

NAWIERZCHNIE ASFALTOWE

Nr
2(50)/2017

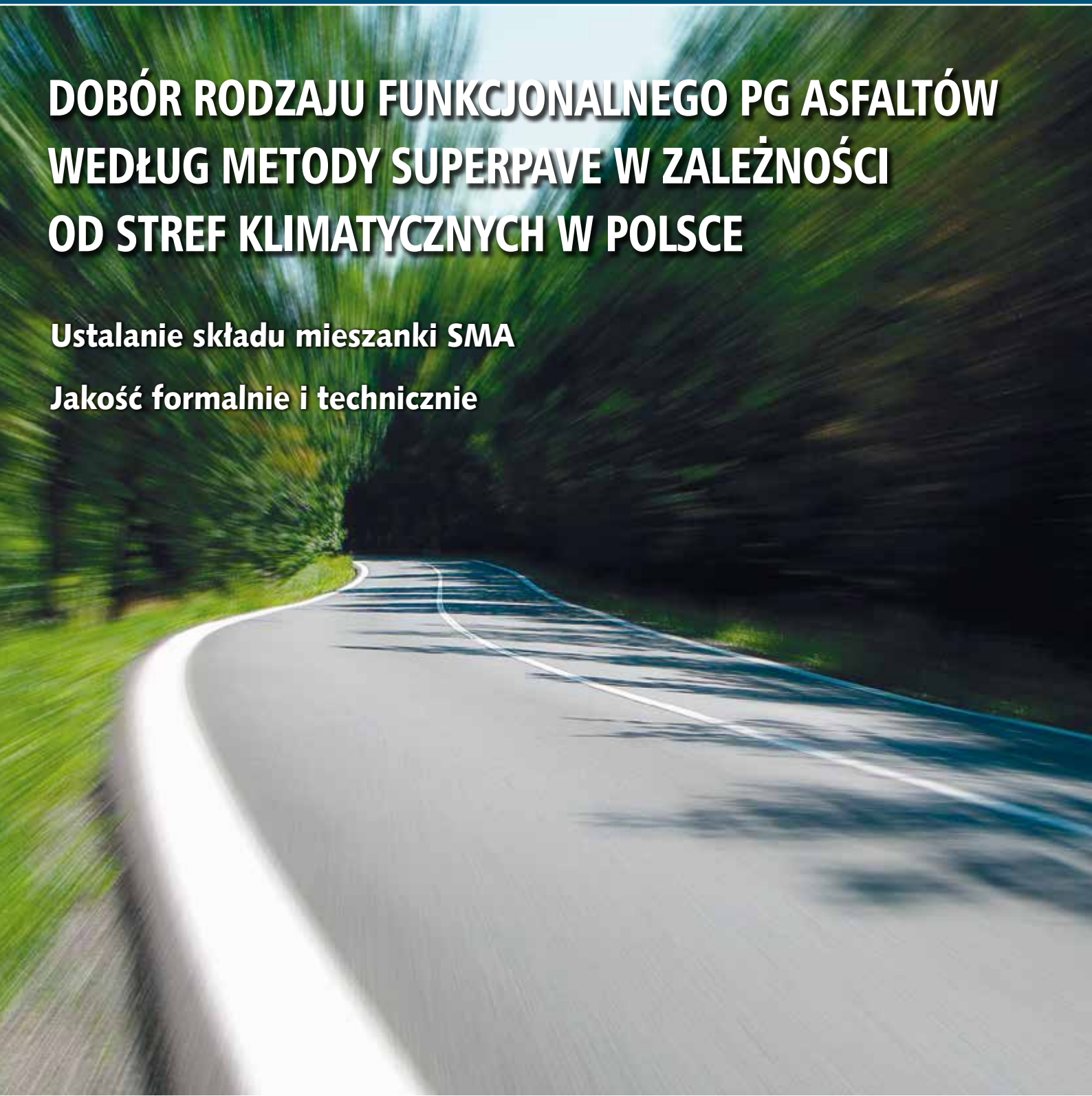
KWARTALNIK POLSKIEGO STOWARZYSZENIA WYKONAWCÓW NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH

ISSN 1734-1434

DOBÓR RODZAJU FUNKCJONALNEGO PG ASFALTÓW WEDŁUG METODY SUPERPAVE W ZALEŻNOŚCI OD STREF KLIMATYCZNYCH W POLSCE

Ustalanie składu mieszanki SMA

Jakość formalnie i technicznie



Summary:

Presently in Poland, like elsewhere in the EU, paving bitumen is analysed and classified on the basis of the penetration test at 25°C regardless of climate conditions in which it is to be ultimately used. By the end of the last century, a new system of classifying bitumen had been developed and implemented as the result of an American programme called SHRP. The idea behind introducing the new system was to adjust research methods and requirements to real life conditions that paving bitumen would face. The article presents the results of calculations that specify operating temperatures of bitumen binders in the Polish climate conditions. It proposes also how Poland may be divided into climate zones with regard to the performance grade (PG) of bitumen. The suggestions are based on climate data from 69 meteorological stations gathered during at least 20 years. The article advises how to choose the right bitumen basing on the climate conditions prevalent in a given zone in Poland and the adequate level of probability resulting from the road category for which it is to be used.

Dobór rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów według metody Superpave w zależności od stref klimatycznych w Polsce

Obecnie w Polsce, podobnie jak i w pozostałych krajach Unii Europejskiej, asfalty drogowe są badane i klasyfikowane głównie w oparciu o wynik oznaczenia penetracji w temperaturze 25°C niezależnie od warunków klimatycznych, w jakich potem mają one pracować w nawierzchni drogowej. Pod koniec ubiegłego wieku w ramach amerykańskiego programu SHRP opracowano i wdrożono nowy system klasyfikacji asfaltów. Ideą wprowadzenia nowego systemu była potrzeba lepszego dostosowania metod badań oraz wymagań dla asfaltów drogowych do rzeczywistych warunków, w jakich pracują te asfalty w nawierzchniach drogowych.

W artykule przedstawiono wyniki analiz obliczeniowych dotyczących wyznaczania temperatur pracy lepszych asfaltowych w polskich warunkach klimatycznych. Podano propozycję podziału terytorium Polski na strefy klimatyczne w zależności od wyznaczonych wartości rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów na podstawie danych klimatycznych z 69 stacji meteorologicznych oraz z okresu czasu min. 20 lat. Zaproponowano dobór asfaltu w zależności od strefy klimatycznej w Polsce, a także w oparciu o odpowiedni poziom prawdopodobieństwa wynikający z klasy danej drogi.

Szczegółowa metodyka i wyniki przeprowadzonych analiz zostały przed-

stawione w artykule pt. „Strefy klimatyczne w Polsce w zależności od wyznaczonych wartości rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów według metody Superpave”, który został złożony do publikacji w kwartalniku „Roads and Bridges – Drogi i Mosty”.

1. Wprowadzenie

W Polsce, podobnie jak i w pozostałych krajach Unii Europejskiej, asfalty drogowe są badane i klasyfikowane w oparciu o wynik oznaczenia penetracji w 25°C, niezależnie od warunków klimatycznych, w jakich te asfalty muszą pracować po wbudowaniu w nawierzchnię drogową. Zgodnie z obowiązującą normą PN-EN 12591:2010 oprócz badania

penetracji asfalty zwykle klasyfikuje się również na podstawie badań temperatury mięknięcia, temperatury łamliwości Fraassa, temperatury zapłonu, czy też badania rozpuszczalności. W przypadku asfaltów modyfikowanych elastomerem SBS, zgodnie z normą PN-EN 14023:2011/Ap1:2014-04 oprócz badań wymienionych wcześniej są to również badanie nawrotu sprężystego w 25°C, czy też badanie stabilności składowania. W latach 90-tych XX w. w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej opracowano nowy system klasyfikacji asfaltów, którego podstawę stanowią badania funkcjonalne lepszych asfaltowych. Obecnie system ten wprowadzono już w większości stanów USA

[1-14], w Kanadzie [15] oraz w niektórych krajach spoza UE np. Pakistanie [16], czy też Sri Lance [17]. Nowy system klasyfikacji asfaltów nazwany został *Performance Grade* – w skrócie PG, co można tłumaczyć jako „rodzaj funkcjonalny”. Ideą wprowadzenia nowego systemu klasyfikowania asfaltów PG było lepsze dostosowanie typów badań i wymagań do rzeczywistych warunków, w jakich pracują lepiszczka bitumiczne w nawierzchniach drogowych podczas produkcji, transportu, a przede wszystkim podczas eksploatacji nawierzchni. Klasyfikacja asfaltów według PG jest wynikiem programu badawczego SHRP (ang. *Strategic Highway Research Program*), zatwierdzonego przez Kongres USA w roku 1987 [18] celem poprawy jakości i trwałości dróg. Jednym z podstawowych zadań programu SHRP było opracowanie nowych specyfikacji asfaltowych w większym stopniu wiążących ze sobą badania laboratoryjne oraz rzeczywistą pracę asfaltu w nawierzchni. W wyniku prowadzonych analiz powstała metoda Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavements*), która w pierwotnym założeniu miała łączyć trzy elementy: metody badań asfaltów i specyfikacje asfaltowe, system projektowania i analizy mieszanek mineralno-asfaltowych. W metodzie Superpave opracowano metody badań laboratoryjnych lepiszczki asfaltowych np. DSR test (*Dynamic Shear Rheometer Test*), DTT test (*Direct Tension Test*), czy też BBR test (*Bending Beam Rheometer Test*). Opracowane metody badań laboratoryjnych asfaltów wynikły z konieczności określenia właściwości użytkowych asfaltów w temperaturach pracy nawierzchni. Opracowanie specyfikacji asfaltowych polegało na wyznaczeniu temperatur, w których w danej strefie klimatycznej pracuje asfalt i w których asfalt ten musi spełnić określone wymagania funkcjonalne.

Niniejszy artykuł powstał na podstawie prac prowadzonych w Katedrze Inżynierii Drogowej i Transportowej Politechniki Gdańskiej w ramach programu badawczego Rozwój Innowacji

Drogowych (RID-1B) pt. „Asfalty drogowe i modyfikowane w polskich warunkach klimatycznych” [19]. Program badawczy RID-1B realizowany jest w latach 2016–2018 na zlecenie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) przez trzy instytucje: Politechnikę Warszawską (instytucja kierująca), Instytut Badawczy Dróg i Mostów oraz Politechnikę Gdańską.

2. Rodzaj funkcjonalny PG asfaltów

Temperatury minimalne i maksymalne nawierzchni są podstawą do przypisania rodzaju funkcjonalnego asfaltu **PG X-Y**, gdzie:

- wartość **X** odpowiada maksymalnej temperaturze pracy asfaltu i obliczana jest jako maksymalna średnia z najwyższych dobowych temperatur warstwy nawierzchni występujących przez kolejne, następujące po sobie 7 dni w roku,
- wartość **Y** jest najniższą temperaturą występującą w danej warstwie asfaltowej.

Minimalny okres analizy wymagany do wyznaczenia temperatur nawierzchni **X** i **Y** wynosi 20 lat. Wartości rodzaju funkcjonalnego PG podawane są z krokiem co 6°C. Klasyfikację asfaltów PG według amerykańskiej normy AASHTO M 320-10 [20] przedstawiono w tablicy 1.

Przykładowo, rodzaj funkcjonalny asfaltu PG 58-16 oznacza, że lepiszczka

asfaltowe wbudowane w daną warstwę asfaltową nawierzchni pracować będzie poprawnie, tzn. bez deformacji trwałych w wysokich temperaturach i bez spękań niskotemperaturowych, przy określonym poziomie prawdopodobieństwa w przedziale temperatur od minimalnie -16°C do maksymalnie +58°C. Dla tak zdefiniowanego zakresu temperatury pracy lepiszczka musi spełnić odpowiednie wymagania, które wynikają z testów laboratoryjnych (DSR i BBR) opracowanych w ramach programu SHRP. Przykładowo, w przypadku górnej temperatury +58°C wymagane jest uzyskanie minimalnej wartości parametru $G^*/\sin\delta$ w badaniu w reometrze dynamicznego ścinania DSR w temperaturze badania +58°C. W przypadku minimalnej temperatury lepiszczka badane w teście reometru zginanej belki BBR musi uzyskać wymagane minimalne wartości parametrów *S* i *m* w temperaturze o 10°C wyższej od minimalnej temperatury nawierzchni, czyli jeżeli przykładowa dolna temperatura PG wynosi -16°C to temperatura testu BBR, w której asfalt musi spełnić wymagania wynosi -6°C.

W Polsce pierwsze prace dotyczące możliwości zastosowania klasyfikacji asfaltów w oparciu o rodzaj funkcjonalny PG prowadzone były przez zespół prof. Sybilskiego z Instytutu Badawczego Dróg i Mostów już pod koniec lat 90-tych XX w. [21, 22]. Wynikiem tych prac było opracowanie stref klimatycznych stosowania dane-

Tablica 1. Klasyfikacja asfaltów na podstawie rodzaju funkcjonalnego PG, wg AASHTO M 320-10, [20]

Rodzaj funkcjonalny PG	
PG X – maksymalna temperatura pracy asfaltu, [°C]	PG Y – minimalna temperatura pracy asfaltu, [°C]
< 46	> -34; > -40; > -46;
< 52	> -10; > -16; > -22; > -28; > -34; > -40; > -46;
< 58	> -16; > -22; > -28; > -34; > -40;
< 64	> -10; > -16; > -22; > -28; > -34; > -40;
< 70	> -10; > -16; > -22; > -28; > -34; > -40;
< 76	> -10; > -16; > -22; > -28; > -34;
< 82	> -10; > -16; > -22; > -28; > -34;

go rodzaju funkcjonalnego PG na terytorium Polski. W tamtym czasie analiza została przeprowadzona w oparciu o dane pomiarowe z 59 polskich stacji meteorologicznych z okresu 5 lat (od 1994 do 1998), co stanowiło istotne ograniczenie przeprowadzonych analiz rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów. Oryginalna metoda Superpave [18] zakłada, że ze względów statystycznych długość okresu analizy, z jakiego wymagane są dane temperaturowe powietrza nie powinna być krótsza niż 20 lat.

3. Metodyka wyznaczenia maksymalnych i minimalnych temperatur do klasyfikacji PG

Zgodnie z oryginalną metodą Superpave do określenia wymaganych wartości PG na terytorium Stanów Zjednoczonych i Kanady wykorzystano dane z 6096 stacji meteorologicznych, dla których pierwotnie okres pomiaru temperatury wynosił od co najmniej 20 lat do nawet 89 lat. Ze względów praktycznych i statystycznych do wyznaczania rodzaju funkcjonalnego PG ograniczono zakres analizowanych danych do maksymalnie 30 ostatnich lat. W metodzie analizy uwzględniono prawdopodobieństwo wystąpienia minimalnych i maksymalnych temperatur powietrza. Początkowo przyjmowano tylko 2 poziomy prawdopodobieństwa: 50% i 98%. W trakcie dalszych prac i weryfikacji metody dopuszczono stosowanie również innych poziomów prawdopodobieństwa, np. 85%, czy też 95%. Prawdopodobieństwo 50% oznacza, że dana minimalna bądź maksymalna temperatura powietrza może wystąpić co drugi rok. Prawdopodobieństwo 98% oznacza, że minimalna bądź maksymalna temperatura powietrza może wystąpić raz na 50 lat. Przeliczenie temperatury powietrza na temperaturę nawierzchni oparto o teoretyczny model przepływu ciepła i zachowania energii cieplnej w nawierzchni. Model ten został zweryfikowany z pomiarami terenowymi temperatury powie-

trza i nawierzchni, które potwierdziły dużą zbieżność modelu teoretycznego z pomiarami w terenie, jednak badania oparto na stosunkowo niewielkiej liczbie punktów pomiarowych [23, 24]. Do obliczenia górnej (maksymalnej) temperatury PG w danej warstwie asfaltowej zastosowano następującą zależność:

$$T_{max}^d = 54,32 + 0,78 \cdot T_{air} - 0,0025 \cdot \square^2 - 15,14 \cdot \log_{10}(d+25) + z(9 + 0,61(\sigma_{air})^2)^{0,5} \quad (1)$$

gdzie:

- T_{max}^d – maksymalna temperatura w nawierzchni na głębokości d , górna wartość PG, [°C]
- T_{air} – średnia obliczona z maksymalnych średnich 7-dniowych najwyższych temperatur powietrza wyznaczonych w poszczególnych latach, [°C]
- \square – szerokość geograficzna stacji meteorologicznej, [°]
- d – głębokość obliczeniowa temperatury warstwy, zgodnie z rys. 1, [mm]
- σ_{air} – odchylenie standardowe obliczone z maksymalnych średnich 7-dniowych najwyższych temperatur powietrza wyznaczonych w poszczególnych latach, [°C]
- z – wielkość statystyczna, wynikająca z rozkładu normalnego wartości temperatury, np.
 - $z = 0$ dla $P = 50\%$,
 - $z = 1,04$ dla $P = 85\%$,
 - $z = 1,65$ dla $P = 1,65$ oraz
 - $z = 2,05$ dla $P = 98\%$.

Do obliczenia dolnej (minimalnej) temperatury PG w danej warstwie asfaltowej zastosowano następującą zależność:

$$T_{min}^d = -1,56 + 0,72 \cdot T_{air} - 0,004 \cdot \square^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(d+25) - z \frac{\sigma_{air}}{(air)^2} \quad (2)$$

gdzie:

- T_{min}^d – minimalna temperatura nawierzchni na głębokości d , [°C]
- T_{air} – średnia obliczona z minimalnych rocznych temperatur powietrza, [°C]
- \square – szerokość geograficzna stacji meteorologicznej, [°]

- d – głębokość obliczeniowa temperatury warstwy, zgodnie z rys. 1, [mm]
- σ_{air} – odchylenie standardowe obliczone z minimalnych rocznych temperatur powietrza w poszczególnych latach, [°C]
- z – wielkość statystyczna, wynikająca z rozkładu normalnego temperatury, wartości analogicznie jak dla temperatury maksymalnej.

Głębokość obliczeniową temperatury warstwy d należy dobierać w przypadku określenia maksymalnej temperatury poziom o 20 mm od powierzchni w głąb danej warstwy, natomiast w przypadku określenia minimalnej temperatury jako powierzchnię danej warstwy.

Do analizy rozkładu temperatury na grubości warstw asfaltowych przyjęto typowe konstrukcje nawierzchni zgodnie z *Katalogiem typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych* [25] – typ A1 (z podbudową zasadniczą z mieszanki niezwiązanej z kruszywem $C_{90/3}$). Dla ruchu lekkiego jako reprezentatywną przyjęto typową konstrukcję nawierzchni dla kategorii ruchu KR2, dla ruchu średniego – KR4 i dla ruchu ciężkiego – KR6.

4. Analiza temperatury powietrza w Polsce

4.1 Dane pomiarowe wykorzystane do analizy

Dane temperaturowe wymagane do obliczenia rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów uzyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Dane te obejmowały wszystkie dostępne stacje meteorologiczne zlokalizowane na terytorium Polski oraz okres pomiaru danych klimatycznych od 1 stycznia 1986 roku do 31 grudnia 2015 roku. Ostatecznie do dalszych analiz przyjęto 61 stacji meteorologicznych zlokalizowanych równomiernie na terytorium Polski. Z bazy tej wyznaczono minimalne i maksymalne temperatury powietrza w kolejnych latach od 1986 do 2015 r.

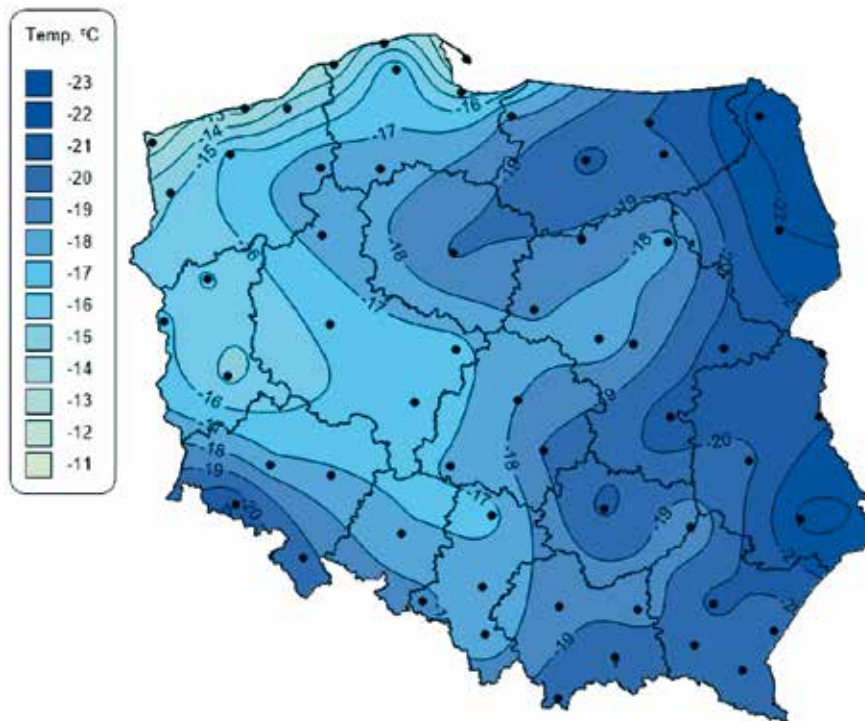
4.2 Minimalna i maksymalna temperatura powietrza

Minimalna wartość temperatury powietrza wyznaczana była jako najniższa zarejestrowana temperatura powietrza w każdym analizowanym roku. Na rysunku 1a przedstawiono mapę z wynikami obliczeń średniej z minimalnych temperatur powietrza dla poszczególnych stacji meteorologicznych w Polsce. Przedział temperatur minimalnych wynosi od -11°C w pasie nadmorskim do -22°C na Podlasiu i Lubelszczyźnie.

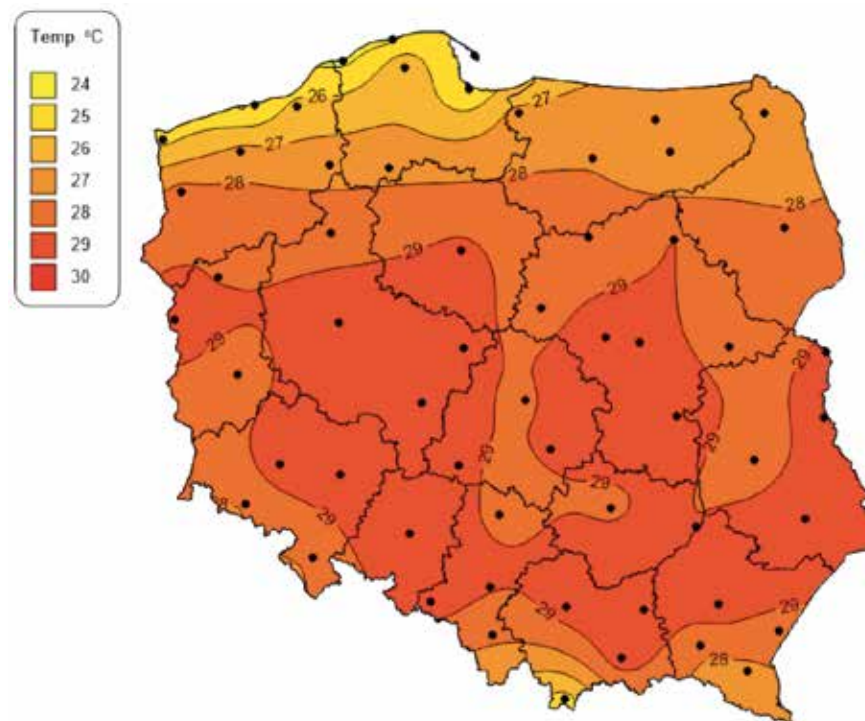
Maksymalne wartości temperatury powietrza wyznaczano jako średnią ruchomą z obliczanych najwyższych temperatur powietrza w ciągu następujących po sobie 7 kolejnych dni. Mapę z wynikami obliczeń maksymalnych temperatur powietrza dla poszczególnych stacji meteorologicznych w Polsce przedstawiono na rysunku 1b. Przedział temperatur maksymalnych wynosi od 24°C w pasie nadmorskim do 30°C na znacznym obszarze części centralnej i południowej Polski.

4.3 Dobór poziomu prawdopodobieństwa

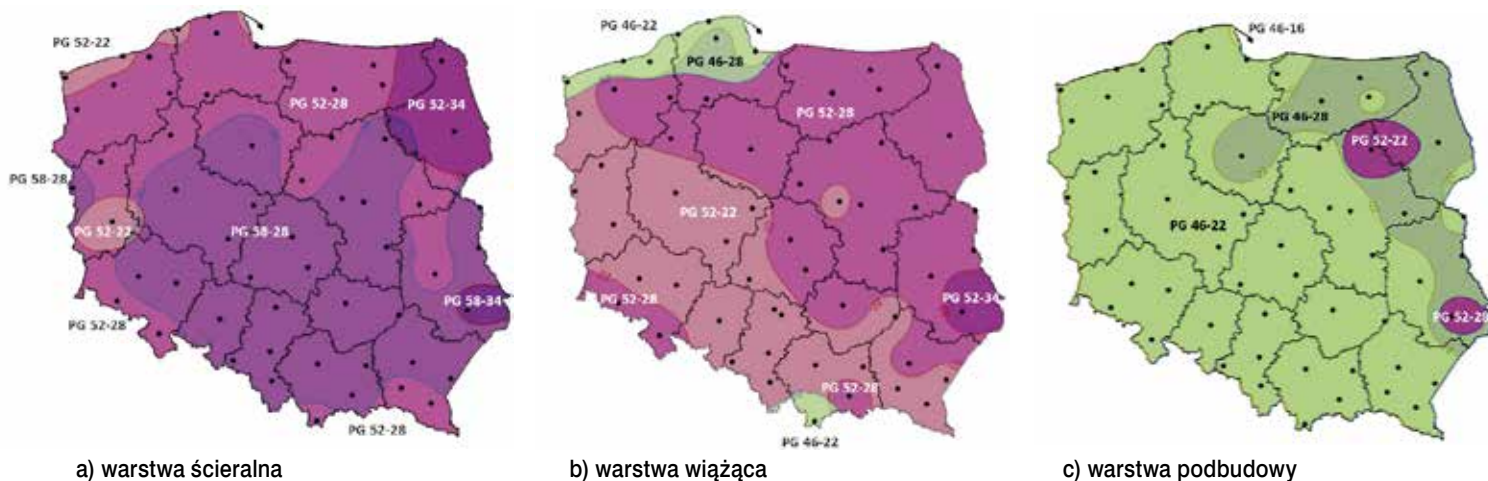
Dobór właściwego poziomu prawdopodobieństwa dla danej klasy technicznej drogi powinien uwzględniać aspekt ryzyka wystąpienia temperatur bardziej niekorzystnych i wynikających z tego



Rys. 1a. Zakresy temperaturowe wyznaczone na podstawie wartości średnich z minimalnych rocznych temperatur powietrza z okresu 30 lat



Rys. 1b. Zakresy temperaturowe wyznaczone na podstawie maksymalnych średnich 7-dniowych z najwyższych temperatur powietrza z okresu 30 lat



Rys. 2. Strefy klimatyczne doboru rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów dla autostrad i dróg ekspresowych, poziom prawdopodobieństwa $P = 98\%$



Rys. 3. Strefy klimatyczne doboru rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR3–KR7, poziom prawdopodobieństwa $P = 80\%$

konsekwencji dla stanu nawierzchni, ale również aspekt ekonomiczny i możliwości technologiczne produkcji asfaltów spełniających wymagania dla danych wartości PG. Przyjęcie większego poziomu prawdopodobieństwa powoduje konieczność produkcji droższych asfaltów (np. asfaltów modyfikowanych), ale jednocześnie będzie skutkowało mniejszym prawdopodobieństwem powstania spękań niskotemperaturowych i kolein. Podczas prac prowadzonych na Politechnice Gdańskiej opracowano rodzaj funkcjonalny PG asfaltów dla różnych poziomów prawdopo-

dobieństwa: 50%, 80%, 85%, 90%, 95%, 98%. Ocenie poddano m.in. wpływ przyjętego poziomu prawdopodobieństwa na obecną dostępność asfaltów na polskim rynku. Wstępnie zaproponowano, aby przyjąć dla Polski następujące poziomy prawdopodobieństwa do wyznaczenia rodzaju funkcjonalnego asfaltów:

$P = 98\%$ dla autostrad i dróg ekspresowych,

$P = 80\%$ dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR3–KR7,

$P = 50\%$ dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR1–KR2.

5. Wyznaczenie stref klimatycznych na terytorium Polski na podstawie temperatur nawierzchni

Strefy wyznaczono osobno dla poszczególnych klas dróg i odpowiadających im poziomów prawdopodobieństwa oraz osobno dla poszczególnych warstw asfaltowych: ścieralnej, wiążącej i podbudowy. Strefy klimatyczne doboru rodzaju funkcjonalnego PG dla autostrad i dróg ekspresowych ($P = 98\%$) przedstawiono na rysunku 2. Strefy klimatyczne doboru ro-

dzaju funkcjonalnego PG dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR3–KR7 (P = 80%) przedstawiono odpowiednio na rysunku 3, natomiast dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR1–KR2 (P = 50%) na rysunku 4.

Rodzaje asfaltów dostępne na polskim rynku według klasyfikacji PG

Na podstawie przeprowadzonych analiz obliczeniowych i wyznaczonych stref klimatycznych wymaganego rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów przygotowano porównanie wymaganych i dostępnych w Polsce asfaltów w zależności od klasyfikacji PG. Porównanie to dla warstwy ścieralnej i przykładowych poziomów prawdopodobieństwa 98%, 80% oraz 50% przedstawiono w tabelcy 2.

Przedstawione w tabelcy 2 zestawienie dla warstwy ścieralnej wymaganych i dostępnych asfaltów według rodzaju funkcjonalnego PG wyraźnie pokazuje brak na polskim rynku asfaltów PG 58-34 oraz PG 58-28. Zgodnie z klasyfikacją PG i procedurą obliczania rodzaju funkcjonalnego według metody Superpave produkowane obecnie (dane z roku 2016) asfalty, zarówno zwykłe, jak i modyfikowane, nie spełniają wymagań polskiego klimatu dla autostrad i dróg ekspresowych (poziom prawdopodobieństwa 98%). W przypadku pozostałych dróg KR3–KR7 (poziom prawdopodobieństwa 80%) brak jest asfaltu zwykłego, przy dostępnym na rynku asfalcie modyfikowanym PmB 65/105-60 (PG 64-28). Należy przy tym wyraźnie zaznaczyć, że wiąże się to przede wszystkim z niewystarczającą odpornością produkowanych asfaltów na niskie, zimowe temperatury, jakie występują w polskim klimacie.

Podniesienie górnej wartości temperatury PG X ze względu na obciążenie ruchem drogowym

W metodzie Superpave [18] zwiększone obciążenie ruchem drogowym jest uwzględniane poprzez podniesienie



Rys. 4. Strefy klimatyczne doboru rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR1–KR2, poziom prawdopodobieństwa P = 50%

Tablica 2. Zestawienie wymaganych i dostępnych asfaltów według rodzaju funkcjonalnego PG dla warstwy ścieralnej oraz dostępnych na polskim rynku, według danych jednego z producentów na rok 2016 [26]

Wymagane PG wg przeprowadzonych analiz	Autostrady i drogi ekspresowe P = 98%	Pozostałe drogi kategorii ruchu KR3–KR7 P = 80%	Pozostałe drogi kategorii ruchu KR1 i KR2 P = 50%
	Dostępne rodzaje asfaltów, wg jednego z polskich producentów, dane na rok 2016 [26]		
PG 58-34	Brak		
PG 58-28	Brak		
PG 52-28	Brak, PmB 65/105-60 (PG 64-28)	Brak, PmB 65/105-60 (PG 64-28)	
PG 52-22	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) PmB 25/55-60 (PG 76-22) PmB 45/80-55 (PG 70-22) PmB 45/80-65 (PG 72-22)	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) PmB 25/55-60 (PG 76-22) PmB 45/80-55 (PG 70-22) PmB 45/80-65 (PG 72-22)	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) PmB 25/55-60 (PG 76-22) PmB 45/80-55 (PG 70-22) PmB 45/80-65 (PG 72-22)
PG 52-16	wszystkie jw.	wszystkie jw.	20/30 (PG 82-16) 35/50 (PG 70-16, 76-16) 70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) wszystkie PmB
PG 46-22	wszystkie jw.	wszystkie jw.	70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) wszystkie PmB jw.
PG 46-16	wszystkie jw.	35/50 (PG 70-16) wszystkie jw.	20/30 (PG 82-16) 35/50 (PG 70-16, 76-16) 70/100 (PG 58-22) 50/70 (PG 64-22) wszystkie PmB jw.

górną temperaturę PG X, co wynika z wpływu, jaki ma ta temperatura na zwiększenie ryzyka powstania deformacji trwałych warstw asfaltowych. W zależności od przewidywanego ruchu projektowego oraz średniej prędkości pojazdów górna wartość temperatury PG X jest podnoszona o 1 lub 2 poziomy, czyli odpowiednio o 6°C lub 12°C. Możliwość podniesienia wartości PG X zależy od decyzji zarządcy drogi.

Podsumowanie i wnioski

Podsumowując przeprowadzone prace i analizy można sformułować następujące wnioski:

Na podstawie danych meteorologicznych z 61 stacji działających nieprzerwanie w okresie od 20 do 30 lat określono przedziały temperatur pracy nawierzchni asfaltowych, uwzględniając rozkład temperatury na głębokości nawierzchni (tj. dla warstwy ścieralnej, wiążącej i podbudowy oddzielnie). Uzyskano podział terytorium Polski na strefy klimatyczne w zależności od wyznaczonych wartości rodzaju funkcjonalnego asfaltów na podstawie danych klimatycznych.

Ostatecznie przyjęto następujące poziomy prawdopodobieństwa do określenia stref klimatycznych doboru rodzaju funkcjonalnego PG w Polsce:

- P = 98% dla autostrad i dróg ekspresowych,
- P = 80% dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR3–KR7,
- P = 50% dla pozostałych dróg o kategorii ruchu KR1–KR2.

Dobór rodzaju funkcjonalnego asfaltów oprócz klimatu może dodatkowo uwzględnić obciążenie nawierzchni ruchem. Jednak decyzja o podniesieniu wartości PG X o jedną lub dwie klasy należy ostatecznie do zarządcy drogi.

Przedstawione zestawienie dla warstwy ścieralnej wymaganych i dostępnych asfaltów klasyfikowanych według rodzaju funkcjonalnego PG wyraźnie pokazuje brak na polskim rynku asfaltów PG 58-34 oraz PG 58-28, jakie są wymagane dla poziomu prawdopodobieństwa 98% dla autostrad i dróg ekspresowych. Wiąże się to przede wszystkim

z niewystarczającą odpornością produkowanych asfaltów na niskie, zimowe temperatury, jakie występują w polskim klimacie. ■

W prace nad doбором rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów w polskich warunkach klimatycznych duży wkład miał śp. prof. Józef Judycki.

Spis literatury:

- [1] Asphalt Binder and Mix Specification Update Reference Guide. Iowa Department of Transportation, Asphalt Paving Association of Iowa, 2016.
- [2] Santucci L., *Performance Graded (PG) Polymer Modified Asphalts in California*. University of California Berkeley, 2006.
- [3] Guideline for the Design and Use of Asphalt Pavements for Colorado Roadways. Colorado Asphalt Pavement Association, January 2006.
- [4] Pavement Technology Advisory – Performance Graded Binder Materials for Hot Mix Asphalt – PTA-D4, Design, Construction and Materials. Illinois Department of Transportation (Eff. 02/2005) Bureau of Materials and Physical Research, 2005.
- [5] Local Agency Programs Hot Mix Asphalt (HMA) Selection Guidelines. Michigan Asphalt Pavement Association, 2009.
- [6] Comprehensive Guide to PG Asphalt Binder Selection in Minnesota. Minnesota Asphalt Pavement Association, 2008.
- [7] Characterisation of Nevada's Binders and Low Temperature Properties of Mixtures Using SHRP Tests. Part II Characterization of Nevada's Binders Using SuperPave Technology. NDOT Research Report, Report No RDT99-002, 1999.
- [8] Evaluation of Plus Grades of Performance Graded (PG) Asphalt Binder. Research Bureau, New Mexico Department of Transportation, Report NM14-MSC-01-008, 2014.
- [9] Leahy R. B., Cramer S. B., *Superpave Binder Implementation Final Report SPR 353*. Oregon State University, January 1999.
- [10] Prowell B. D., *Selection and Evaluation of Performance-Graded Asphalt Binders for Virginia, Final Report*. Virginia Transportation Research Council, Virginia Department of Transportation and the University of Virginia, June 1999.
- [11] Leahy R. B., Briggs R. N., *Superpave – Washington DOT's Assessment and Status, Report No. WA-RD 486.1*. Washington Department of Transportation, December 1999.
- [12] Guide for Specifying Asphalt Pavements for Local Governments (Using INDOT Standard Specifications Section 402). Asphalt Pavement Association of Indiana, 2009.
- [13] Nam K., Bahia H. U., *Development of Guidelines for PG Binder Selection for Wisconsin, WisDOT Highway Research Study 0092-01-01*. University of Wisconsin – Madison, Wisconsin Department of Transportation, December 2004.
- [14] Floyd J., Golden K., McMurry R., *Standard Specifications Construction of Transportation Systems*. Georgia Department of Transportation, April 2013.
- [15] Mills B. N., Tighe S. L., Andrey J., Smith J. T., Huen K., *Climate Change Implications for Flexible Pavement Design and Performance in Southern Canada*. „Journal of Transportation Engineering”, ASCE, October 2009.
- [16] Waseem Mirza M., Abbas Zahid, Ali Rizvi M., *Temperature Zoning of Pakistan for Asphalt Mix Design*. Pak. J., Engg. & Appl. Sci. Vol. 8, Jan. 2011 (p. 49-60).
- [17] Mamppearachchi W. K., Mihirani G. S., Binduhewa B. W. P., Lalithya G. D. D., *Review of Asphalt Binder Grading Systems for Hot Mix Asphalt Pavements in Sri Lanka*. University of Moratuwa, 2012.
- [18] Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Asphalt Institute, Superpave Series No. 1 (SP-1), 1995.
- [19] Jaskuła P., Pszczoła M., Judycki J., Ryś D., Dołycki B., Jaczewski M., *Asfalty drogowe i modyfikowane w polskich warunkach klimatycznych. Zadanie 1: ocena warunków klimatycznych Polski w aspekcie doboru rodzaju funkcjonalnego asfaltu do warstw nawierzchni drogowych*. Raport badawczy z Zadania 1, grantu RID nr: OT1-1B/PW-PG-IBDiM. Politechnika Gdańska, grudzień 2016.
- [20] AASHTO M 320-10: Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder.
- [21] Sybilski D., Mirski K., *Dobór asfaltu do nawierzchni w polskich warunkach klimatycznych z uwzględnieniem procedur SHRP/Superpave*. Referaty VI Międzynarodowa Konferencja „Trwale i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe”. Kielce, 9–10 maja 2000.
- [22] Sybilski D., *Zastosowanie metod SHRP do oceny nawierzchni dróg w Polsce*. Zeszyt 50: „Studia i materiały”. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2000. ISSN 0239-8575.
- [23] Solaimanian M., Bolzan P., *Analysis of the Integrated Model of Climatic Effects on Pavements*. Report No. SHRP-A-637, Strategic Highway Research Program. National Research Council, Washington, D.C., 1993.
- [24] Solaimanian M., *Development of SHRP Asphalt Research Program Climatic Databases*. Report SHRP-A-685, Strategic Highway Research Program. National Research Council, Washington, D.C., 1994.
- [25] GDDKiA, *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*. Zarządzenie nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- [26] Orlen Asfalt, *Poradnik Asfaltowy 2016*.
- [27] Pszczoła M., Ryś D., Jaskuła P., *Strefy klimatyczne w Polsce w zależności od wyznaczonych wartości rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów według metody Superpave*. „Roads and Bridges – Drogi i Mosty”. Artykuł przekazany do publikacji.

Pszczoła Marek; Ryś Dawid; Jaskuła Piotr
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej
mpszczol@pg.edu.pl; dawrys@pg.edu.pl; piask@pg.edu.pl;