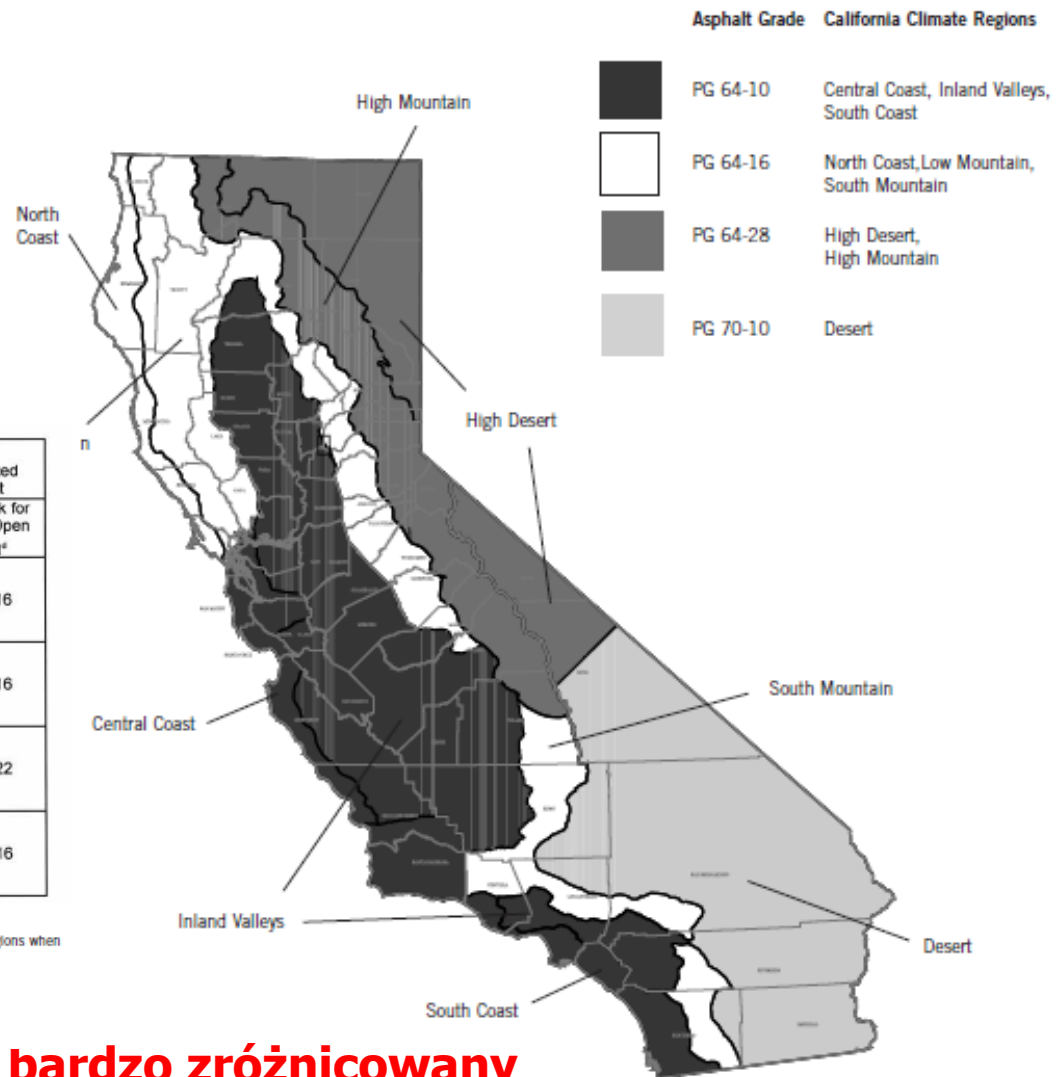
Caltrans PG Asphalt Binder Grades

Climatic Region	Conventional Hot Mixed Asphalt				Rubberized Asphalt Base Stock for Gap and Open Graded ^d
	Dense Graded HMA		Open Graded		
	Typical	Special ^a	Lay Down Temperature >70°F	<70°F	
Central Coast, Inland Valleys, South Coast	PG 64-10	PG 70-10 PG 64-28PM	PG 64-10	PG 58-34PM	PG 64-16
North Coast, Low Mountain, South Mountain	PG 64-16	PG 64-28PM	PG 64-16	PG 58-34PM	PG 64-16
High Desert, High Mountain	PG 64-28	PG 58-34PM ^b	PG 64-28	PG 58-34PM	PG 58-22
Desert	PG 70-10	PG 64-28PM	PG 70-10	See Note c	PG 64-16

Notes:

- PG 76-22PM may be specified for conventional dense graded hot mix asphalt for special conditions in all climatic regions when specifically requested by the District Materials Engineer.
- PG 64-28PM may be specified when specifically requested by the District Materials Engineer.
- Consult the District Materials Engineer for appropriate binder grade.
- Do not use a polymer modified binder as base stock for rubber modified binder.

PG Binder Map for California



Klimat - bardzo zróżnicowany

- Niemcy
 - Austria
 - Szwajcaria
 - Francja
- } brak prac nad strefami klimatycznymi
- Inne kraje (poza Estonią, Białorusią oraz Ukrainą) – brak danych lub prace nie zostały opublikowane

DOŚWIADCZENIA ESTOŃSKIE

PG 58-28

PG 58-34

PG 58-40

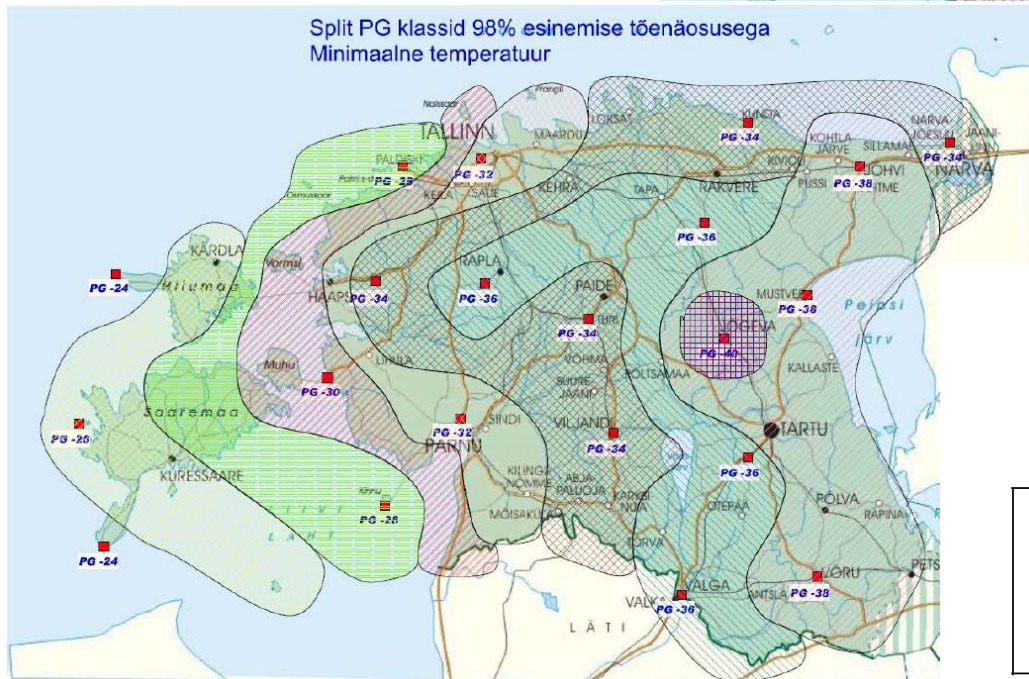
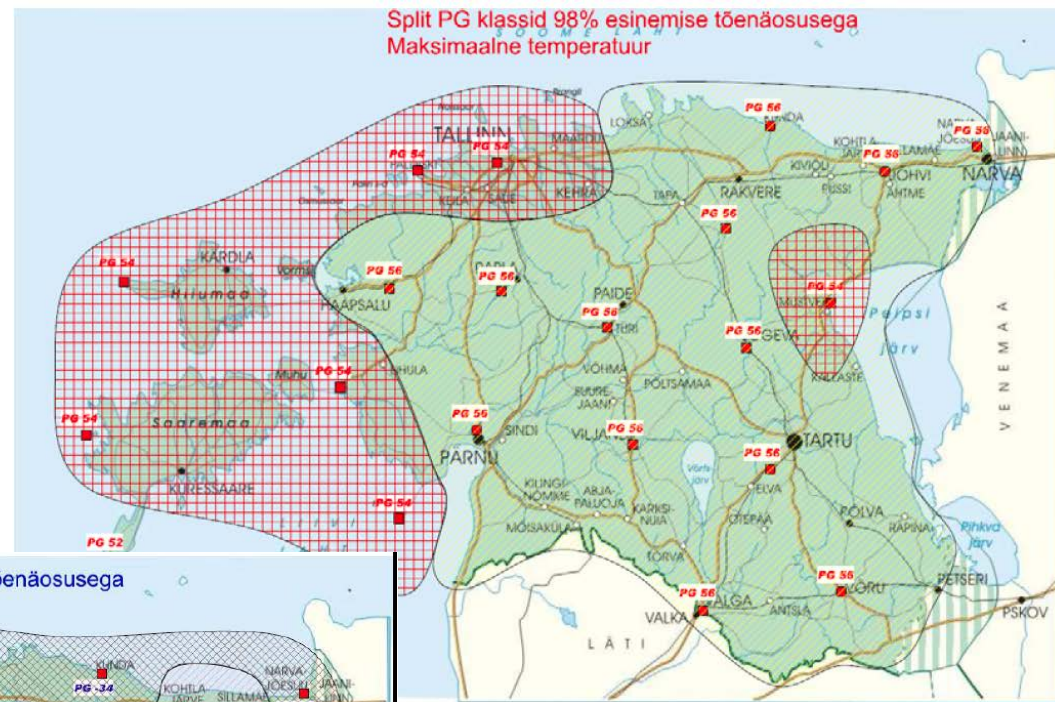
PG HT

split

+52

+54

+56



PG LT
split

-24

-28

-30

-32

-34

-36

-38

-40

wg Sven Sillamae, 2015
wg Bahia, 2015

●	Available PG
○	Needed, Unavailable PG

		High Service Temperature			
		52	58	64	70
Low Service temperature	-22	●	●	●	
	-28		●		●
	-34		○		
	-40		○		13

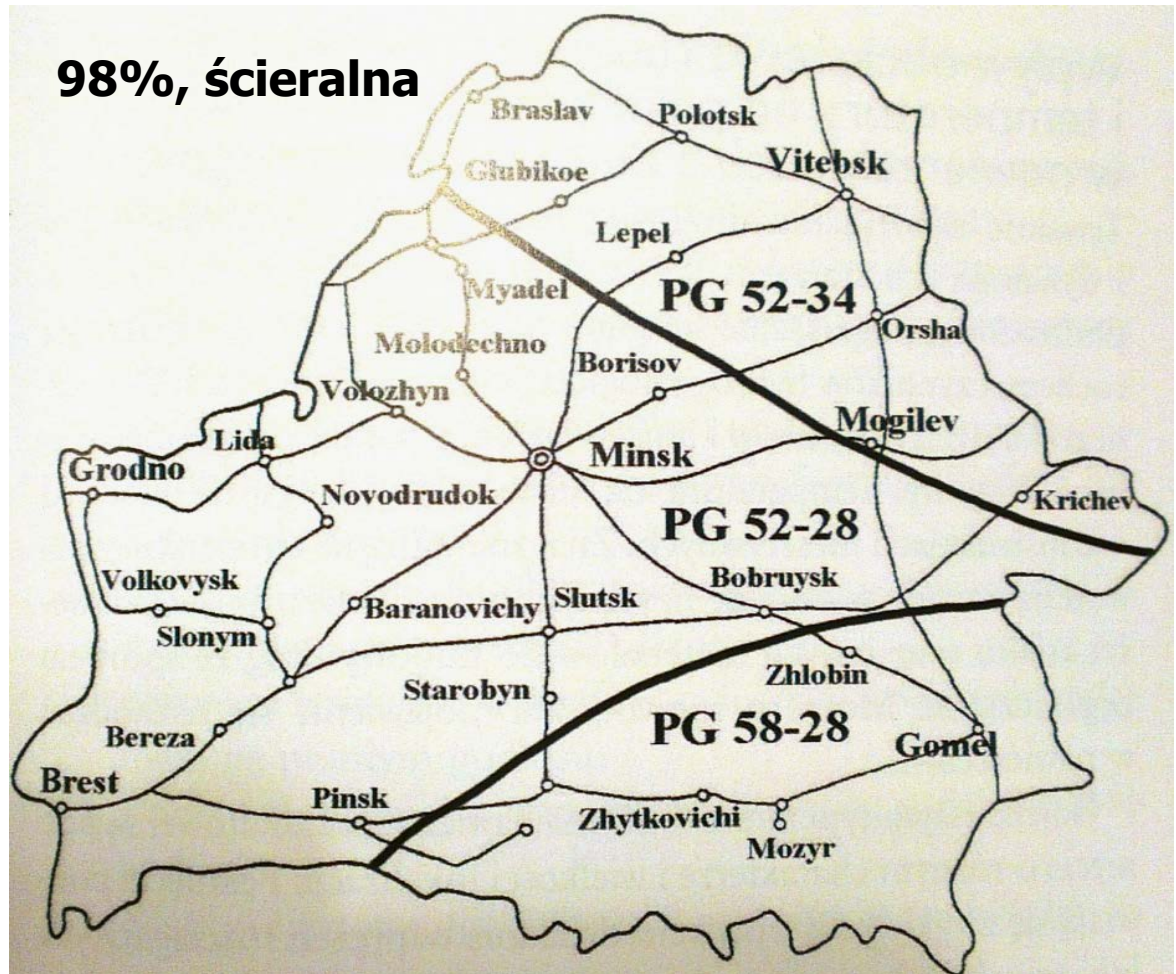
■ Białoruś

Klimat – umiarkowany, wpływ kontynentalne

PG 58-28

PG 52-28

PG 52-34



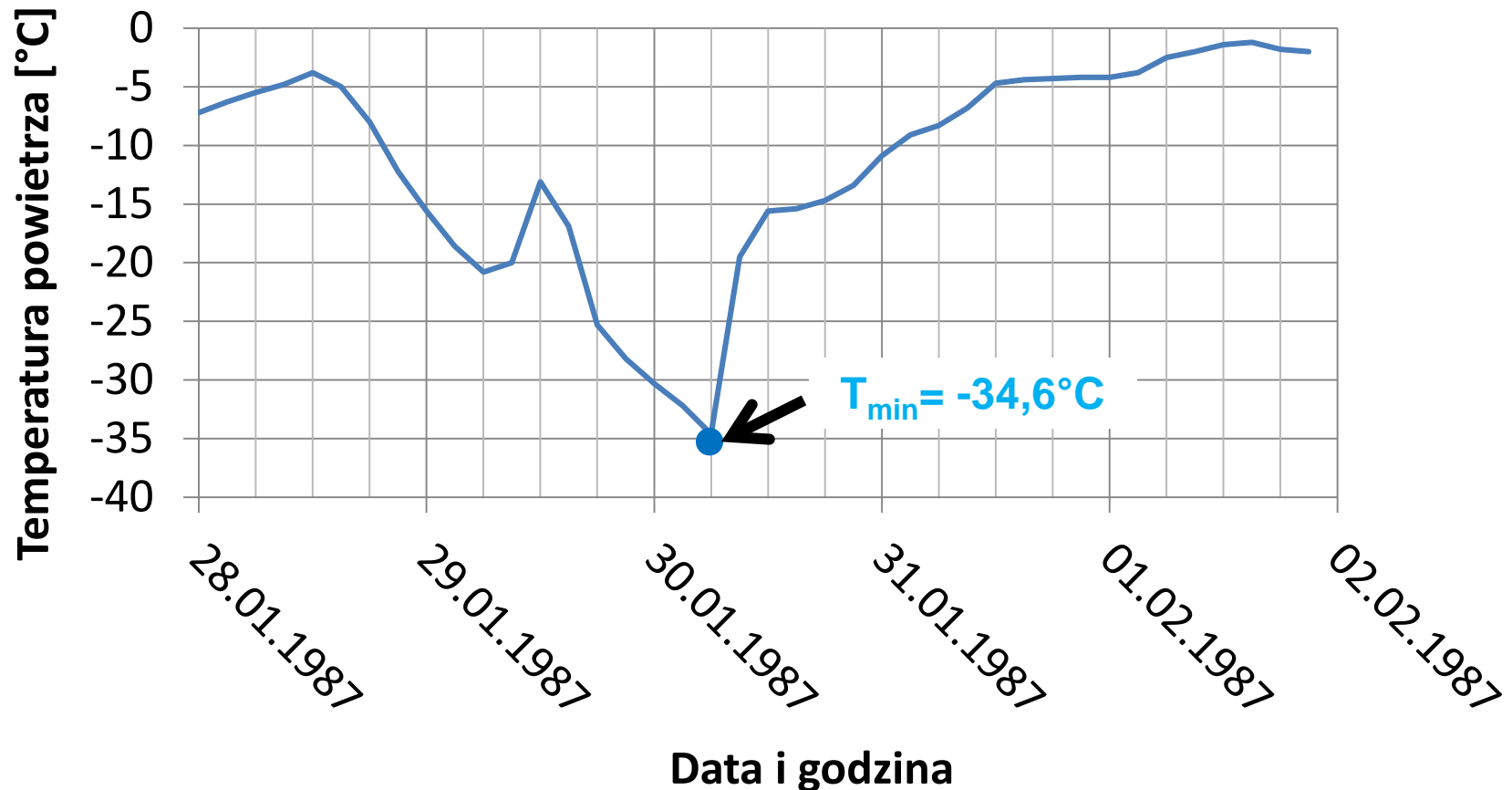
wg Leonowicz, 2012

- 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 IMGW**



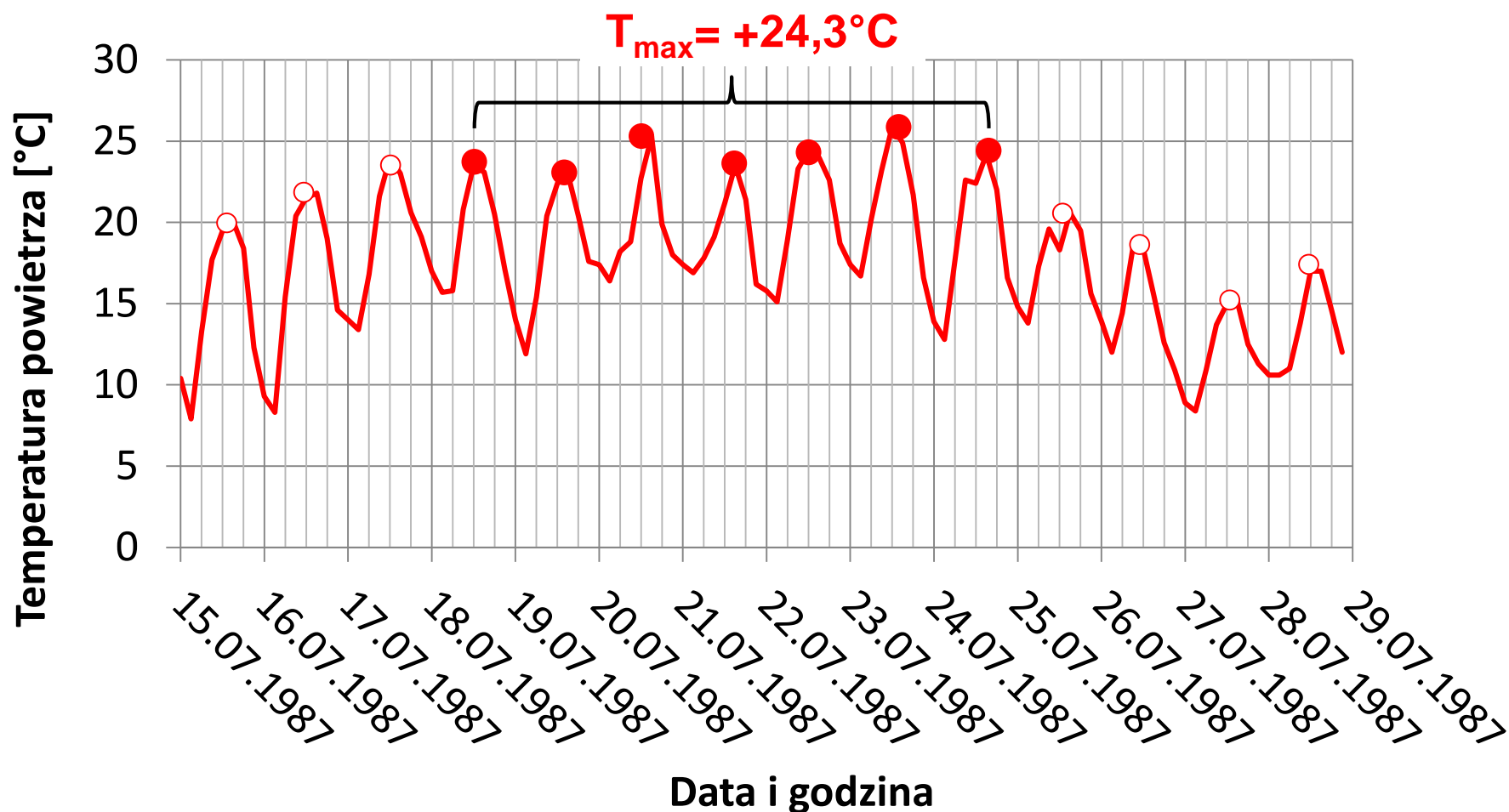
MINIMALNE TEMPERATURY POWIETRZA – 1 ROK

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



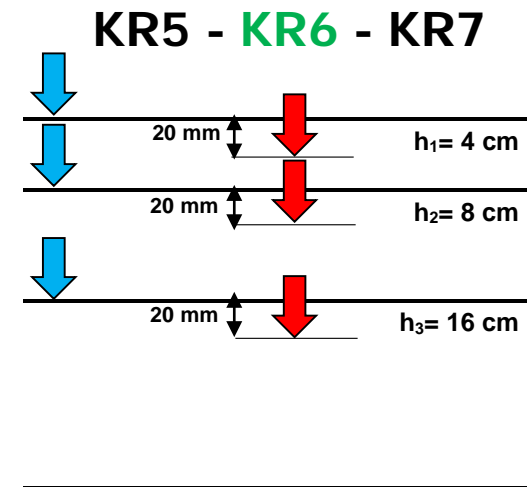
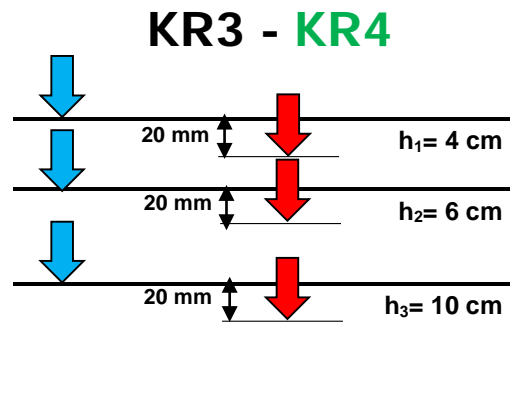
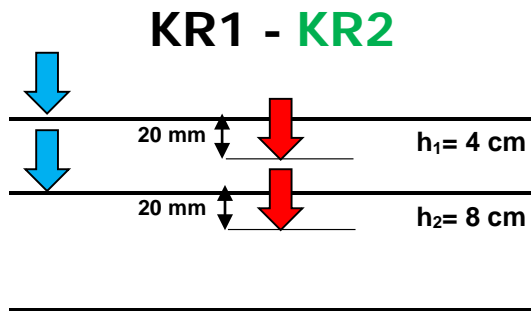
MAKSYMALNE TEMPERATURY POWIETRZA – 1 ROK

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



OBLICZENIA TEMPERATURY NAWIERZCHNI

- Przyjęto grubości warstw asfaltowych według KTKN PiP 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 zielonym zaznaczono kategorię ruchu przyjętą do obliczeń

UWZGLĘDNIENIE PRAWDOPODOBIENSTWA

- 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)

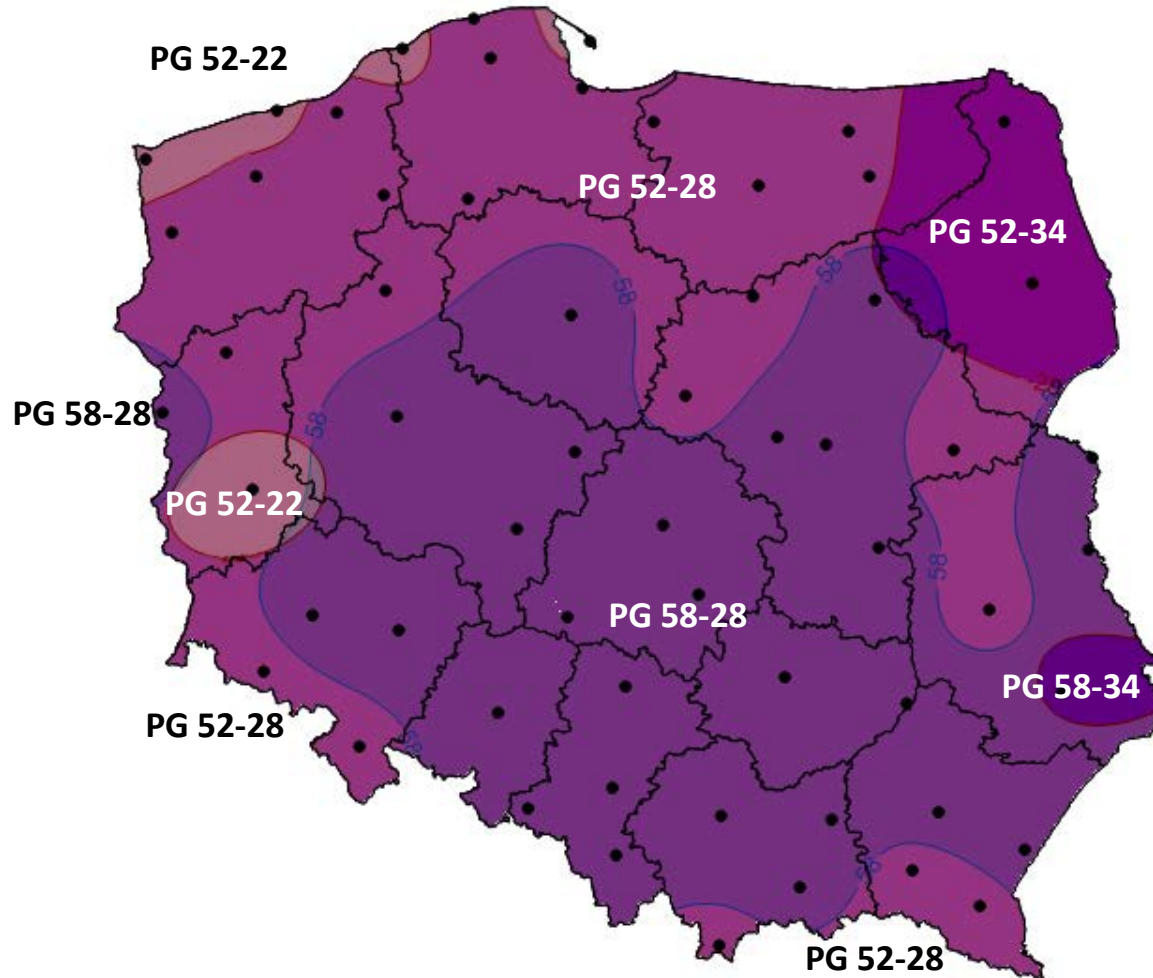
P=50% - 50% prawdopodobieństwa wystąpienia temperatur wyższych lub niższych niż podano (szansa 1 na 2 lata)

- 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%.

STREFY KLIMATYCZNE W POLSCE ZALEŻNOŚCI OD PG

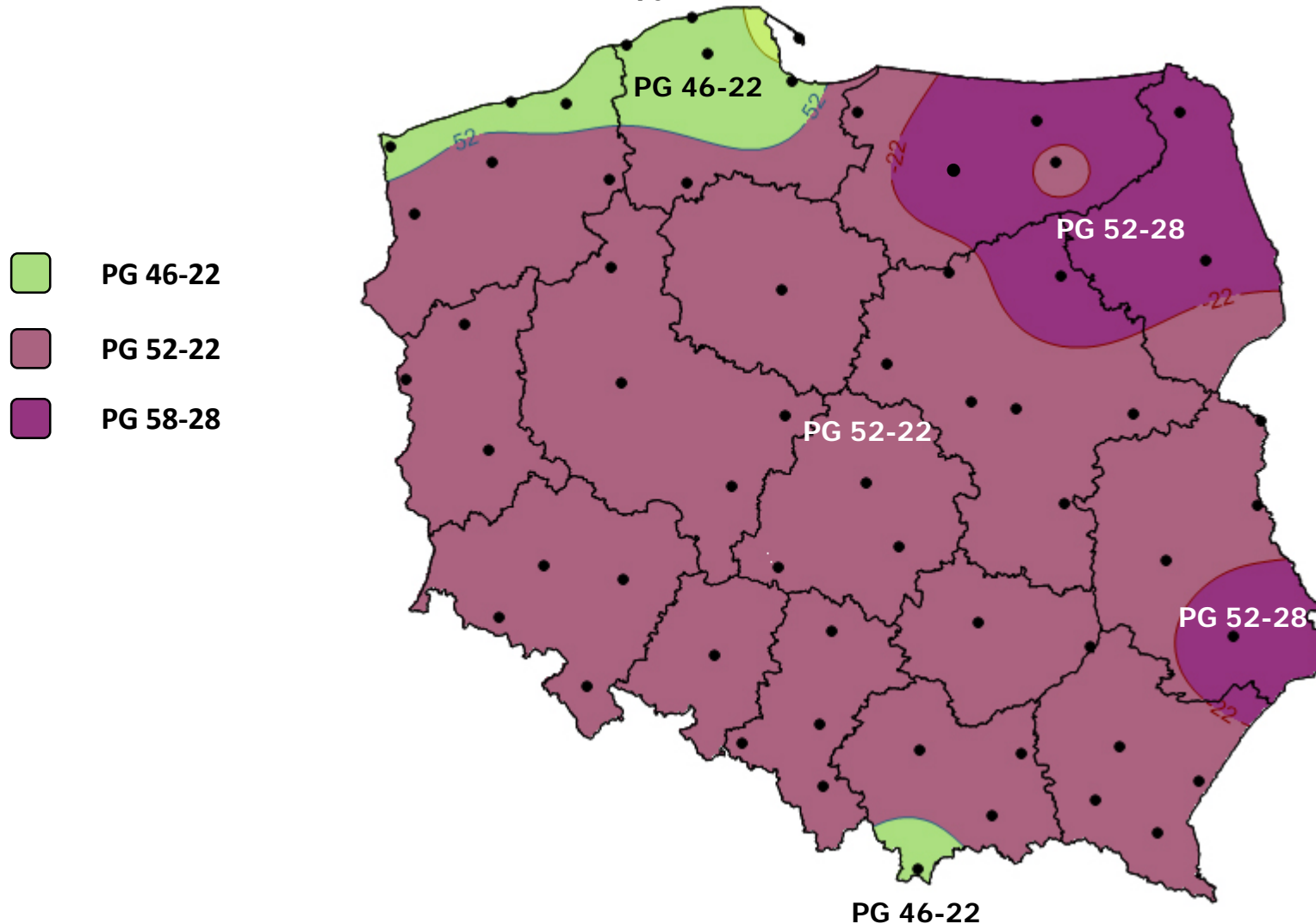
Drogi klasy A i S P=98% warstwa ścieralna

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



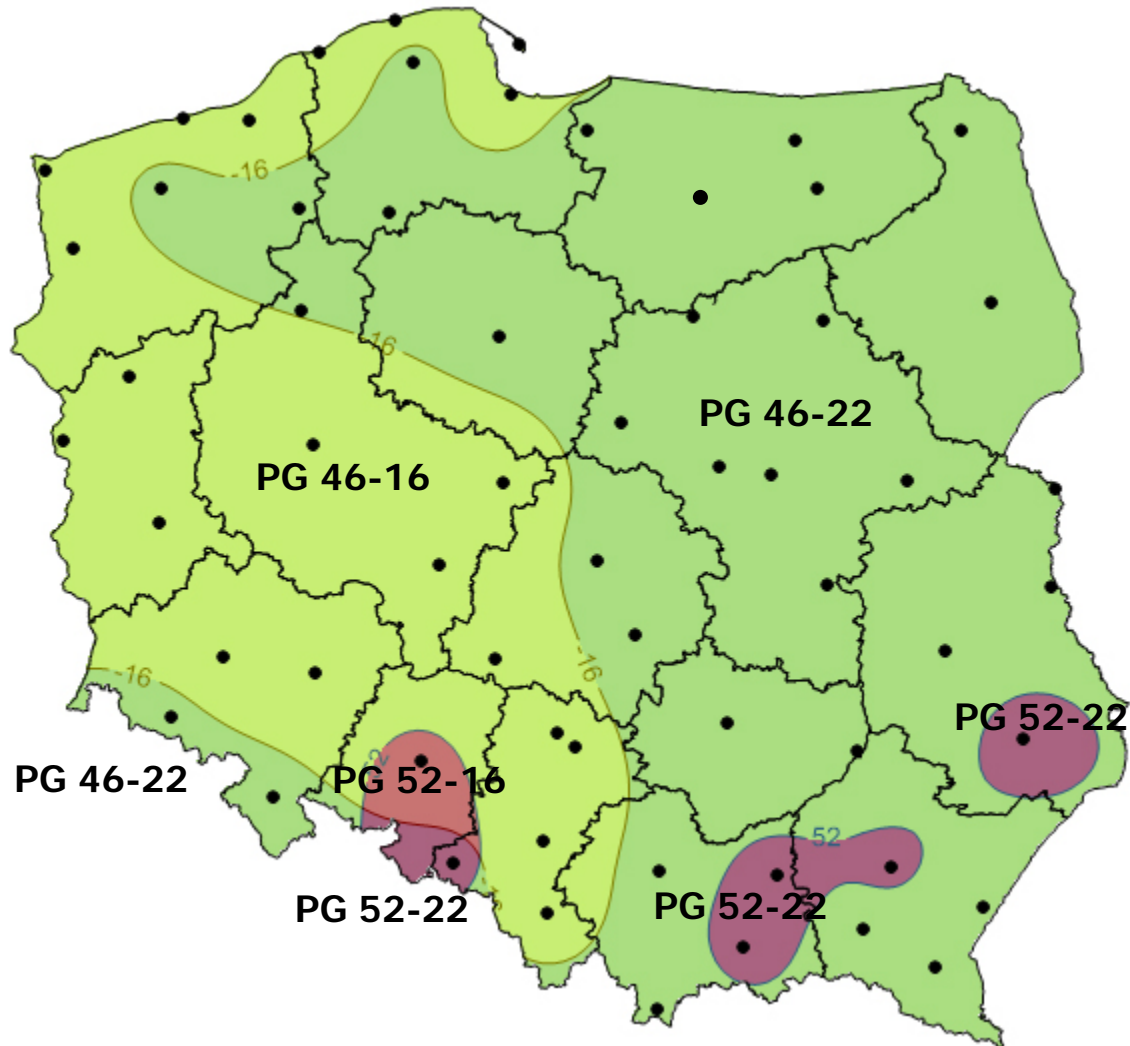
STREFY KLIMATYCZNE W POLSCE ZALEŻNOŚCI OD PG

Drogi krajowe P=80% warstwa ścieralna



Pozostałe drogi P=50% warstwa ściernalna

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



PRZYKŁAD DOBORU RODZAJU ASFALTU DO WARSTWY ŚCIERALNEJ

Zestawienie PG asfaltów do warstwy ścieralnej, wg Superpave (1995), badania Politechniki Gdańskiej:

Rodzaj asfaltu (producent)	Wysokie temperatury, badanie w DSR		Temperatura pośrednia, badanie w DSR	Niskie temperatury, badanie w BBR		Rodzaj funkcjonalny asfaltu PG
	$G^*/\sin\delta \geq 1 \text{ kPa}$ (bez starzenia)	$G^*/\sin\delta \geq 2,2 \text{ kPa}$ (po RTFOT)	$G^*\sin\delta \leq 5000 \text{ kPa}$ (po RTFOT + PAV)	$S_{60} \leq 300 \text{ MPa}$ (po RTFOT + PAV)	$m_{60} \geq 0,300$ (po RTFOT + PAV)	
70/100 (2)	58	64	22	-22	-22	58-22
50/70 (2)	64	70	24	-22	-22	64-22
45/80-55 (1)	70	70	25	-22	-22	70-22
45/80-55 (2)	76	76	22	-28	-22	76-22
45/80-80 (1)	88	82	19	-28	-22	82-22

Górne PG mocno ponad wymaganie wynikające z klimatu „sztuczne” zwiększenie ze względu na obciążenie ruchem

PRZYKŁAD DOBORU RODZAJU ASFALTU DO WARSTWY ŚCIERALNEJ

Zestawienie PG asfaltów do warstwy ścieralnej wg rozszerzonej klasyfikacji AASHTO M 332-14 (2014), badania Politechniki Gdańskiej:

Rodzaj asfaltu (producent)	Wysokie temperatury, badanie w DSR		Badanie MSCR w 58°C			Rodzaj funkcjonalny asfaltu PG
	$G^*/\sin\delta \geq 1 \text{ kPa}$ (bez starzenia)	$G^*/\sin\delta \geq 2,2 \text{ kPa}$ (po RTFOT)	S: Jnr $\leq 4,5 \text{ kPa}^{-1}$ H: Jnr $\leq 2,0 \text{ kPa}^{-1}$ V: Jnr $\leq 1,0 \text{ kPa}^{-1}$ E: Jnr $\leq 0,5 \text{ kPa}^{-1}$	S,H,V,E: Jdif $\leq 75\%$	Klasa obciążenia ruchem	
70/100 (2)	58	64	1,52	8,7%	H	58H-22
50/70 (2)	64	70	0,57	6,7%	V	58V-22
45/80-55 (1)	70	70	0,26	38%	E	58E-22
45/80-55 (2)	76	76	0,11	41%	E	58E-22
45/80-80 (1)	88	82	0,04	75%	E	58E-22

S - odpowiada obciążeniu ruchem ok KR1-KR2 i średniej prędkości pojazdów > 70 km/h

H - odpowiada obciążeniu ruchem ok KR3 lub średniej prędkości pojazdów między 20 km/h a 70 km/h

V - odpowiada obciążeniu ruchem KR4-KR7 i średniej prędkości pojazdów > 20 km/h

E - odpowiada obciążeniu ruchem KR4-KR7 i powolnemu ruchowi pojazdów < 20 km/h

- **Polskie asfalty spełniają wymagania SHRP w zakresie wysokich temperatur**
- **Brakuje asfaltów spełniających dolne kryterium PG -28 oraz PG -34**
- **Czy i w jakim stopniu oznacza to zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia spękań niskotemperaturowych na polskich drogach?**

- **Temperatura minimalna nawierzchni:**
 - im niższa tym większe naprężenia termiczne
- **Prędkość ochładzania się nawierzchni:**
 - im większa tym większe naprężenia termiczne
- **Okres utrzymywania się niskiej temperatury:**
 - twardnienie fizyczne mieszanek,
 - im dłuższy tym większe ryzyko powstania spękań niskotemperaturowych

- 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 – większe wymagania wobec asfaltów, ale mniejsze ryzyko powstania spękań niskotemperaturowych i deformacji trwałych (kolein)

- Polskie asfalty wykazują bardzo dobre właściwości w wysokich temperaturach
- Problemem jest mniejsza odporność asfaltów na działanie niskich temperatur

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!

