

MIROSLAW GRACZYK¹⁾

WSPÓŁCZYNNIKI SEZONOWOŚCI DLA NAWIERZCHNI DRÓG W POLSKICH WARUNKACH KLIMATYCZNYCH

STRESZCZENIE. W artykule przedstawiono wyniki badań nad określeniem współczynników sezonowości przy wyznaczaniu nośności konstrukcji nawierzchni urządzeniami: FWD (Ugięciomierz Dynamiczny) i BB (Belka Benkelmana). Analizę sezonowości przeprowadzono dla warunków klimatu Polski przez wybór reprezentatywnych: nawierzchni, warunków gruntowo-wodnych i regionów klimatycznych na terenie całego kraju. Wielkość ugięć jest zależna przede wszystkim od parametrów podstawowych tj. rodzaju i stanu konstrukcji, grubości poszczególnych warstw i całości nawierzchni, jak również podłoża gruntowego. Na wielkość ugięć mają wpływ także temperatura warstw, wilgotność oraz okres wykonania badań. Czas wykonywania badań można scharakteryzować stanem warunków gruntowo - wodnych w podłożu konstrukcji oraz wilgotnością i temperaturą materiałów całej nawierzchni. Okresy, dla których te charakterystyki są na podobnym poziomie, określono sezonami. Wiosna jest podstawowym sezonem do wykonywania badań, a inne pory roku są sprowadzone do tego okresu podstawowego poprzez współczynniki sezonowości.

W celu określenia wartości współczynników sezonowości na terenie Polski, w różnych regionach kraju, prowadzone były przez trzy lata badania ugięć nawierzchni. Jedną z obowiązujących metod wymiarowania konstrukcji, zgodnie z „Katalogiem wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych” [1] jest metoda ugięć. Wyznaczenie ugięcia obliczeniowego związane jest z prawidłowo wyznaczonymi, bądź przyjętymi współczynnikami, sprowadzającymi warunki pomiaru do warunków standardowych. Jednym z współczynników niezbędnym do wyznaczenia ugięcia obliczeniowego jest tzw. współczynnik sezonowości,

¹⁾ dr inż. – Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

korygujący ugięcia ze względu na porę roku, w której wykonano pomiary do warunków wiosennych. W określeniu rzeczywistych ugięć istotne jest, żeby uzyskiwane wartości ugięć, niezależnie od sezonu, były określone dla takich samych warunków. Taką sytuację zachowujemy stosując współczynniki temperaturowe i sezonowości.

1. WPROWADZENIE

Dla określania nośności konstrukcji nawierzchni drogowych i lotniskowych stosuje się pomiar ugięć jej powierzchni. Pomiary można wykonywać np. belką Benkelmana, ugięciomierzem dynamicznym FWD (ang. *Falling Weight Deflectometer*) czy ugięciomierzem HSD (ang. *High Speed Deflectograph*). Wielkość ugięć jest zależna przede wszystkim od parametrów podstawowych tj. rodzaju i stanu konstrukcji, grubości poszczególnych warstw i całości nawierzchni, podłoża gruntowego. Na wielkość ugięć mają wpływ także temperatura warstw, wilgotność oraz okres wykonania badań. Okres wykonywania badań można scharakteryzować stanem warunków gruntowo-wodnych w podłożu konstrukcji jak i wilgotnością i temperaturą materiałów całej nawierzchni. Okresy dla których te charakterystyki są na podobnym poziomie, określono sezonami. W określeniu rzeczywistych ugięć istotne jest aby, żeby uzyskiwane wynikowe wartości ugięć, były niezależne od sezonu i temperatury. Taką sytuację zachowujemy stosując odpowiednie współczynniki temperaturowe i sezonowości.

W Polsce dla uwzględnienia wpływu temperatury na wielkość ugięć, już od kilku lat stosowane są wzory na przeliczenie do temperatury odniesienia 20 °C. Natomiast nieokreślony został dotąd wpływ sezonowości na zmienność wielkości ugięć powierzchni konstrukcji.

Celem pracy było określenie wartości liczbowych współczynnika sezonowości dla poszczególnych okresów w roku przy uwzględnieniu stref klimatycznych i położenia geograficznego. Określenie współczynników sezonowości wyeliminuje przede wszystkim dowolność w szacowaniu wartości tego współczynnika, który wpływa w sposób bardzo istotny na ugięcia obliczeniowe a w konsekwencji na obliczaną rzeczywistą nośność nawierzchni. Prezentowane w pracy wyniki będą wykorzystywane powszechnie w pomiarach i obliczeniach ugięć miarodajnych nawierzchni głównie przez firmy projektowe budownictwa drogowego – w projektowaniu nawierzchni metodą mechanistyczną.

Jedną z obowiązujących metod wymiarowania konstrukcji, zgodnie z [1], jest metoda ugięć. Wyznaczenie ugięcia obliczeniowego związane jest z prawidłowo wyznaczonymi, bądź przyjętymi współczynnikami, sprowadzającymi warunki pomiaru do warunków standardowych. Jednym z współczynników niezbędnym do wyznaczenia ugięcia obliczeniowego było tzw. współczynnik sezonowości, korygujący ugięcia ze względu na porę roku, w której wykonano pomiary. Jak dotąd nie udało się określić w Polsce wielkości współczynnika [2] i obecnie wartość tego współczynnika przyjmuje się jako 1,0, gdy pomiary zostały wykonane wiosną (najbardziej krytyczna pora ze względu na nośność nawierzchni). W przypadku gdy pomiary zostały wykonane w innej porze roku, wartość tego współczynnika należy przyjmować większą od 1,0 – na

podstawie doświadczeń projektanta. Subiektywne szacowanie tego współczynnika na podstawie lokalnych czynników klimatycznych, gruntowo-wodnych i w zależności od konstrukcji nawierzchni dla różnych miesięcy prowadzi do dużych błędów przy wyznaczaniu ugięcia obliczeniowego. Uzyskane wyniki badań pozwolą na dokładniejszą analizę wyników pomiarów ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym oraz urządzeniem FWD.

2. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH W POLSCE

2.1. OPIS KLIMATU

Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego ze zróżnicowanym wpływem klimatu morskiego a lądowego. Jest on efektem ścierania się mas wilgotnego powietrza znad Atlantyku z suchym powietrzem z głębi kontynentu euroazjatyckiego. W efekcie klimat Polski odznacza się dużą zmiennością pogody i znacznymi różnicami w przebiegu pór roku w następujących po sobie latach. Zaznacza się to zwłaszcza charakterze zim, które są bądź wilgotne, typu oceanicznego, bądź – rzadziej – pogodne, typu kontynentalnego. Generalnie w Polsce północnej i zachodniej przeważa klimat umiarkowany morski z łagodnymi, wilgotnymi zimami i chłodnymi latami z dużą ilością opadów, natomiast we wschodniej części kraju zaznacza się kontynentalizm klimatu, z ostrymi zimami oraz gorętszymi i bardziej suchymi latami.

2.2. OPADY

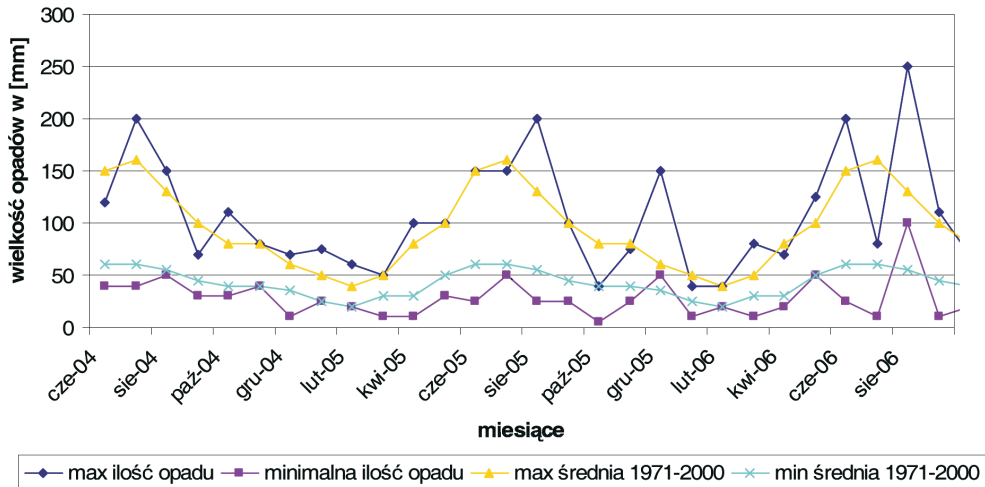
Widocznymi efektami ścierania się mas powietrza nad Polską jest zachmurzenie. Ilość dni z zachmurzeniami waha się między 60 a 70 %, czyli jest dość duże. Zachmurzenie stwarza możliwość wystąpienia opadów. Najwięcej chmur spowija polskie niebo w listopadzie, zaś najmniej w okolicach sierpnia i września. Rozkład wielkości rocznych opadów atmosferycznych dla okresu prowadzenia badań z lat 2003 – 2005 przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie wielkości rocznych opadów atmosferycznych na terenie Polski
Table 1. List of quantities of annual atmospheric precipitation in Poland

Opady atmosferyczne w [mm]			
Rok	Opady aktualne		Średnie opady max – min z lat 1971 – 2000
	Opady maksymalne z wyłączeniem obszarów górskich	Opady minimalne	
2003	700	300	1000 – 550
2004	1000	500	
2005	1000	400	

Suma rocznych opadów atmosferycznych w latach 2003 do 2005 była zbliżona do maksymalnych z lat 1971 – 2000 (700 – 1000 mm przy wieloletniej 1000 mm), natomiast lekko obniżona w zakresie opadów minimalnych (300 – 500 mm przy wieloletniej 550 mm).

Na rysunku 1 przedstawiono zestawienie minimalnych i maksymalnych opadów miesięcznych występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004 r. do października 2006 r. oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 – 2000 [3].



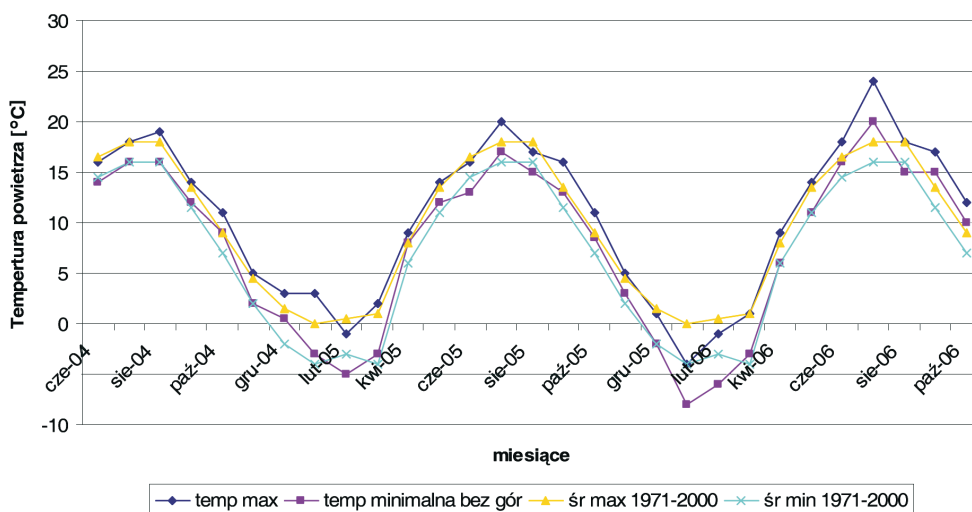
Rys.1. Zestawienie wielkości miesięcznych opadów atmosferycznych na terenie Polski w okresie od czerwca 2004 r. do października 2006 r. oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 - 2000

Fig.1. Quantities of monthly atmospheric precipitation in Poland in period from June 2004 till October 2006 and average values based on observation from 1971 to 2000

Suma średnich miesięcznych opadów atmosferycznych w okresie od czerwca 2004 r. do października 2006 r. była zbliżona do średnich maksymalnych miesięcznych z lat 1971 – 2000 [3], natomiast lekko obniżona w zakresie opadów minimalnych.

2.3. TEMPERATURA

Rozkład średnich temperatur występujących na terenie Polski w okresie prowadzenia badań, od czerwca 2004 r. do października 2006 r. przedstawiono na rysunku 2. Na rysunku dokonano zestawienia minimalnych i maksymalnych temperatur miesięcznych występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004 r. do października 2006 r. oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 – 2000 [3].



Rys.2. Średnia miesięczna temperatura powietrza w Polsce okresie od czerwca 2004 do października 2006r oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 – 2000
 Fig.2. Monthly air temperatures in Poland in period from June 2004 till October 2006 and average values based on observation from 1971 to 2000

Średniomiesięczne temperatury powietrza mieściły się w przedziałach średnich wieloletnich, jednak wystąpiło kilka ekstremalnych temperatur np. styczeń i luty 2006 ($-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$) czy lipiec i wrzesień 2006 ($24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $17\text{ }^{\circ}\text{C}$).

2.4. WARUNKI KLIMATYCZNE DLA OKRESU PROWADZENIA BADAŃ

Analiza opadów atmosferycznych i temperatur powietrza występujących na terenie kraju w okresie od czerwca 2004 r. do października 2006 r. oraz wartości średnich wieloletnich z obserwacji z lat 1971 – 2000 wykazują wyraźnie dużą zmienność temperatur i opadów na terenie Polski w cyklu rocznym. Duże wahania średnich miesięcznych temperatur od $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (01.2006) do $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (07.2006) i opadów od 5 mm (10.2005) do 250 mm (08.2006) występują, tak w zakresie dla różnych obszarów Polski (wartości maksymalne i minimalne), jak i dla różnych okresów w całym roku.

Suma średnich miesięcznych opadów atmosferycznych w okresie od czerwca 2004 r. do października 2006 r. była zbliżona do średnich maksymalnych miesięcznych z lat 1971 – 2000 [3], natomiast lekko obniżona w zakresie opadów minimalnych.

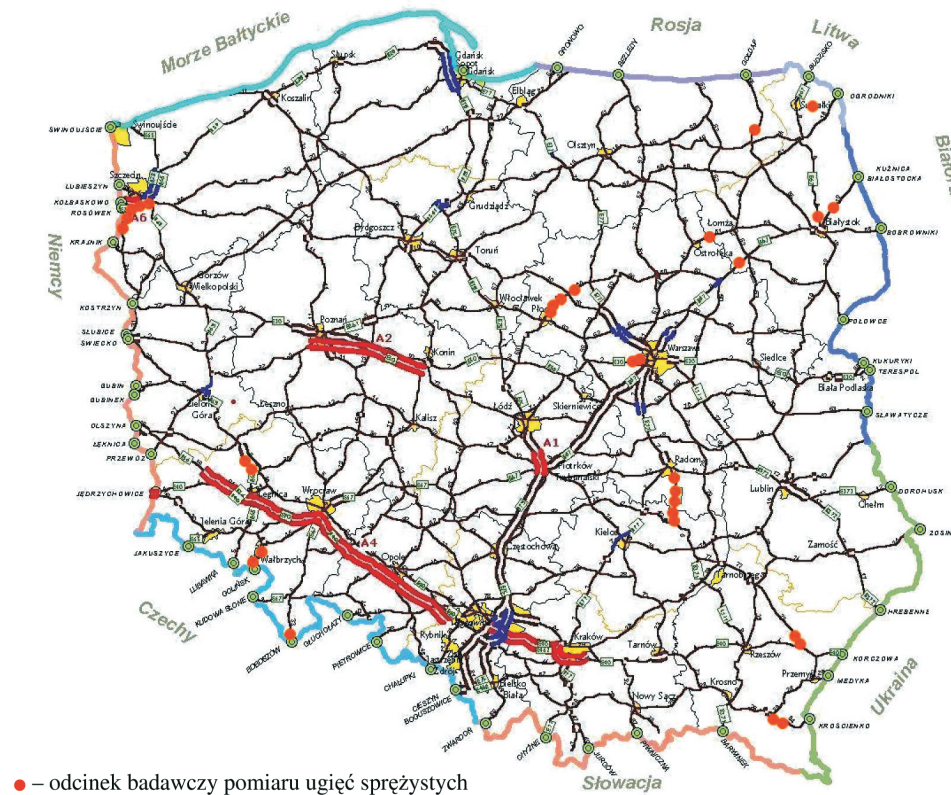
3. WYBÓR ODCINKÓW BADAWCZYCH

Obserwowana zmienność klimatyczna ma wpływ na warunki pracy całej konstrukcji nawierzchni, ze szczególnym oddziaływaniem na górne warstwy asfaltowe jak i grunt podłoża nawierzchni dróg. Głównie z tych dwóch uwarunkowań wynika zmienność wyników badań ugięć nawierzchni i jest to zmienność sezonowa.

Wpływ na zmienność sezonową mają następujące czynniki klimatyczne:

- temperatura powietrza i temperatura nawierzchni,
- ilości opadów atmosferycznych i wilgotność konstrukcji nawierzchni i podłoża gruntowego,
- głębokość przemarzania gruntu (m.in. [4]),
- nasłonecznienie (teren wilgotny zalesiony, teren otwarty suchy).

W wyborze odcinków badawczych uwzględniono podane czynniki atmosferyczne. Odcinki zlokalizowano na terenie całego kraju, a ich położenie przedstawiono na rysunku 3 i w tabelicy 2.



Rys.3. Rozmieszczenie odcinków badawczych na terenie Polski
Fig.3. Localization of test sections to measure deflection

Tablica 2. Zestawienie odcinków badawczych do pomiaru ugięć
Table 2. List of test sections to measure deflection

Kod odcinka	Nr drogi	Kierunek	Pikietaż odcinka badawczego
GDDKiA WARSZAWA			
TDW/01	2	Bronisze „L”	465+600 ÷ 465+500
TDW/02	2	Bronisze „P”	464+400 ÷ 464+500
TDW/03	60	Płock – Goślice (m. Goślice)	80+380 ÷ 80+480
TDW/04	60	Goślice – Bielsk (m. Ciachcin)	83+520 ÷ 83+620
TDW/05	60	Drobin – Ciechanów	117+540 ÷ 117+640
TDW/06	60	Drobin – Ciechanów	122+100 ÷ 122+200
TDW/07	61	gr. m. Ostrołęka – gr woj. maz.	127+800 ÷ 127+900
TDW/08	9	Modrzejowice – Iłża	23+540 ÷ 23+640
TDW/09	9	Skaryszew – Iłża	26+600 ÷ 26+700
TDW/10	9	Skaryszew – Iłża	28+280 ÷ 28+380
TDW/11	9	Skaryszew – Iłża	30+600 ÷ 30+700
TDW/12	9	Iłża – Brody	40+900 ÷ 41+000
GDDKiA BIAŁYSTOK			
TDB/14	8	Ostrów Maz – Zambrów (przed. m. Żabikowo)	567+380 ÷ 567+480
TDB/16	19	Białystok – Kuźnica	44+600 ÷ 44+500
TDB/17	8	Białystok – Augustów	662+340 ÷ 662+440
TDB/18	653	Poćkuny – Bereźniki	37+200 ÷ 37+300
TDB/19	65	Olecko – Elk	54+580 ÷ 54+680
GDDKiA RZESZÓW			
TDR/20	77	Wólka Pełkińska – Jarosław	124+520 ÷ 124+620
TDR/21	77	Wólka Pełkińska – Jarosław	126+800 ÷ 126+900
TDR/22	84	Zagórz – Lesko	10+400 ÷ 10+500
TDR/23	84	Zagórz – Lesko	11+600 ÷ 11+700
GDDKiA WROCŁAW			
TDWr/24	33	Międzylesie – gr. państwa	40+400 ÷ 40+500
TDWr/25	35	Gr. państwa – Mieroszów	2+200 ÷ 2+300
TDWr/26	35	Mieroszów – Wałbrzych	11+000 ÷ 11+100
TDWr/27	3	Lubin (Przejście 1)	367+400 ÷ 367+500
TDWr/28	3	Lubin (Przejście 2)	368+200 ÷ 368+300

Kod odcinka	Nr drogi	Kierunek	Pikietaż odcinka badawczego
GDDKiA SZCZECIN			
TDS/29	A-6	Od granicy państwa	1+440 ÷ 1+540
TDS/30	A-6	Od granicy państwa – Międzyodrze	7+460 ÷ 7+56
TDS/31	A-6	Od granicy państwa	11+120 ÷ 11+220
TDS/32	31	Chojna	22+600 ÷ 22+700
TDS/33	31	Chojna	24+600 ÷ 24+700

Badania terenowe były prowadzone od września 2004 r. i kontynuowane do września 2006 r. na wytypowanych odcinkach badawczych.

4. MODELE DO OKREŚLENIA WSPÓŁCZYNNIKÓW SEZONOWOŚCI

Weryfikację modeli sezonowości ugięć nawierzchni wykonano na podstawie ugięć uzyskanych z wyników z badań na odcinkach doświadczalnych oraz ugięć obliczonych dla układów teoretycznych. Przeprowadzono także analizę modeli z doświadczeń, w badaniach sezonowości ugięć nawierzchni, w różnych krajach na podstawie przeglądu literatury [5 - 10].

MODEL STATYSTYCZNY

Model statystyczny dla współczynnika sezonowości badań ugięć założono następująco:

$$U_{\max} = U_{rzecz} \cdot f_s, \quad (1)$$

$$f_s = U_{\max} / U_{rzecz}, \quad (2)$$

gdzie:

- U_{\max} – największe wartości ugięcia nawierzchni w okresie wczesnowiosennym,
- U_{rzecz} – wartości ugięć nawierzchni dla badań wykonywanych w różnych okresach,
- f_s – współczynnik sezonowości określony dla okresów wczesnowiosennych, letnich i jesiennych i sezonowej ilości opadów (wilgotności).

Z badań ugięć na odcinkach badawczych przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników i przedstawiono przykład dla modelu statystycznego zmienności współczynnika sezonowości dla wybranego odcinka badawczego TDW/12. W tablicy

3 przedstawiono algorytm określania współczynnika sezonowości dla badania ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym.

Tablica 3. Przykład analizy współczynników sezonowości dla badania ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym – Odcinek badawczy TDW/12
Table 3. Example of analysis of seasonal factors for pavement deflection testing with use Benkelman Beam (BB) – test section TDW/12

Data wykonania pomiarów						
30.03.2005	29.04.2005	07.06.2005	28.06.2005	29.07.2005	07.09.2005	06.10.2005
Średnie wartości ugięć [mm]						
0,391	0,436	0,475	0,516	0,507	0,398	0,376
Wartości odchylenia standardowego [mm]						
0,142	0,118	0,113	0,082	0,134	0,125	0,124
Temperatura w środku warstw asfaltowych T [°C]						
6,2	14,1	22,8	21,0	27,6	18,1	11,8
Średnie wartości ugięć [mm] z uwzględnieniem wsp. temp. $f_T = 1 + 0,02 \cdot (0,20 - T)$						
0,499	0,488	0,448	0,506	0,430	0,413	0,438
Wartości średniej standaryzowanej $U_i^{sr\ stand} = U_i / [\sum U_i / n]$ $\sum U_i / n = 0,460$ mm						
1,084	1,060	0,973	1,099	0,934	0,898	0,952
Wartości współczynników sezonowości f_s w odniesieniu do pomiarów z okresu wiosennego						
1,00	1,02	1,11	0,99	1,16	1,21	1,14

Dla przykładowej analizy wg modelu statystycznego uzyskano zmienność współczynnika sezonowości f_s w zakresie wartości od 1,0 (30.03.2005) do 1,21 (07.09.2005). Model statystyczny współczynników sezonowości f_s przedstawiono wraz ze szczegółową analizą dla uzyskania uogólnionych wartości dla różnych okresów przeprowadzania badań ugięć nawierzchni w części dalszej artykułu.

MODEL TEORETYCZNO – DOŚWIADCZALNY

Model teoretyczny budowany jest na ogólnym opisie praw zachowania w procesie deformacji ośrodka ciągłego, który determinuje m.in. wielkość ugięć nawierzchni pod działaniem obciążenia. Parametrami występującymi w opisie deformacji nawierzchni są: gęstość masy ρ , moduł sprężystości E , współczynnik Poissona ν , współczynnik lepkości materiałów warstw asfaltowych η , itp.

Jeżeli zapisać ogólnie zależności dla powyżej wymienionych parametrów i rozwinąć wokół stanu ustalonego (parametrów standartowych) to można uzyskać zależności

określające wpływ tych czynników na wielkość ugięć nawierzchni. Przedstawione parametry, w sensie zależności sezonowości, zmieniają się w funkcji temperatury i wilgotności. Na podstawie wyników pomiarów na odcinkach badawczych w różnych obszarach kraju, metodami statystyki matematycznej (np. optymalizacji metodą najmniejszych kwadratów i metodami regresji) można wyznaczyć średnie wartości tych parametrów i ich odchylenia statystyczne. Ujmując omawiany proces w język formalny można zapisać:

$$u(\rho, E, \nu, \eta) = u(\rho_0, E_0, \nu_0) + \left[\frac{\partial u}{\partial \rho} \Big|_{(\rho_0, E_0, \nu_0, \eta_0)} \cdot (\rho - \rho_0) \right] + \quad (3)$$

$$+ \left[\frac{\partial u}{\partial E} \Big|_{(\rho_0, E_0, \nu_0, \eta_0)} \cdot (E - E_0) \right] + \left[\frac{\partial u}{\partial \nu} \Big|_{(\rho_0, E_0, \nu_0, \eta_0)} \cdot (\nu - \nu_0) \right] + \left[\frac{\partial u}{\partial \eta} \Big|_{(\rho_0, E_0, \nu_0, \eta_0)} \cdot (\eta - \eta_0) \right].$$

Z kolei parametry ρ , ν , E oraz η można przedstawić w postaci:

$$\rho = \rho_0 + a_1 \cdot (T - T_0) + b_1 \cdot (w - w_0), \quad (4)$$

$$\nu = \nu_0 + a_2 \cdot (T - T_0) + b_2 \cdot (w - w_0), \quad (5)$$

$$E = E_0 + a_3 \cdot (T - T_0) + b_3 \cdot (w - w_0), \quad (6)$$

$$\eta = \eta_0 + a_4 \cdot (T - T_0) + b_4 \cdot (w - w_0), \quad (7)$$

gdzie wartości parametrów dla materiałów warstw nawierzchni i podłoża gruntowego są następujące:

- u – ugięcia nawierzchni,
- ρ_0 – standardowa wartość gęstości w warunkach normalnych (T_0, w_0),
- ν_0 – standardowa wartość współczynnika Poissona w warunkach normalnych (T_0, w_0),
- E_0 – standardowa wartość modułu sprężystości w warunkach normalnych (T_0, w_0),
- η_0 – standardowa wartość lepkości w warunkach normalnych (T_0, w_0),
- T – temperatura,
- w – wilgotność,
- a_i, b_i – współczynniki korekcyjne wyznaczone metodami statystycznymi.

MODEL TEORETYCZNY

Analizę teoretyczną wykonano dla ośrodków dwuwarstwowych typu nawierzchnia – podłoże gruntowe, prezentowanych przez Burmistera. Rozwiązania dla ośrodków dwuwarstwowych, w odróżnieniu od powszechnie stosowanego w wielu modelach projektowania i diagnozowania nawierzchni – ośrodka jako półprzestrzeni sprężystej, daje lepszą możliwość oceny rzeczywistych ugięć nawierzchni ze względu na wyraźnie występującą warstwowość konstrukcji (warstwy nawierzchni – podłoże gruntowe). W pierwszej kolejności przedstawiono zmianę teoretycznych ugięć nawierzchni w zależności od zmian modułu gruntu dla rozwiązania Burmistera [5].

Rozkład naprężeń w ośrodku dwuwarstwowym został przez niego opracowany przy następujących założeniach i warunkach brzegowych:

- górna warstwa ma ograniczoną grubość h ,
- dolna warstwa jest nieograniczona w poziomie i pionie,
- warstwa górna spoczywa na warstwie dolnej,
- materiał w każdej z warstw jest jednorodny sprężysty i izotropowy,
- wartość współczynnika Poissona przyjęto: $\nu_1 = \nu_2 = 0,5$,
- w górnej warstwie poza obszarem obciążonym nie występują dodatkowe naprężenia styczne i normalne.

ANALIZA TEORETYCZNA PRZEDZIAŁU WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA SEZONOWOŚCI DLA WARUNKÓW KRAJOWYCH

Obliczenie teoretycznych ugięć badanych przy użyciu ugięciomierza belkowego

Ugięcia nawierzchni oblicza się według wzoru [11]:

$$u = 1,5 \frac{q \cdot a}{E_2} \cdot \omega_z \quad , \quad (8)$$

gdzie:

u – ugięcie nawierzchni pod obciążeniem kołem pojazdu w [m],

1,5 – współczynnik dla obciążenia nawierzchni kołem pojazdu,

q – obciążenie nawierzchni w [MPa],

a – promień śladu od obciążenia kołem pojazdu w [m],

E_2 – moduł sprężystości gruntu podłoża w [MPa],

ω_z – współczynnik zależny od stosunku E_1/E_2 i h/a .

Do obliczenia ugięć przyjęto następujące konstrukcje nawierzchni zgodnie z [12]:

- I) konstrukcja podatna dla KR1 o grubości łącznej 15 cm na podłożu G1 (np. żwir i pospółka gliniasta),
- II) konstrukcja podatna dla KR6 o grubości łącznej 36 cm na podłożu G1 (np. żwir i pospółka gliniasta).

Dla konstrukcji I przyjęto:

- według Katalogu następujące dane dla nawierzchni:
 - moduł sprężystości konstrukcji nawierzchni podatnej E_1
wiosna/jesień $E_1 = 10000$ MPa,
okres suchy $E_1 = 3000$ MPa,
 - grubość konstrukcji podatnej (warstwa ściernalna i podbudowa) $h = 15$ cm,
- według normy PN-81/B-32020 następujące dane dla podłoża gruntowego:
 - moduł sprężystości gruntu podłoża E_2
wiosna (przy wilgotności naturalnej $w_n = 18$ %) $E_2 = 12$ MPa,
okres suchy (przy wilgotności naturalnej $w_n = 6$ %) $E_2 = 65$ MPa,

Teoretyczne ugięcia konstrukcji wg modelu Burmistera dla ugięciomierza belkowego BB z określeniem zmian ugięć zestawiono w tabelicy 4.

Tablica 4. Teoretyczne ugięcia konstrukcji nawierzchni według modelu Burmistera dla ugięciomierza belkowego z określeniem współczynnika zmienności ugięć

Table 4. Theoretical deflection of pavement according to Burmister's model for BB with determination of deflection variability ratio

Rodzaj konstrukcji	Ugięcia [mm]		Wartości max współczynnika zmienności (wiosna/okres suchy)	Wartości średnie współczynnika zmienności (wiosna/okres suchy)
	Pora roku			
	wiosna	okres suchy		
Konstrukcja podatna I (KR1)	1,70	0,87	1,95	1,475
Konstrukcja podatna II (KR6)	0,71	0,49	1,45	1,225

Obliczenie teoretycznych ugięć badanych urządzeniem FWD

Ugięcia nawierzchni oblicza się według wzoru [11]:

$$u = 1,18 \frac{q \cdot a}{E_2} \cdot \omega_z, \quad (9)$$

gdzie:

- u – ugięcie nawierzchni pod obciążeniem kołem pojazdu w [m],
- 1,18 – współczynnik dla obciążenia nawierzchni płytą sztywną,
- q – obciążenie nawierzchni w [MPa],
- a – promień śladu od obciążenia płytą sztywną w [m],
- E_2 – moduł sprężystości gruntu podłoża w [MPa],
- ω_z – współczynnik zależny od stosunku E_1/E_2 i h/a .

Do rozważań przyjęto identyczne jak w przypadku obliczeń przy użyciu ugięciomierza belkowego konstrukcje nawierzchni zgodnie z [12].

Teoretyczne ugięcia konstrukcji wg modelu Burmistera dla ugięciomierza udarowego FWD z określeniem zmian ugięć zestawiono w tabelicy 5.

Tablica 5. Teoretyczne ugięcia konstrukcji nawierzchni według modelu Burmistera dla urządzenia FWD z określeniem współczynnika zmienności ugięć
Table 5. Theoretical deflection of pavement according to Burmister's model for FWD with determination of deflection variability ratio

Rodzaj konstrukcji	Ugięcia [mm]		Wartości max współczynnika zmienności (wiosna/okres suchy)	Wartości średnie współczynnika zmienności (wiosna/okres suchy)
	Pora roku			
	wiosna	okres suchy		
Konstrukcja podatna I (KR1)	1,24	0,59	2,10	1,55
Konstrukcja podatna II (KR6)	0,475	0,343	1,38	1,19

Jak widać z przeprowadzonych rozważań teoretycznych zmienność ugięć konstrukcji nawierzchni, a tym samym współczynnik sezonowości może być istotnie duży i to zarówno dla konstrukcji typu KR1 jak i KR6 oraz przy badaniach ugięciomierzem belkowym i FWD.

ANALIZA DOŚWIADCZEŃ ZAGRANICZNYCH

Z przeglądu literatury zagranicznej wynika, że wartość współczynnika sezonowości przy badaniu ugięć nawierzchni jest różna dla różnych krajów i dla różnych regionów [8 - 10, 13 - 15]. Dla pomiarów urządzeniem FWD wartość współczynnika sezonowego zawarta jest w przedziale 1,1 do 1,6. W Holandii w zależności od wielkości średnich rocznych opadów i wilgotności w czasie pomiarów przyjmuje się wartości od 0,95 do 1,3 (tabl. 6)

Tablica 6. Wartości współczynników sezonowości stosowanych w Holandii przy badaniu ugięć urządzeniem FWD

Table 6. Seasonal factors used in Holland for deflection measurement by FWD device

Średni roczny opad	Stan podłoża gruntowego i czas wykonywania badań			
	bardzo wilgotny	wilgotny	suchy	bardzo suchy
500 mm	0,95	1	1,15	1,3
1000 mm	0,95	1	1,1	1,2

W Australii przyjmuje się wartość współczynnika sezonowości od 1,1 do 1,3, zależnie od strefy (sucha, mokra). W Austrii w badaniach ugięciomierzem belkowym w zależności od regionu i lokalnych doświadczeń stosuje się współczynnik w przedziale 1,3 do 2,0. Dla różnych regionów Kanady przyjmuje się jego wartość od 1,0 do 2,5, głównie jednak 1,2 do 1,6.

WYBÓR MODELU DO OKREŚLENIA WSPÓŁCZYNNIKÓW SEZONOWOŚCI

Po dokonanej analizie modeli statystycznego, teoretyczno – doświadczalnego, teoretycznego oraz doświadczeń zagranicznych przyjęto do określenia współczynników sezonowości model statystyczny z funkcją korekcji. Funkcja korygująca będzie wyznaczona z obliczeń statystycznych i porównania uzyskanych wyników według preferowanego modelu z modelem teoretycznym i analizą doświadczeń zagranicznych.

Współczynniki sezonowości zgodnie z modelem statystycznym określono według następujących założeń:

- wyspecyfikowanie okresów sezonowości dla pomiarów ugięć konstrukcji nawierzchni,
- wyznaczenie wartości i przedziałów liczbowych współczynników sezonowości dla odpowiednich okresów dla badania wykonywanego ugięciomierzem belkowym,
- wyznaczenie wartości i przedziałów liczbowych współczynników sezonowości dla odpowiednich okresów dla badania wykonywanego urządzeniem FWD.

5. WYSPECYFIKOWANIE OKRESÓW SEZONOWOŚCI DLA POMIARÓW UGIĘĆ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Okresy sezonowe dla przeprowadzania pomiaru ugięć nawierzchni powinny być przede wszystkim opisane charakterystykami klimatycznymi, a głównie temperaturą powietrza i wysokością opadów atmosferycznych. Z analizy sezonowości klimatu w cyklu rocznym tak dla obserwacji wieloletnich jak i z lat 2004 – 2006 wynika, że dla temperatur powietrza i wielkości opadów atmosferycznych można wyróżnić cztery okresy:

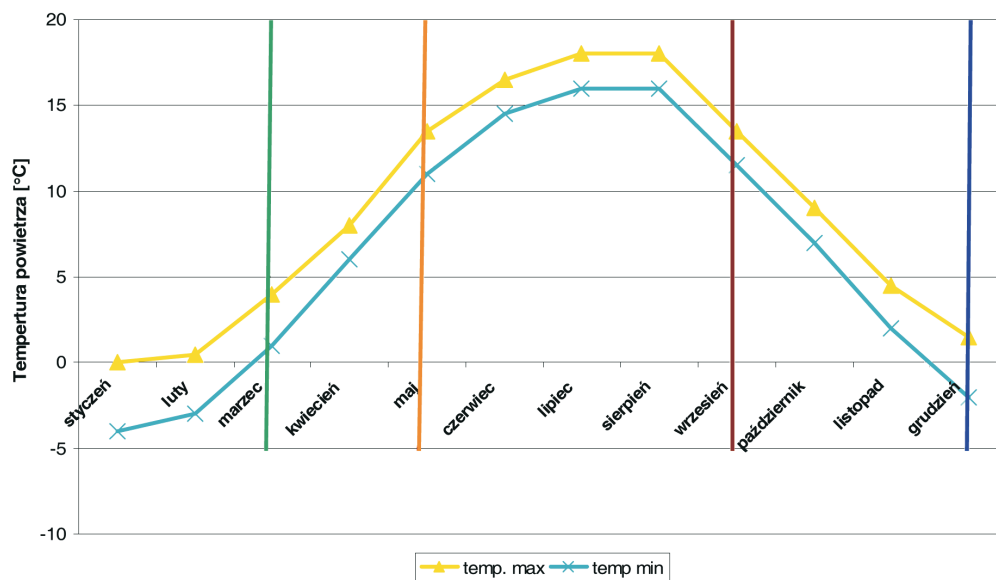
- Okres I „zimowy” obejmujący miesiące styczeń i luty, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $0 \div 2$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $-3 \div -4$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 20 – 30 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 40 – 50 mm. W tablicach 7 i 8 sezon zimowy oznaczony kolorem niebieskim. Na rysunkach 4 i 5 okres I „zimowy” oddzielony od okresu II „wczesnowiosennego” linią zieloną.
- Okres II „wczesnowiosenny” obejmujący miesiące marzec i kwiecień, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $4 \div 8$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $1 \div 6$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 30 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 50 – 80 mm. W okresie „wczesnowiosennym” prowadzi się badania ugięć nawierzchni i te wyniki są uznawane za najbardziej miarodajne, ponieważ konstrukcja nawierzchni i podłoże gruntowe po rozmarznięciu charakteryzują się najmniejszą nośnością. W tablicach 7 i 8 sezon wczesnowiosenny oznaczony kolorem zielonym. Na rysunkach 4 i 5 okres II „wczesnowiosenny” oddzielony od okresu III „wiosenno-letniego” linią jasnopomarańczową.
- Okres III „wiosenno-letni” obejmujący miesiące maj, czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $13,5 \div 18$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $11 \div 16$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 45 – 60 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 100 – 160 mm. W okresie „wiosenno-letnim” prowadzi się badania ugięć nawierzchni a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym. W tablicach 7 i 8 sezon wiosenno-letni oznaczony kolorem jasnopomarańczowym. Na rysunkach 4 i 5 okres III „wiosenno-letni” oddzielony od okresu IV „jesiennego” linią brązową.
- Okres IV „jesienny” obejmujący miesiące październik, listopad i częściowo grudzień, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $1,5 \div 9$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $-2 \div 7$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 35 – 40 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 60 – 80 mm. W okresie „jesiennym” prowadzi się badania ugięć nawierzchni do wystąpienia pierwszych mrozów a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym. W tablicach 7 i 8 sezon jesienny oznaczony kolorem brązowym. Na rysunkach 4 i 5 okres IV „jesienny” oddzielony od okresu III „wiosenno-letniego” linią brązową.

Podział na cztery sezony został przedstawiony w tablicach 7 i 8 oraz na rysunkach 4 i 5.

Tablica 7. Zestawienie średnich wieloletnich miesięcznych temperatur powietrza z podziałem na sezony

Table 7. Long-term average of air temperature with seasonal division

Zestawienie średnich temperatur miesięcznych z okresu 1971 – 2000 r. w [°C]			
Miesiące	Temperatury maksymalne	Temperatury minimalne	Sezon
styczeń	0	-4	zimowy
luty	0,5	3	zimowy
marzec	4	1	wczesnowiosenny
kwiecień	8	6	wczesnowiosenny
maj	13,5	11	wiosenno-letni
czerwiec	16,5	14,5	wiosenno-letni
lipiec	18	16	wiosenno-letni
sierpień	18	16	wiosenno-letni
wrzesień	13,5	11,5	wiosenno-letni
październik	9	7	jesienny
listopad	4,5	2	jesienny
grudzień	1,5	-2	jesienny

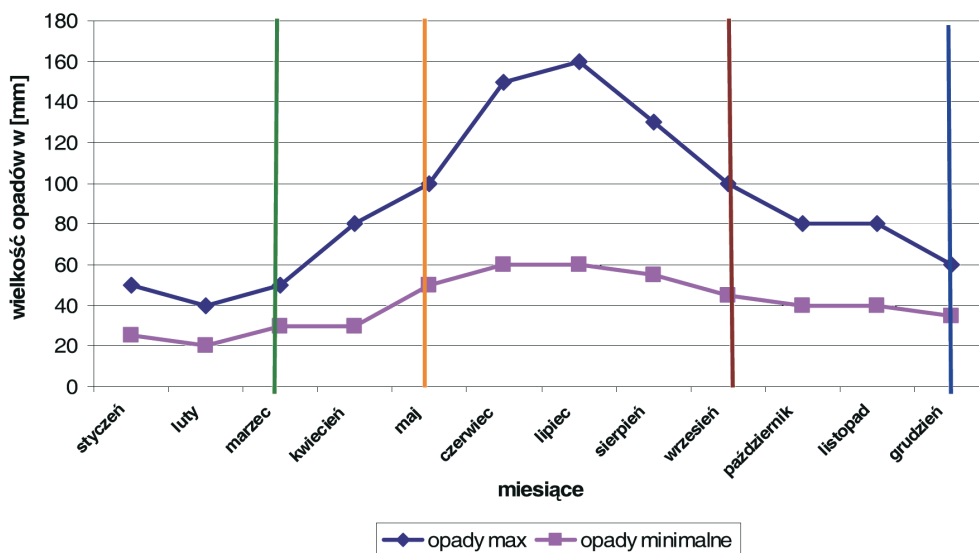


Rys.4. Wykres średnich miesięcznych temperatur powietrza z okresu od 1971 do 2001 z podziałem na sezony

Fig.4. Monthly average of air temperature for period from 1971 till 2001 with seasonal division

Tablica 8. Zestawienie średnich wieloletnich miesięcznych opadów atmosferycznych z podziałem na sezony
 Table 8. Long-term average of atmospheric precipitation with seasonal division

Zestawienie średnich opadów atmosferycznych miesięcznych z okresu 1971 – 2000 r. w [mm]			
Miesiące	Opady maksymalne	Opady minimalne	Sezon
styczeń	50	25	zimowy
luty	40	20	zimowy
marzec	50	30	wczesnowiosenny
kwiecień	80	30	wczesnowiosenny
maj	100	50	wiosenno-letni
czerwiec	150	60	wiosenno-letni
lipiec	160	60	wiosenno-letni
sierpień	130	55	wiosenno-letni
wrzesień	100	45	wiosenno-letni
październik	80	40	jesienny
listopad	80	40	jesienny
grudzień	60	35	jesienny



Rys.5. Wykres średnich miesięcznych opadów atmosferycznych z okresu od 1971 do 2001 z podziałem na sezony

Fig.5. Monthly average of atmospheric precipitation for period from 1971 till 2001 with seasonal division

6. OKREŚLENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW SEZONOWOŚCI I WSPÓŁCZYNNIKÓW SKORYGOWANYCH

Dla wyznaczonych sezonów obliczono odpowiadające im współczynniki sezonowe, tak dla pomiarów ugięciemierzem belkowym jak i urządzeniem FWD, według następującej procedury:

- 1) Z pomiarów na poszczególnych odcinkach badawczych określono wartości średnie ugięć zgodnie z poniższym wzorem:

$$u_{\dot{s}r} = \sum_{i=1}^n \frac{u_i}{n},$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - u_{\dot{s}r})^2},$$

gdzie:

- $u_{\dot{s}r}$ – ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego,
- u_i – pojedynczy pomiar na odcinku badawczym,
- n – ilość pojedynczych pomiarów na odcinku badawczym,
- s – odchylenie standardowe dla pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego.

- 2) Dla obliczonych wartości średnich ugięć określenie wielkości ugięć po korekcie na temperaturę zgodnie z zależnością:

$$u_{\dot{s}rT} = u_{\dot{s}r} \cdot [1 + 0,02 (20 - T)],$$

gdzie:

- $u_{\dot{s}rT}$ – skorygowane ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw bitumicznych,
- $u_{\dot{s}r}$ – ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego,
- T – temperatura warstw asfaltowych.

- 3) Obliczenie średniej wartości ugięć dla odcinka badawczego według wzoru:

$$u_{\dot{s}rODC} = \sum_{k=1}^N \frac{u_{\dot{s}rTk}}{N},$$

$$s_{ODC} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (u_{\dot{s}rTk} - u_{\dot{s}rODC})^2},$$

gdzie:

- $u_{\dot{s}rODC}$ – ugięcie średnie dla każdego odcinka badawczego,

- u_{srTk} – skorygowane ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw bitumicznych,
 N – ilość cykli pomiarowych na odcinku badawczym,
 s_{ODC} – odchylenie standardowe dla odcinka badawczego.

- 4) Obliczenie wartości średniej standaryzowanej dla odcinka badawczego w celu pokazania zmienności ugięć w różnych okresach i porównania między poszczególnymi odcinkami.

Wartość średniej standaryzowanej wyznaczono wg wzoru:

$$U^{STp} = \frac{u_{srTk}}{u_{srODC}},$$

gdzie:

- U^{STp} – średnia standaryzowana dla pojedynczego badania odcinka,
 u_{srODC} – ugięcie średnie dla każdego odcinka badawczego,
 u_{srTk} – skorygowane ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw asfaltowych.

- 5) Obliczenie wartości sezonowości współczynników miesięcznych w celu pokazania zmienności współczynników w różnych okresach i porównania między poszczególnymi odcinkami.

Wartości sezonowości współczynników miesięcznych wyznaczono wg wzoru:

$$f_{sm} = \frac{u_{sr \max III-IV}}{u_{srTk}},$$

gdzie:

- f_{sm} – sezonowy współczynnik miesięczny zmienności ugięć,
 $u_{sr \max III-IV}$ – ugięcie maksymalne mierzone wiosną (marzec-kwiecień) dla odcinka badawczego,
 u_{srTk} – skorygowane ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw bitumicznych.

- 6) Obliczenie wartości średniej standaryzowanej dla określonych wcześniej sezonów (wczesnowiosennego, wiosennoletniego i jesiennego), w celu pokazania zmienności ugięć w różnych okresach oraz wyznaczono globalne ugięcia standaryzowane.

Wartość średniej standaryzowanej dla sezonu wyznaczono wg wzoru:

$$U^{STc} = \frac{\sum U^{STp}}{M},$$

gdzie:

- U^{STc} – średnia standaryzowana dla odcinka badanego w sezonie t :
- wczesnowiosennym,
 - wiosenno-letnim,
 - jesiennym,
- U^{STp} – średnia standaryzowana dla pojedynczego badania odcinka w sezonie,
- M – ilość pomiarów w sezonie dla odcinka badawczego.

Globalne ugięcie standaryzowane dla sezonów obliczono według wzoru:

$$U^{GL\ sez\ ug\ ST} = \frac{\sum_{odc=1}^L U^{STc}}{L},$$

gdzie:

- $U^{GL\ sez\ ug\ ST}$ – globalne sezonowe ugięcie standaryzowane dla sezonów t :
- wczesnowiosennego,
 - wiosenno-letniego,
 - jesiennego,
- U^{STc} – jak we wzorze poprzednim,
- L – liczba odcinków badawczych.

Wartość średniej standaryzowanej dla odcinków w sezonach oraz globalne ugięcia standaryzowane dla sezonów wraz z ilustracją trendów przedstawiono w tablicach 9 i 10.

Tablica 9. Wartości średniej standaryzowanej sezonowej dla odcinków badawczych – ugięciomierz belkowy

Table 9. Standarized seasonal average value for the tested sections – BB

Średnia standaryzowana sezonowa dla odcinków U^{STc} – ugięciomierz belkowy			
Odcinek badawczy	Sezony		
	wczesnowiosenny III - IV	wiosenno-letni V -IX	jesienny X - XII
Globalne ugięcia standaryzowane $U^{GL\ sez\ ug\ ST}$			
Wartość średnia	1,06	1,00	0,94
Odchylenie standardowe	0,16	0,08	0,22

Tablica 10. Wartości średniej standaryzowanej sezonowej dla odcinków badawczych – FWD
 Table 10. Standardized seasonal average value for the tested sections – FWD

Średnia standaryzowana sezonowa dla odcinków U^{STc} – FWD			
Odcinek badawczy	Sezony		
	wczesnowiosenny III - IV	wiosenno-letni V -IX	jesienny X - XII
Globalne ugięcia standaryzowane $U^{GL\ sez\ ug\ ST}$			
Wartość średnia	1,08	1,03	0,87
Odchylenie standardowe	0,15	0,16	0,13

W przypadku obliczonych sezonowości globalnych ugięć standaryzowanych, zarówno przy badaniach ugięciomierzem belkowym, jak i urządzeniem FWD, stwierdzono zależność wielkości ugięć od sezonu badań z wyraźną tendencją spadkową, tj.:

– w przypadku ugięciomierza belkowego:

- sezon wczesnowiosenny (sezon bazowy) $U^{GL\ sez\ ug\ ST\ III - IV} = 1,06$;
- sezon wiosenno-letni $U^{GL\ sez\ ug\ ST\ V - IX} = 1,00$;
- sezon jesienny $U^{GL\ sez\ ug\ ST\ X - XII} = 0,94$;

– w przypadku urządzenia FWD:

- sezon wczesnowiosenny (sezon bazowy) $U^{GL\ sez\ ug\ ST\ III - IV} = 1,08$;
- sezon wiosenno-letni $U^{GL\ sez\ ug\ ST\ V - IX} = 1,03$;
- sezon jesienny $U^{GL\ sez\ ug\ ST\ X - XII} = 0,87$.

7) Z obliczonych wartości sezonowości współczynników miesięcznych wyznaczono następnie średnie współczynniki sezonowe dla odcinków badawczych dla sezonów (wczesnowiosennego, wiosenno-letniego i jesiennego) oraz współczynniki globalne.

Wartości średnich współczynników sezonowości dla odcinków badawczych wyznaczono wg wzoru:

$$f^{sez\ odc} = \frac{\sum_{sm} f_{sm}}{M},$$

gdzie:

- $f^{sez\ odc}$ – współczynnik sezonowy dla odcinka badawczego w okresie t :
- wczesnowiosennym,
 - wiosenno-letnim,
 - jesiennym,

- f_{sm} – sezonowy współczynnik miesięczny zmienności ugięć,
 M – liczba pomiarów w sezonie.

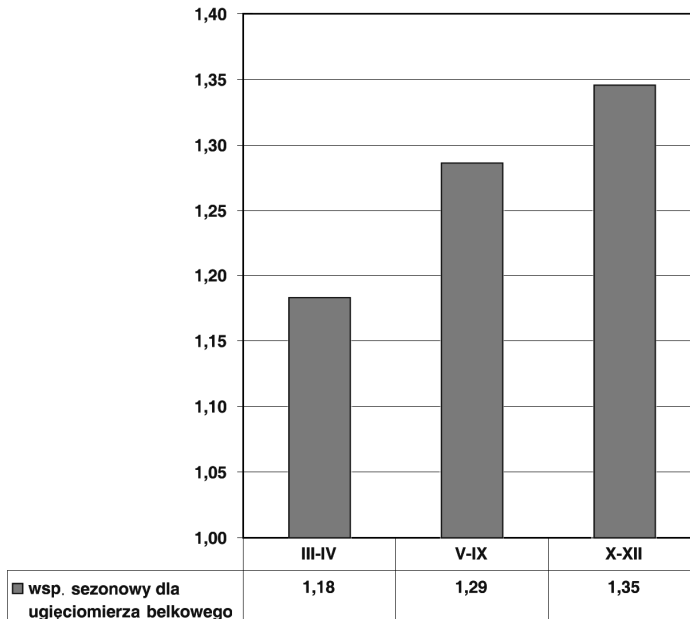
Globalne współczynniki sezonowe obliczono według wzoru:

$$f^{GL.sez} = \frac{\sum_{odc-1}^L f^{sez.odc}}{L},$$

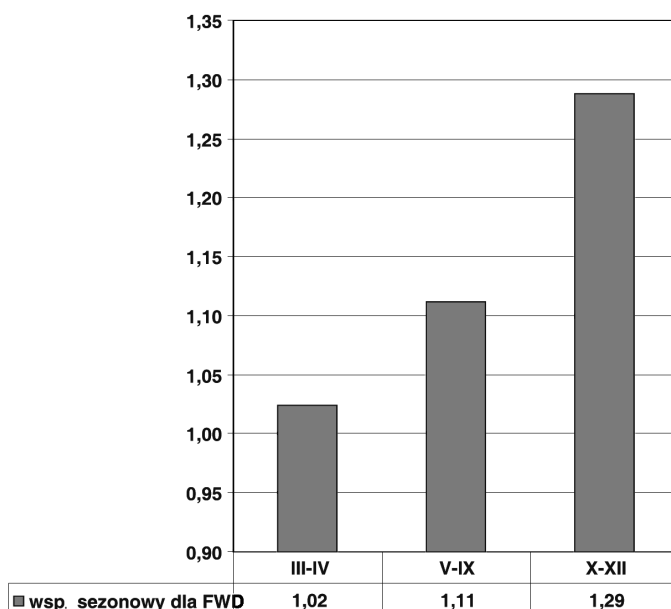
gdzie:

- $f^{GL.sez}$ – globalne współczynniki sezonowe dla okresów t :
- wczesnowiosennego,
 - wiosenno-letniego,
 - jesiennego,
- $f^{sez.odc}$ – jak w poprzednim wzorze,
 L – liczba odcinków badawczych.

Wartość średnich współczynników sezonowych dla odcinka badawczych w poszczególnych sezonach oraz globalne współczynniki dla sezonów przedstawiono na rysunkach 6 i 7.



Rys.6. Wartości globalnych współczynników sezonowych dla ugięciomierza belkowego
 Fig.6. Global values of seasonal factors for BB device



Rys.7. Wartości globalnych współczynników sezonowych dla urządzenia FWD
 Fig.7. Global values of seasonal factors for FWD device

W odniesieniu do globalnych współczynników sezonowych, zarówno dotyczących badań ugięciomierzem belkowym, jak też urządzeniem FWD, stwierdzono zależność wielkości ugięć od sezonu badań z wyraźną tendencją wzrostową, tj.:

- w przypadku ugięciomierza belkowego:
 - sezon wczesnowiosenny (sezon bazowy) $f^{GL sez} = 1,18$;
 - sezon wiosenno-letni $f^{GL sez} = 1,29$;
 - sezon jesienny $f^{GL sez} = 1,35$;
- w przypadku urządzenia FWD:
 - sezon wczesnowiosenny (sezon bazowy) $f^{GL sez} = 1,02$;
 - sezon wiosenno-letni $f^{GL sez} = 1,11$;
 - sezon jesienny $f^{GL sez} = 1,29$.

8) Dla wyznaczonych globalnych współczynników sezonowych określono następnie wartości skorygowane.

Skorygowane globalne współczynniki sezonowe zostały wyliczone zgodnie z następującymi zasadami:

- w pierwszym kroku, po analizie uzyskanych wyników średnich współczynników sezonowych dla odcinków badawczych odrzucone zostały wartości ekstremalne,
- powtórnie obliczono globalne współczynniki sezonowe zgodnie z procedurą podaną w pkt. 7),
- w kolejnym etapie wyznaczono skorygowane sezonowe współczynniki globalne.

Skorygowane globalne współczynniki sezonowe obliczono według wzoru:

$$f^{sk GL sez} = \frac{f^{GL sez'}}{f^{GL sez' III - IV}},$$

gdzie:

- $f^{sk GL sez}$ – skorygowane globalne współczynniki sezonowe dla okresów t :
- wczesnowiosennego,
 - wiosenno-lętniego,
 - jęsiennego,
- $f^{GL sez'}$ – globalny współczynniki sezonowy obliczony z pominięciem wartości ekstremalnych dla okresów t :
- wczesnowiosennego,
 - wiosenno-lętniego,
 - jęsiennego,
- $f^{GL sez' III - IV}$ – globalny współczynnik sezonowy obliczony z pominięciem wartości ekstremalnych dla okresu wczesnowiosennego (sezonu bazowego).

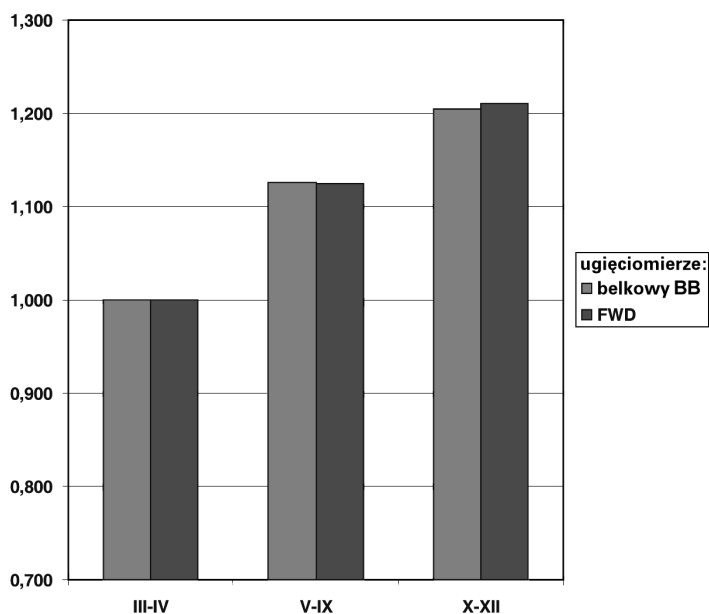
Wartości globalnych współczynników sezonowych obliczonych z pominięciem wartości ekstremalnych $f^{GL sez'}$ oraz skorygowane globalne współczynniki dla sezonów $f^{sk GL sez}$ przedstawiono w tablicach 11 i 12 oraz na rysunku 8.

Tablica 11. Zestawienie globalnych współczynników sezonowości dla ugięciomierza belkowego
Table 11. List of global values of seasonal factors for BB device

Współczynniki sezonowe – ugięciomierz belkowy			
Wartości	sezony		
	III-IV	V-IX	X-XII
Globalny współczynnik sezonowy bez wartości ekstremalnych	1,12	1,26	1,35
Odchylenie standardowe bez wartości ekstremalnych	0,11	0,21	0,43
$f^{GL sez' III - IV}$	1,12	1,12	1,12
$f^{sk GL sez}$	1,000	1,126	1,204

Tablica 12. Zestawienie globalnych współczynników sezonowości dla FWD
 Table 12. List of global values of seasonal factors for FWD device

Współczynniki sezonowe – ugięciomierz FWD			
Wartości	sezony		
	III-IV	V-IX	X-XII
Globalny współczynnik sezonowy bez wartości ekstremalnych	1,02	1,15	1,23
Odchylenie standardowe bez wartości ekstremalnych	0,03	0,18	0,14
$f^{GL sez III-IV}$	1,02	1,02	1,02
$f^{sk GL sez}$	1,000	1,124	1,210



Rys.8. Porównanie wartości skorygowanych globalnych współczynników sezonowych dla ugięciomierza belkowego i urządzenia FWD
 Fig.8. Comparison of values of seasonal corrected factors for BB and FWD devices

W odniesieniu do wyznaczonych skorygowanych globalnych współczynników sezonowych, tak dla ugięciomierza belkowego jak i urządzenia FWD, potwierdzono zależność wielkości ugięć od sezonu badań z wyraźnym trendem wzrostowym, tj.:

– w przypadku ugięciomierza belkowego:

- sezon wczesnowiosenny (sezon bazowy) $f^{sk GL sez} = 1,00$;
- sezon wiosenno-letni $f^{sk GL sez} = 1,126$;

- sezon jesienny $f^{sk GL sez} = 1,204$;
- w przypadku urządzenia FWD:
 - sezon wczesnowiosenny (sezon bazowy) $f^{sk GL sez} = 1,00$;
 - sezon wiosenno-letni $f^{sk GL sez} = 1,124$;
 - sezon jesienny $f^{sk GL sez} = 1,210$.

7. WSPÓŁCZYNNIKI SEZONOWE DLA POMIARÓW UGIĘĆ NA OBSZARZE POLSKI

Współczynniki sezonowości obliczone według modelu statystycznego korespondują z wartościami uzyskanymi z obliczeń teoretycznych na poziomie wartości średnich po skorygowaniu. W przypadku wartości średnich po skorygowaniu współczynniki sezonowości odpowiednio wynoszą:

- dla pomiarów ugięciomierzem belkowym:
 - 1,225 dla obliczeń teoretycznych,
 - 1,204 dla modelu statystycznego,
- dla pomiarów urządzeniem FWD:
 - 1,190 dla obliczeń teoretycznych,
 - 1,210 dla modelu statystycznego,

Z analizy doświadczeń zagranicznych wynika, że wartości współczynników sezonowości oscylują w przedziale od 1,0 do 1,6, z dominującym zakresem 1,0 – 1,3.

W wyniku przeprowadzonych pomiarów ugięć konstrukcji nawierzchni na odcinkach doświadczalnych ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD, obliczeń teoretycznych, doświadczeń zagranicznych i analizy statystycznej przyjęto współczynniki sezonowe dla pomiarów ugięć na obszarze Polski podane w tablicy 13.

Tablica 13. Współczynniki sezonowe dla pomiarów ugięć na obszarze Polski
Table 13. Seasonal factors for the deflection measurement considering climatic conditions in Poland

Współczynniki sezonowe f_s			
Pomiar	sezony		
	III-IV	V-IX	X-XII
Ugięciomierzem belkowym	1,00	1,15	1,25
Urządzeniem FWD	1,00	1,15	1,25

W latach 2004 – 2006 wykonano w sumie 587 pomiarów ugięć na odcinkach badawczych w tym:

- 377 ugięciomierzem belkowym w poszczególnych sezonach:
 - 72 w sezonie wczesnowiosennym,
 - 228 w sezonie wiosenno-letnim,
 - 77 w sezonie jesiennym,
- 210 urządzeniem FWD:
 - 43 w sezonie wczesnowiosennym,
 - 110 w sezonie wiosenno-letnim,
 - 57 w sezonie jesiennym.

Weryfikacja wyników badań była prowadzona na bieżąco w trakcie ich archiwizowania oraz w trakcie prowadzenia analiz danych. Pewnego rodzaju problem stanowiły wykonywane w trakcie realizacji pracy, na kilku odcinkach doświadczalnych, remonty nawierzchni. Sytuacja taka wystąpiła mimo wcześniejszego rozpoznania, co do planów remontów w miejscach lokalizacji odcinków badawczych i wyznaczenia ich tam gdzie takie przedsięwzięcia nie były planowane. Na odcinkach poddanych zabiegom remontowym wstrzymano wykonywanie badań.

8. WNIOSKI

1. Wybrane odcinki badawcze są reprezentatywne dla sieci drogowej Polski w zakresie:
 - położenia geograficznego (cały obszar kraju),
 - stref przemarzania (wszystkie strefy przemarzania od 0,8 – 1,4),
 - rodzajów gruntów podłoża (spoiste, sypkie),
 - rodzajów i grubości konstrukcji (podatne, półsztywne; 30 – 60 cm).
2. Suma rocznych opadów atmosferycznych w latach 2003 do 2005 była zbliżona do maksymalnych z lat 1971 – 2000 (700 – 1000 mm przy wieloletniej 1000 mm), natomiast lekko obniżona w zakresie opadów minimalnych (300 – 500 mm przy wieloletniej 550 mm). Suma średnich miesięcznych opadów atmosferycznych w okresie od czerwca 2004 r. do października 2006 r. była zbliżona do średnich maksymalnych miesięcznych z lat 1971 – 2000, natomiast lekko obniżona w zakresie opadów minimalnych.

Średniomiesięczne temperatury powietrza generalnie mieściły się w przedziałach średnich wieloletnich, aczkolwiek wystąpiły okresy ekstremalnie ciepłe – lipiec 2006, anormalnie ciepły – wrzesień 2006, skrajnie suche – wrzesień, grudzień 2004, sierpień, październik 2005, marzec, czerwiec, lipiec 2006 i skrajnie wilgotne – luty, marzec, grudzień 2005 oraz sierpień 2006. W stosunku do obserwacji wieloletnich z lat 1971 – 2000 wystąpiła w okresie prowadzenia badań lekka tendencja ocieplenia klimatu Polski i mniejszej ilości opadów atmosferycznych.

3. Z analizy sezonowości klimatu w cyklu rocznym, tak dla obserwacji wieloletnich, jak i z lat 2004 – 2006 wyznaczono cztery sezony:

- Sezon I „zimowy” obejmujący miesiące styczeń i luty, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $0 \div 2$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $-3 \div -4$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 20 – 30 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 40 – 50 mm.
- Sezon II „wczesnowiosenny” obejmujący miesiące marzec i kwiecień, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $4 \div 8$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $1 \div 6$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 30 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 50 – 80 mm. W okresie „wczesnowiosennym” prowadzi się badania ugięć nawierzchni a wyniki są uznawane za najbardziej miarodajne ze wszystkich okresów roku, ponieważ konstrukcja nawierzchni i podłoże gruntowe po rozmarznięciu charakteryzują się najmniejszą nośnością.
- Sezon III „wiosenno-letni” obejmujący miesiące maj, czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $13,5 \div 18$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $11 \div 16$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 45 – 60 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 100 – 160 mm. W okresie „wiosenno-letnim” prowadzi się badania ugięć nawierzchni a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym.
- Sezon IV „jesienny” obejmujący miesiące październik, listopad i częściowo grudzień, o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych $1,5 \div 9$ °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych $-2 \div 7$ °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 35 – 40 mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 60 – 80 mm. W okresie „jesiennym” prowadzi się badania ugięć nawierzchni do wystąpienia pierwszych mrozów a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym.

4. W wyniku przeprowadzonej analizy teoretycznych ugięć konstrukcji nawierzchni według modelu dwuwarstwowego Burmistera otrzymano następującą zmienność ugięć:

- w przypadku ugięciomierza belkowego wartości maksymalne od 1,45 dla nawierzchni o konstrukcji podatnej KR6 do 1,95 dla nawierzchni podatnej KR1; wartości średnie zmienności ugięć wyniosły odpowiednio od 1,225 do 1,475,
- w przypadku urządzenia FWD wartości maksymalne od 1,38 dla nawierzchni o konstrukcji podatnej KR6 do 2,10 dla nawierzchni podatnej KR1; wartości średnie zmienności ugięć wyniosły odpowiednio od 1,19 do 1,55.

Na podstawie przeprowadzonych rozważań teoretycznych zmienności ugięć konstrukcji nawierzchni stwierdzono, że współczynnik sezonowości może być istotnie duży i to zarówno dla konstrukcji typu KR1 jak i KR6, zarówno przy badaniach ugięciomierzem belkowym, jak i FWD.

5. Z analizy doświadczeń zagranicznych wynika, że wartości współczynników sezonowości oscylują w przedziale od 1,00 do 1,6, z dominującym zakresem 1,0 – 1,30.
6. W wyniku przeprowadzonych pomiarów ugięć konstrukcji nawierzchni na odcinkach doświadczalnych ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD, obliczeń teoretycznych, analizy doświadczeń zagranicznych i analizy statystycznej przyjęto następujące współczynniki sezonowe dla pomiarów ugięć na obszarze Polski:
 - $f_s = 1,00$ dla sezonu „wczesnowiosennego” (marzec i kwiecień),
 - $f_s = 1,15$ dla sezonu „wiosenno-letniego” (maj, czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień),
 - $f_s = 1,25$ dla sezonu „jesiennego” (październik, listopad i częściowo grudzień).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Katalog Wzmocnień Nawierzchni Podatnych i Pólsztynnych. GDDP, Warszawa 2001
- [2] *Szpinek St.*: Uwzględnienie wpływów sezonowości w badaniu ugięć nawierzchni. IBDiM, Warszawa 1993
- [3] *Lorenc H.*: Atlas Klimatu Polski. IMiGW, Warszawa 2005
- [4] *Janowski A.*: Analiza przemarzania gruntów w skali kraju. GDDKiA, Warszawa 2002, praca niepublikowana
- [5] *Burmister D. M.*: The general theory of stresses and displacements in layered systems. Journal of Applied Physics, **16**, 1, January 1945
- [6] *Graczyk M., Rafa J.*: Modyfikacja metody wyznaczania nośności nawierzchni wielowarstwowych. IBDiM, Warszawa 2002, praca niepublikowana
- [7] *Graczyk M., Mechowski T., Sudyka J., Chomicki M., Rafa J.*: Method of Estimation of Bearing Capacity of Multi-Layer Pavements with Application of Quasi-Static Tests. 6th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Lisbon, Portugal 2002
- [8] *Van Gurp Ch.*: Characterisation of seasonal influences on asphalt pavements with the use of falling weight deflectometers. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, June 1995
- [9] Transport Research COST 336 – Falling Weight Deflectometr. Final Report of the Action, European Commission
- [10] *Wistuba M., Blab R, Litzka J.*: Oberbauverstarkung Von Asphaltstrassen. Methodeüberblick und Ableitung von Klimadaten für die analytische Bemessung, TU-Wien 2004

-
- [11] *Witun Z.*: Zarys Geotechniki. WKŁ, Warszawa 2001
- [12] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Pólsztynnych. GDDP, Warszawa 1997
- [13] *Antunes M., Pinelo A., Correia A.*: Seasonal variation of pavements response to falling weight deflectometer. Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Norway, Trondheim 1998
- [14] *Bayomy F., Richter Ch., Lopez A.*: Quantification of seasonal variation effects of subgrade soil moisture and pavement temperature on pavement performance using LTPP data. Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Norway, Trondheim 1998
- [15] Aerodrome Design Manual. Part 3 Pavements, ICAO, 1983

SEASONAL FACTORS FOR THE ROAD PAVEMENTS IN POLISH CLIMATE CONDITIONS

Abstract

The paper presents the results of research into Seasonal Factors in Poland for testing bearing capacity of pavements with the use of FWD (Falling Weight Deflectometr) and BB (Benkelman Beam). Type of pavements, soil and subsoil water conditions and climate regions representative of the country were chosen for the analysis. It has been found that the value of pavement deflection depends mainly on the type and condition of structure, as well as the thickness of the pavement and the soil type. The temperature of the pavement, the soil moisture and the period of data acquisition are also of a significant importance. A period with similar average weather conditions is termed a season. Spring is the main period to measure deflection and for other periods deflection was extrapolated using seasonal factors. The value of seasonal factors for weather conditions in Poland was assessed in the course of three-year research into bearing capacity in different areas of the country.

Deflection measurement method is one of the methods adopted in designing structural pavement in Poland, in accordance with standard designs in "Flexible and Semi-Rigid Pavement Maintenance and Rehabilitation Catalogue". The calculation of the real value of deflection of pavement surface involves accurate measuring or assuming factors as in a standard measurement. Therefore, it is very important to measure deflection value, independently of the season, in the same standard conditions. This is possible by adopting seasonal factors.