

**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW**  
**Zakład Diagnostyki Nawierzchni**

**SPRAWOZDANIE**  
**z realizacji pracy TD-67/2004**

**" OPRACOWANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW SEZONOWOŚCI DLA  
NAWIERZCHNI DRÓG W POLSKICH WARUNKACH  
KLIMATYCZNYCH."  
Etap III**

Zlecniodawca: GDDKiA, umowa 684 z dnia 7.04.2004 r

Opracowali:

dr inż. Mirosław GRACZYK

inż. Jacek KRZYSZTOFOWICZ

inż. Adam KOWALSKI

tech. Jacek KUSIAK

Kierownik Zakładu  
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, listopad 2006

## SPIS TREŚCI

1.Podstawa i zakres pracy.	3
2.Kontynuacja badań i nadzór na Sezonowych Odcinkach Testowych	5
3.Analazy i charakterystyki uzyskanych wyników w zakresie ugięć sprężystych nawierzchni i danych klimatycznych.	9
4.Weryfikacja modeli sezonowych.	49
5.Określenie funkcji korygującej i określenie współczynników sezonowości.	62
6.Podsumowanie realizacji pracy.	97
7.Literatura	102

## ZAŁĄCZNIKI

Załącznik1 – Przekroje konstrukcji nawierzchni odcinków doświadczalnych

Załącznik2 – Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni

Załącznik3 – Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych

Załącznik4 – Wykresy sezonowych współczynników miesięcznych dla odcinków badawczych

## *1. Podstawa i zakres pracy*

Praca została wykonana na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad zgodnie umową 684/04 z dnia 7.04.2004 roku.

Celem pracy jest określenie wartości liczbowych współczynnika sezonowości dla poszczególnych sezonów w roku przy uwzględnieniu stref klimatycznych i położenia geograficznego. Określenie współczynnika sezonowości, dla okresu pomiarów innego niż wiosenny, pozwoli na wyeliminowanie dowolności (w zależności od doświadczenia projektanta) szacowania wartości współczynnika, a w rezultacie ograniczy niedokładności w wyznaczaniu ugięcia obliczeniowego.

Program pracy był podzielony na trzy roczne etapy z terminem zakończenia w 2006r.

W bieżącym 2006 roku zrealizowano ostatni III etap.

W obecnym III etapie zrealizowano następujące przedsięwzięcia:

1. Kontynuacja badań i nadzór na Sezonowych Odcinkach Testowych.
2. Analizy i charakterystyki uzyskanych wyników w zakresie ugięć sprężystych nawierzchni i danych klimatycznych.
3. Weryfikacja modeli sezonowych.
4. Określenie funkcji korygującej.
5. Określenie współczynników sezonowości.

W 2005 roku zrealizowano etap II.

W etapie II wykonano następujące przedsięwzięcia:

1. Analiza danych klimatycznych i regionalnych uzyskanych po zakończeniu I etap.
2. Analiza danych uzyskanych z badań terenowych w I etapie
3. Wstępne opracowanie modeli sezonowych na podstawie uzyskanych danych
4. Kontynuacja badań terenowych zgodnie z opracowanym programem badań
5. Kontrola pomiarów prowadzonych w terenie na odcinkach testowych
6. Zestawienie i podsumowanie II etapu badań z weryfikacją uzyskanych wyników

W 2004 roku zrealizowano etap I.

W etapie I wykonano następujące przedsięwzięcia:

1. Analiza charakterystyk warunków regionalnych i klimatycznych Polski
2. Opracowanie systemu zbierania i przetwarzania danych
3. Opracowanie programu badań terenowych
4. Wytypowanie odcinków testowych
5. Uruchomienie badań terenowych
6. Analiza i weryfikacja uzyskanych wyników pomiarów

W celu określenia wartości współczynników sezonowości na terenie kraju, są prowadzone całoroczne badania ugięć nawierzchni, w różnych regionach Polski.

Wyniki tej pracy będą wykorzystywane powszechnie w pomiarach i obliczeniach ugięć miarodajnych nawierzchni głównie przez firmy projektowe budownictwa drogowego – w projektowaniu nawierzchni metodą mechanistyczną. 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.

Jedną z obowiązujących metod wymiarowania konstrukcji, zgodnie z „Katalogiem wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych” 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, korygujący ugięcia ze względu na porę roku, w której wykonano pomiary. 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 doświadczenia 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.

Rezultaty pracy wykorzystywane będą w analizie wyników pomiarów ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD.

## 2. *Kontynuacja badań i nadzór na Sezonowych Odcinkach Testowych.*

Badania terenowe były kontynuowane w III etapie pracy na wytypowanych odcinkach badawczych. Odcinki zlokalizowano na terenie całego kraju ich położenie przedstawiono na Rys nr1 i tabeli 1.

Cykliczne badania ugięciomierzem belkowym realizowano we współpracy z laboratoriami terenowymi z Wrocławia, Szczecina, Białegostoku, Rzeszowa i Warszawy.

Z przeprowadzonych badań uzyskane wyniki zapisane w formularzach są archiwizowane. Wyniki badań polowych ugięć ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD są zestawione w Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni.

Otrzymywane wyniki są analizowane i weryfikowane.

Analiza i weryfikacja uzyskanych wyników badań obejmuje:

A) Analizę zmiany wielkości ugięć w zależności od:

- terminu badania (miesiąca),
- konstrukcji nawierzchni,
- rodzaju i wilgotności podłoża gruntowego,
- temperatury warstw bitumicznych,
- Obliczenie wartości średniej ugięcia dla odcinka badawczego,
- Obliczenie wartości odchylenia standardowego ugięć dla odcinka badawczego,
- Obliczenie wartości średniej standaryzowanej ugięcia dla odcinka badawczego wg wzoru [1],

$$U_i^{\text{śr stand}} = U_i / [(\sum U_i) / n]$$

Gdzie:

- $U_i^{\text{śr stand}}$  - średnia standaryzowana ugięcia dla odcinka badawczego,
- $U_i$  - wartość średnia ugięcia dla każdego badania odcinka badawczego,
- $n$  – ilość pomiarów na odcinku badawczym.

Analiza ugięć została pokazana w postaci wykresów standaryzowanych ugięć nawierzchni odcinków badawczych dla badań wykonywanych w okresie realizacji I, II i III etapu niniejszej pracy w Załączniku nr 3 – Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych,

W wyniku analizy i weryfikacji wyników badań z odcinków doświadczalnych są wykonywane bieżące oceny zmienności wyników dla kolejnych pomiarów i wybranych przekrojów:

- terminy badań-miesiące,
- wilgotność podłoża gruntowego,
- temperatury warstw bitumicznych (z korektą i bez korekty do warunków normalnych)
- korekta współczynnika temperatury zgodnie z zależnością:

$$\alpha=1+0,02(20-T)$$

gdzie:

$\alpha$ - korekta ugięć zależna od temperatury badania( wg - Katalog Wzmocnień Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych GDDP, Warszawa 2001,

T- temperatura warstw bitumicznych w trakcie badania.

Badania ugięciomierzem belkowym realizowano we współpracy z laboratoriami terenowymi z Wrocławia, Szczecina, Białegostoku, Rzeszowa i Warszawy.

W trakcie prowadzenia badań ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym była prowadzona wrywkowa kontrola wykonywania pomiarów na wszystkich odcinkach badawczych.

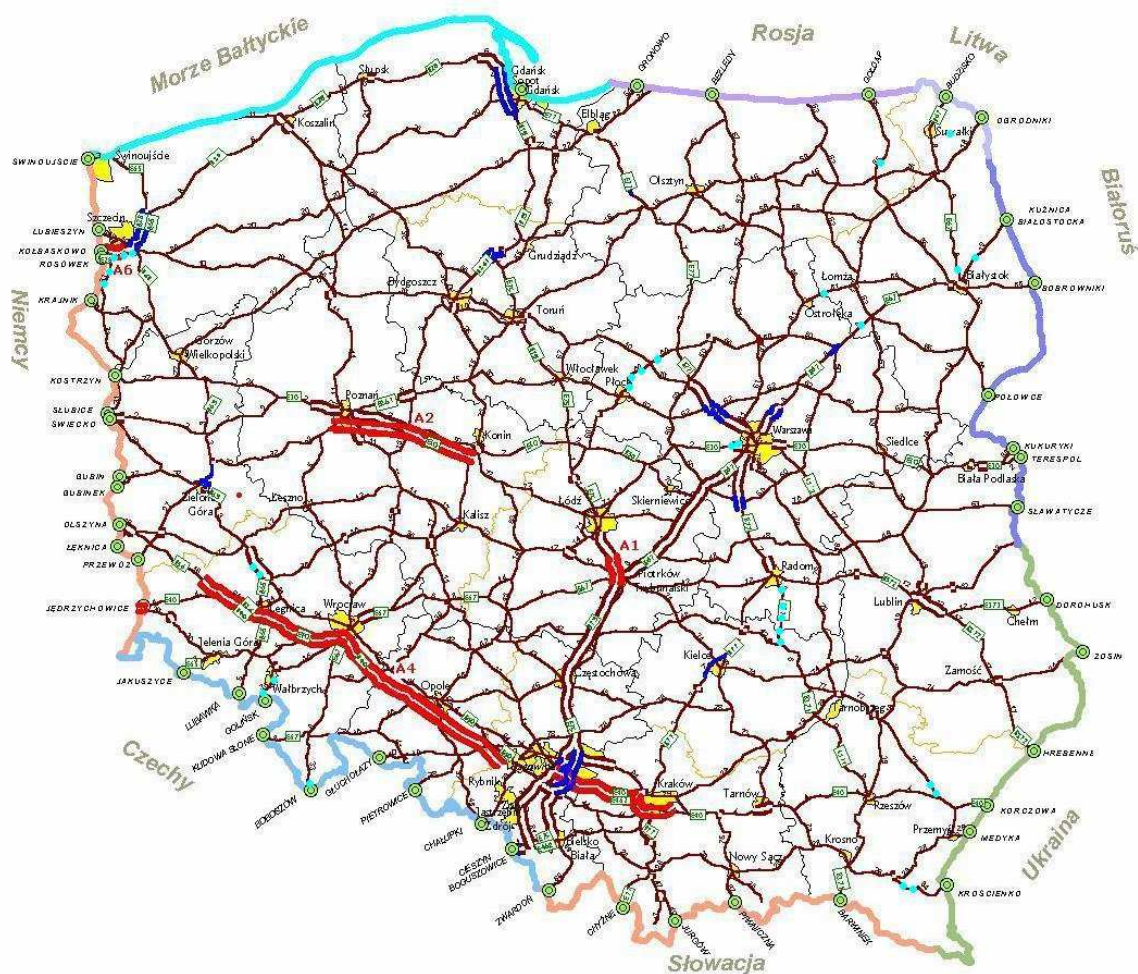
Kontrola miała na celu sprawdzenie prawidłowości wykonywania badań zgodnie z podanymi wytycznymi i normą – BN-70/8931-06 Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym.

Badania ugięć nawierzchni urządzeniem FWD prowadzone były przez IBDiM.

Kontrolowano wykonywanie badań jak również zapisy dokonywane w kartach badań.

Wybrane odcinki badawcze są reprezentatywne dla sieci drogowej w zakresie:

- położenia geograficznego (cały obszar kraju),
- stref przemarzania (wszystkie strefy przemarzania od 0,8 – 1,4),
- rodzajów gruntów podłoża (spoisłe, sypkie)
- rodzajów i grubości konstrukcji (podatne, półsztywne; 30-60cm).



Rys 1 Rozmieszczenie odcinków badawczych na terenie Polski

- – odcinek badawczy pomiaru ugięć sprężystych

Tabela 1 Zestawienie odcinków badawczych do pomiaru ugięć

Lp	Kod odcinka	Nr drogi	Kierunek	Pikietaż odcinka badawczego
<b>GDDKiA WARSZAWA</b>				
1	<b>TDW/01</b>	2	Bronisze „L”	465+600÷465+500
2	<b>TDW/02</b>	2	Bronisze „P”	464+400÷464+500
3	<b>TDW/03</b>	60	Płock ÷ Goślice (m. Goślice)	80+380÷80+480
4	<b>TDW/04</b>	60	Goślice ÷ Bielsk (m. Ciachcin)	83+520÷83+620
5	<b>TDW/05</b>	60	Drobin - Ciechanów	117+540÷117+640

6	<b>TDW/06</b>	60	Drobin - Ciechanów	122+100÷122+200
7	<b>TDW/07</b>	61	gr. m. Ostrołęka – gr woj. maz	127+800÷127+900
8	<b>TDW/08</b>	9	Modrzejowice - Iłża	23+540÷23+640
9	<b>TDW/09</b>	9	Skaryszew - Iłża	26+600÷26+700
10	<b>TDW/10</b>	9	Skaryszew - Iłża	28+280÷28+380
11	<b>TDW/11</b>	9	Skaryszew - Iłża	30+600÷30+700
12	<b>TDW/12</b>	9	Iłża - Brody	40+900÷41+000
<b>GDDKiA BIAŁYSTOK</b>				
13	<b>TDB/14</b>	8	Ostrów Maz – Zambrów (przed.m Żabikowo)	567+380÷567+480
14	<b>TDB/16</b>	19	Białystok - Kuźnica	44+600 ÷ 44+500
15	<b>TDB/17</b>	8	Białystok - Augustów	662+340 ÷ 662+440
16	<b>TDB/18</b>	653	Poćkuny – Bereźniki	37+200 ÷ 37+300
17	<b>TDB/19</b>	65	Olecko - Ełk	54+580 ÷ 54+680
<b>GDDKiA RZESZÓW</b>				
18	<b>TDR/20</b>	77	Wólka Pełkińska - Jarosław	124+520÷124+620
19	<b>TDR/21</b>	77	Wólka Pełkińska - Jarosław	126+800÷126+900
20	<b>TDR/22</b>	84	Zagórz - Lesko	10+400÷10+500
21	<b>TDR/23</b>	84	Zagórz - Lesko	11+600÷11+700
<b>GDDKiA WROCŁAW</b>				
22	<b>TDWr/24</b>	33	Międzyzlesie – gr. państwa	40+400 ÷ 40+500
23	<b>TDWr/25</b>	35	gr. państwa - Mieroszów	2+200 ÷ 2+300
24	<b>TDWr/26</b>	35	Mieroszów - Wałbrzych	11+000 ÷ 11+100
25	<b>TDWr/27</b>	3	Lubin(Przejście 1)	367+400 ÷ 367+500
26	<b>TDWr/28</b>	3	Lubin(Przejście 2)	368+200 ÷ 368+300
<b>GDDKiA SZCZECIN</b>				
27	<b>TDS/29</b>	A-6	Od granicy państwa	1+440 ÷ 1+540
28	<b>TDS/30</b>	A-6	Od granicy państwa - Międzyodrze	7+460 ÷ 7+560
29	<b>TDS/31</b>	A-6	Od granicy państwa	11+120 ÷ 11+220
30	<b>TDS/32</b>	31	Chojna	22+600 ÷ 22+700
31	<b>TDS/33</b>	31	Chojna	24+600 ÷ 24+700

W I etapie pracy opisano konstrukcję nawierzchni dla wszystkich odcinków badawczych w Załączniku nr 1 przedstawiono przekroje niniejszych odcinków badawczych.



### ***3. Analizy i charakterystyki uzyskanych wyników w zakresie ugięć sprężystych nawierzchni i danych klimatycznych.***

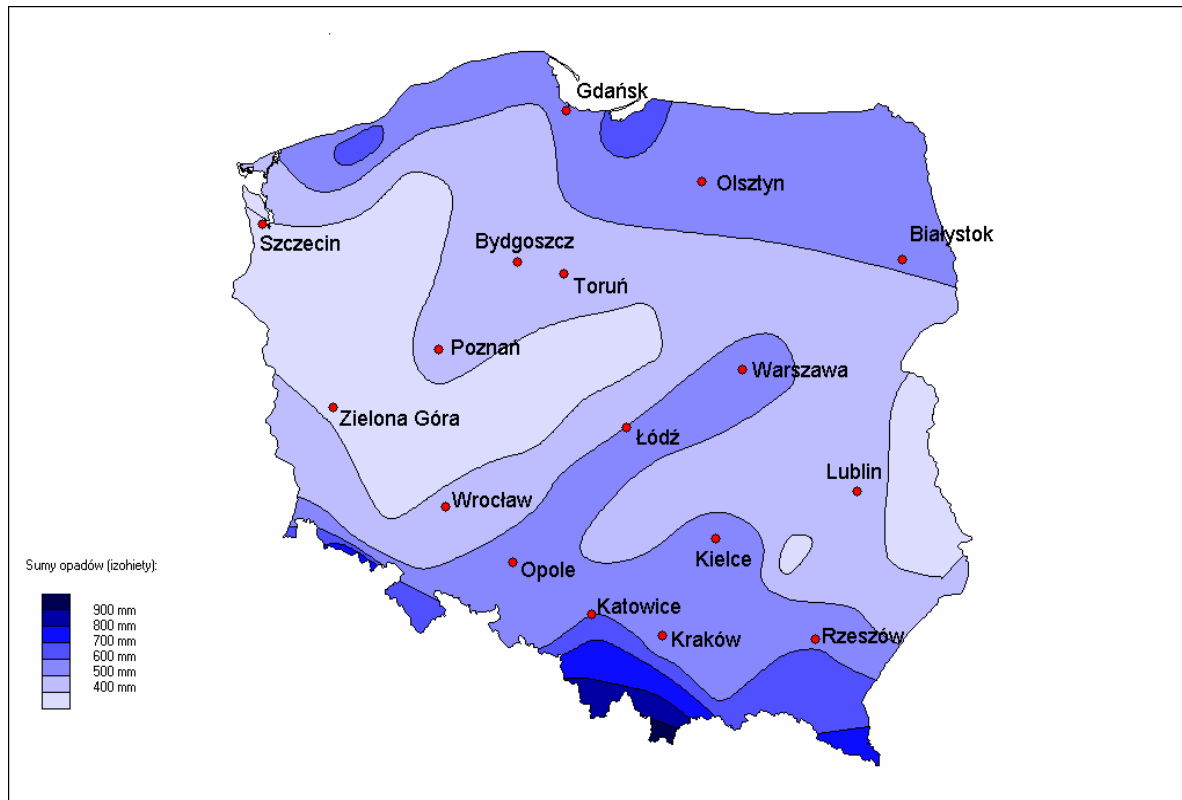
#### **Analizy i charakterystyki danych klimatycznych**

Opisy charakterystyki klimatu jak również występujących opadów atmosferycznych, temperatur powietrza oraz głębokości przemarzania gruntów dla terytorium Polski, oraz różnice klimatyczne występujące w Polsce stosunku do reszty Europy zostały szczegółowo opisane w I etapie niniejszej pracy.

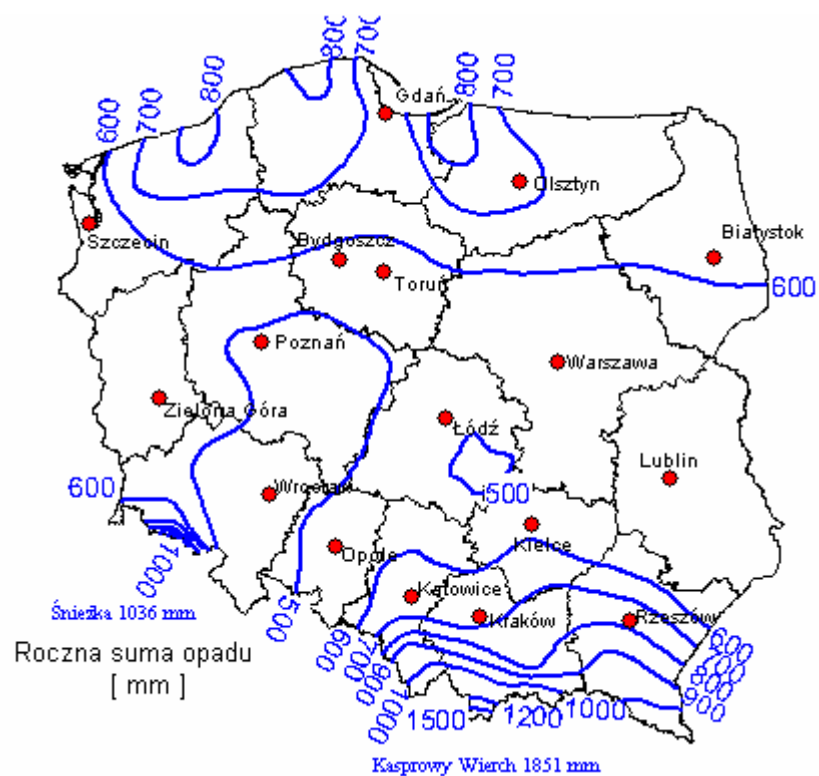
Obecnie przedstawiona zostanie sytuacja klimatyczna na obszarze kraju dla okresu realizacji I, II i III etapu pracy oraz obserwacje wieloletnie z lat 1971 – 2000 wg „Atlasu Klimatu Polski” - IMGiW 2005 i strony internetowej: [www.imgw.pl](http://www.imgw.pl).

#### **Opady atmosferyczne**

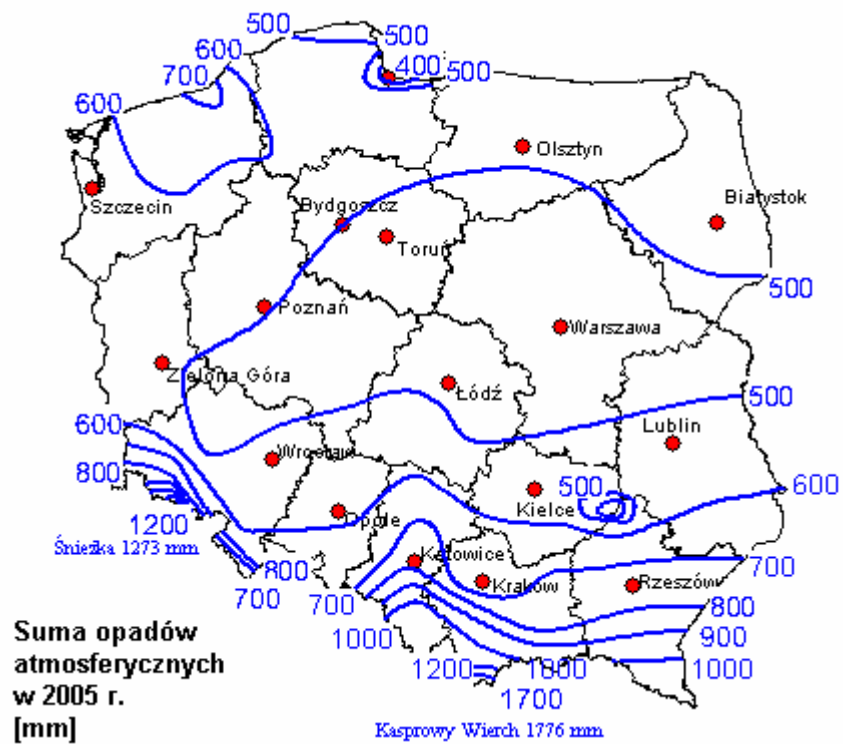
Rozkład wielkości rocznych opadów atmosferycznych dla lat 2003, 2004 i 2005 przedstawiono na rysunkach nr 2, 3, 4 i w tabeli nr 2.



Rys 2 Wielkość rocznych opadów w 2003r



Rys 3 Wielkość rocznych opadów w 2004r



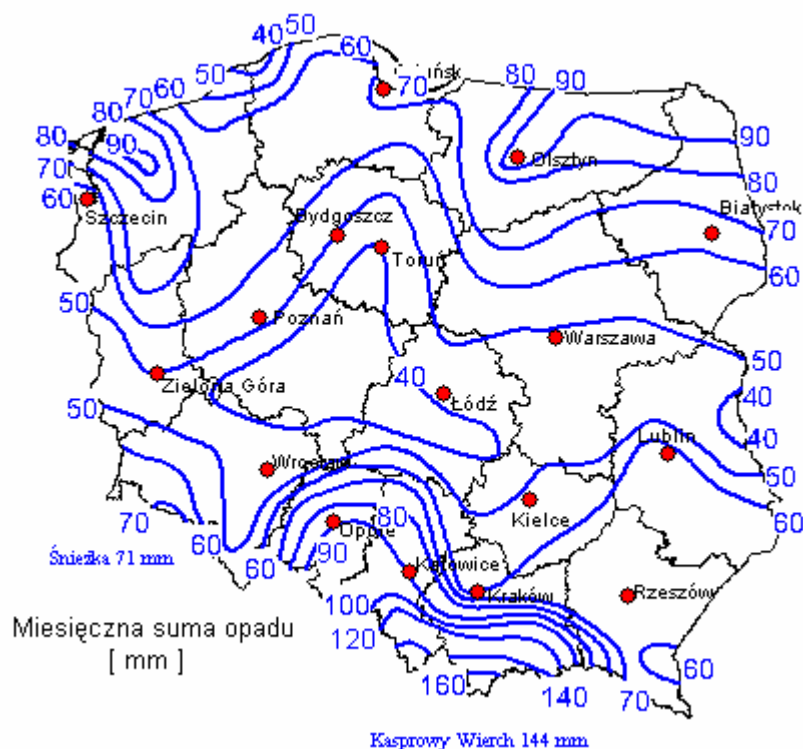
Rys 4 Wielkość rocznych opadów w 2005r

Tabela 2 Zestawienie wielkości rocznych opadów atmosferycznych na terenie Polski.

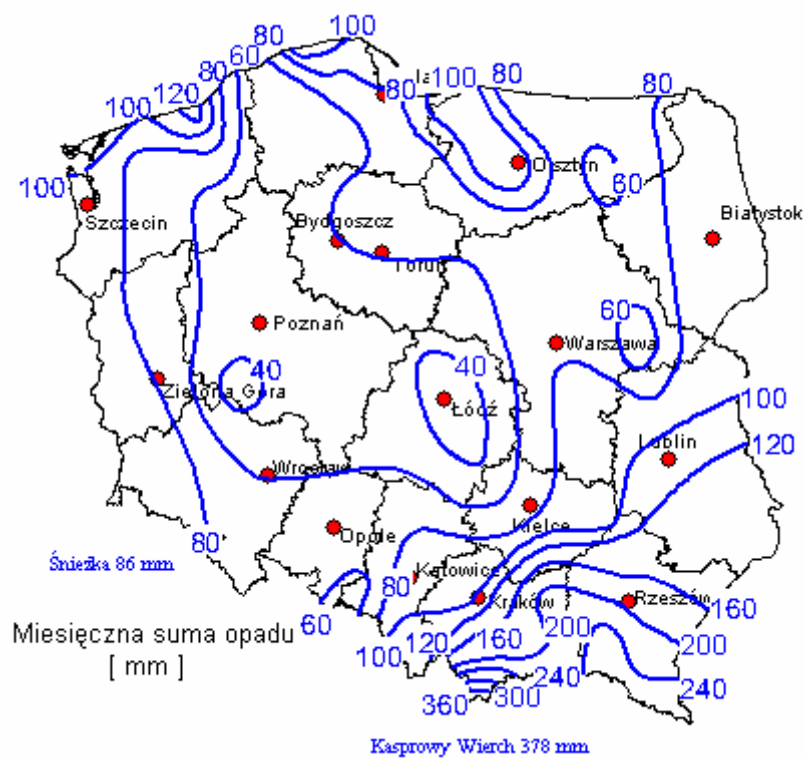
Opady atmosferyczne w [mm]				
Lp	Rok	Opady aktualne		Średnie Opady max - min z lat 1971-2000
		Opady maksymalne Bez obszarów górkich	Opady minimalne	
1	2003	700	300	1000 - 550
2	2004	1000	500	
3	2005	1000	400	

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

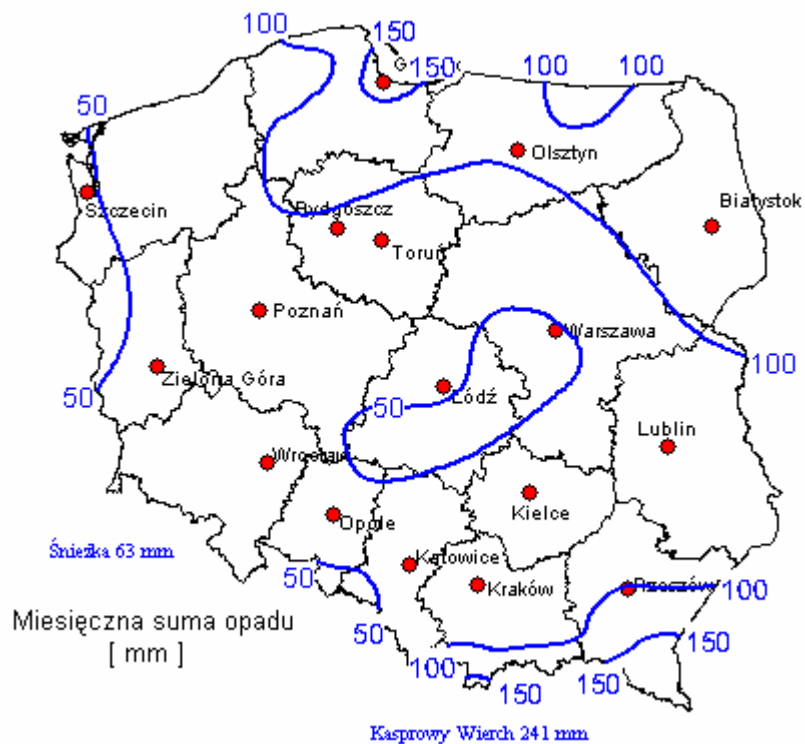
Rozkład wielkości opadów występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004 r do października 2006 r (I, II i III etap) przedstawiono na rysunkach nr 5 do nr 33 i w tabeli nr 3.



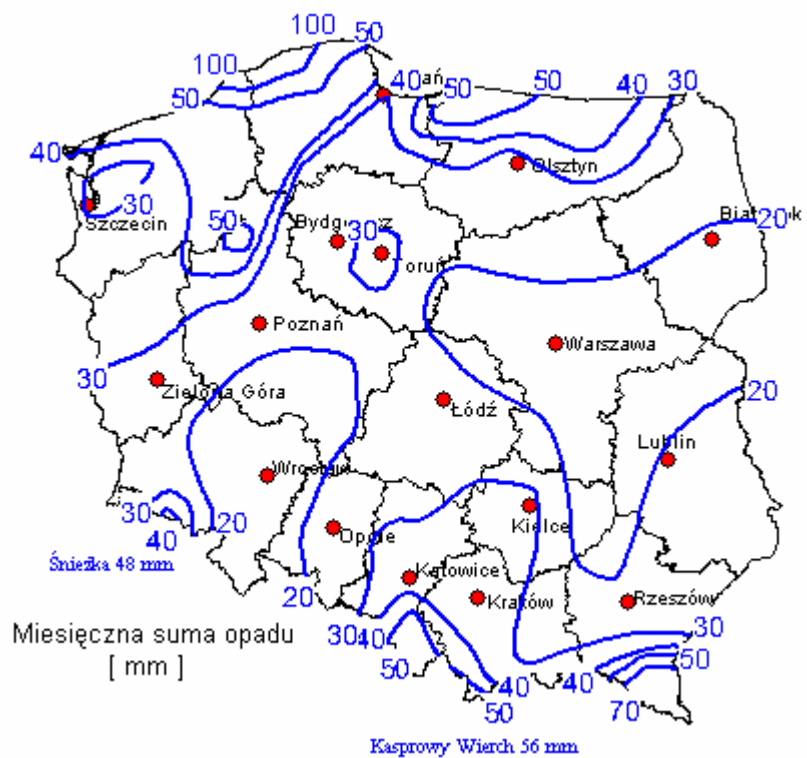
Rys 5 Wielkość opadów w czerwcu 2004r



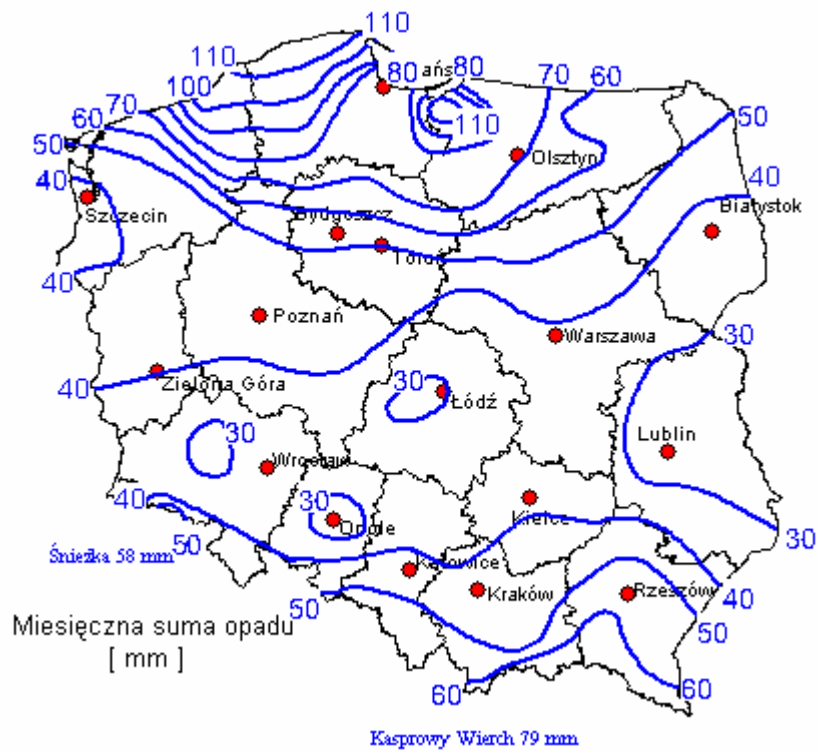
Rys 6 Wielkość opadów w lipcu 2004r



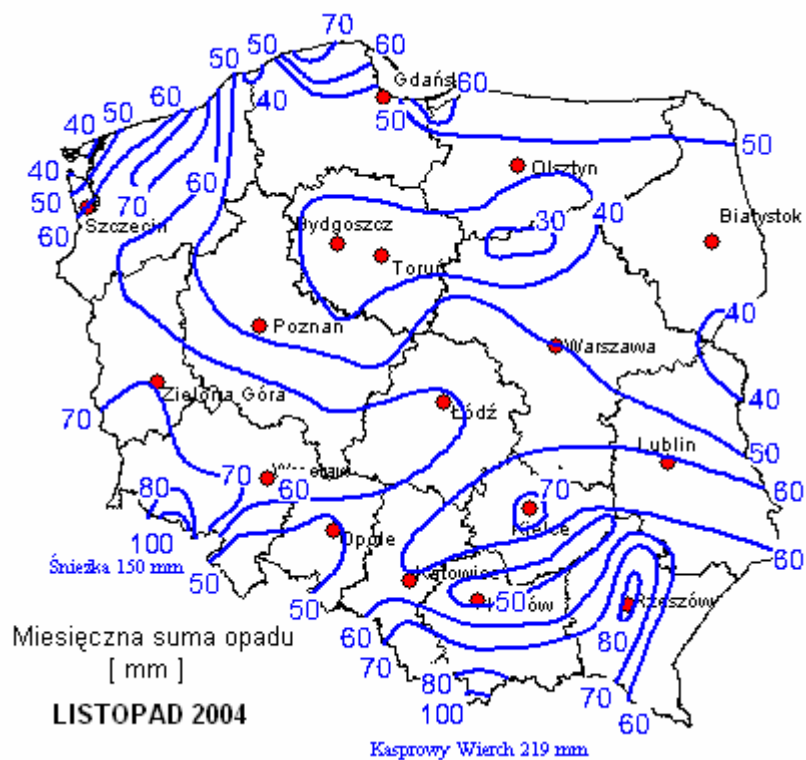
Rys 7 Wielkość opadów w sierpniu 2004r



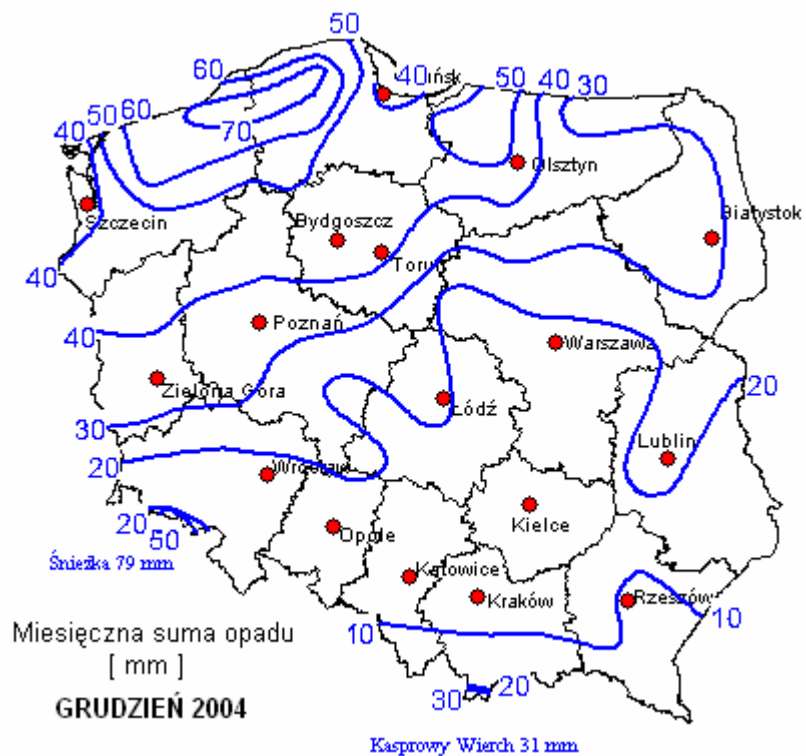
Rys 8 Wielkość opadów we wrześniu 2004r



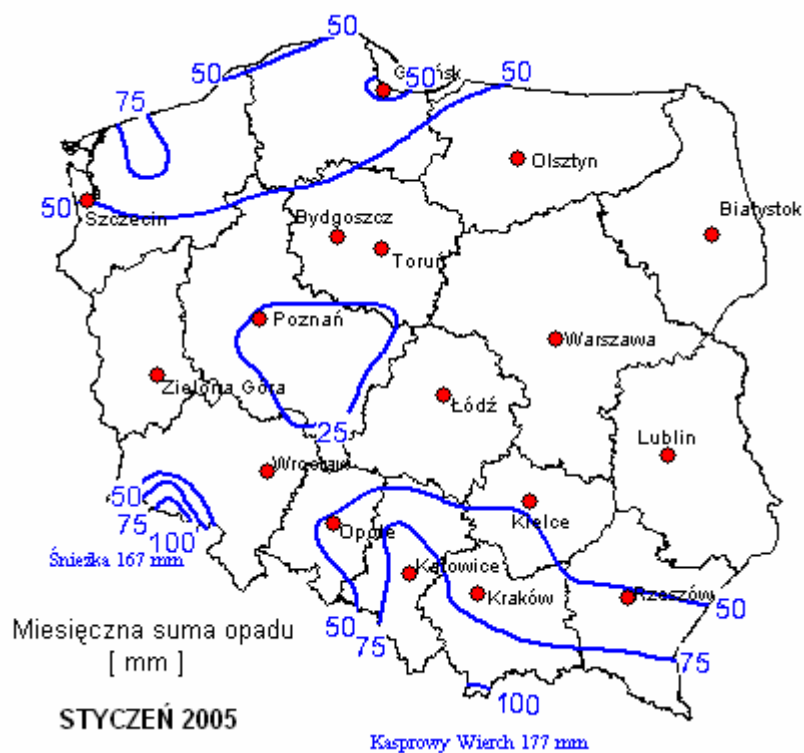
Rys 9 Wielkość opadów w październiku 2004r



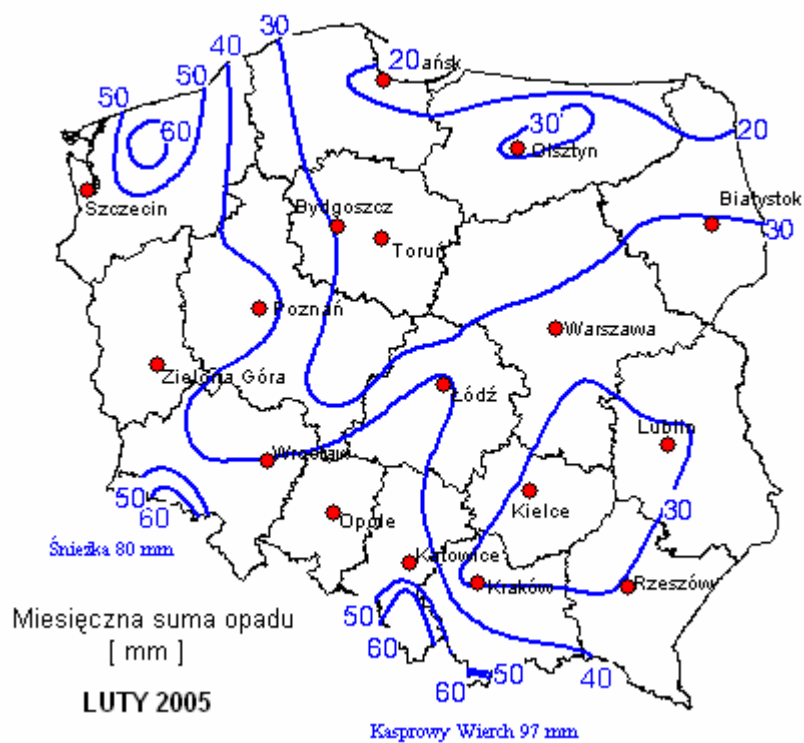
Rys 10 Wielkość opadów w listopadzie 2004r



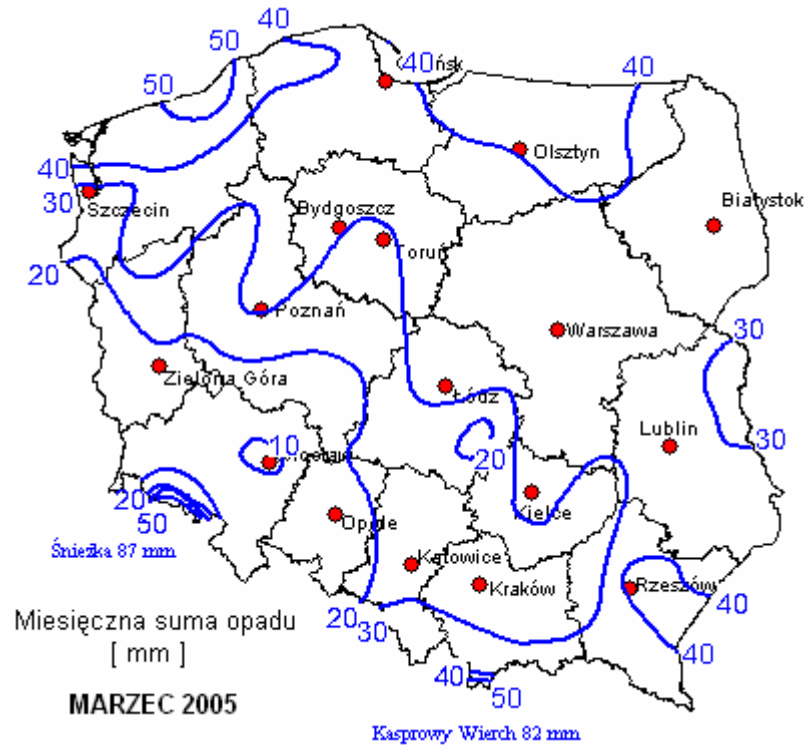
Rys 11 Wielkość opadów w grudniu 2004r



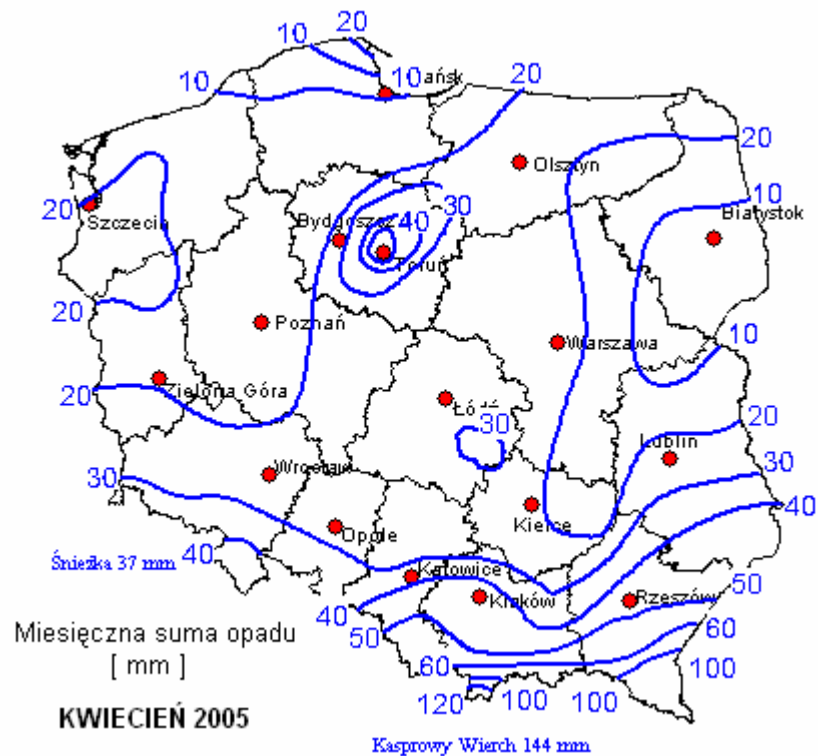
Rys 12 Wielkość opadów w styczniu 2005r



Rys 13 Wielkość opadów w lutym 2005r

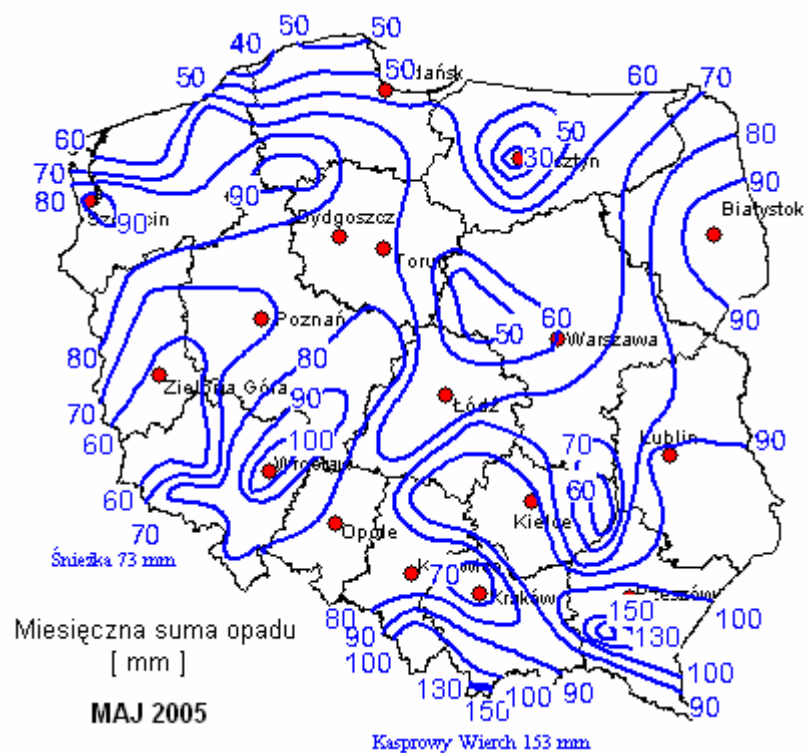


Rys 14 Wielkość opadów w marcu 2005r

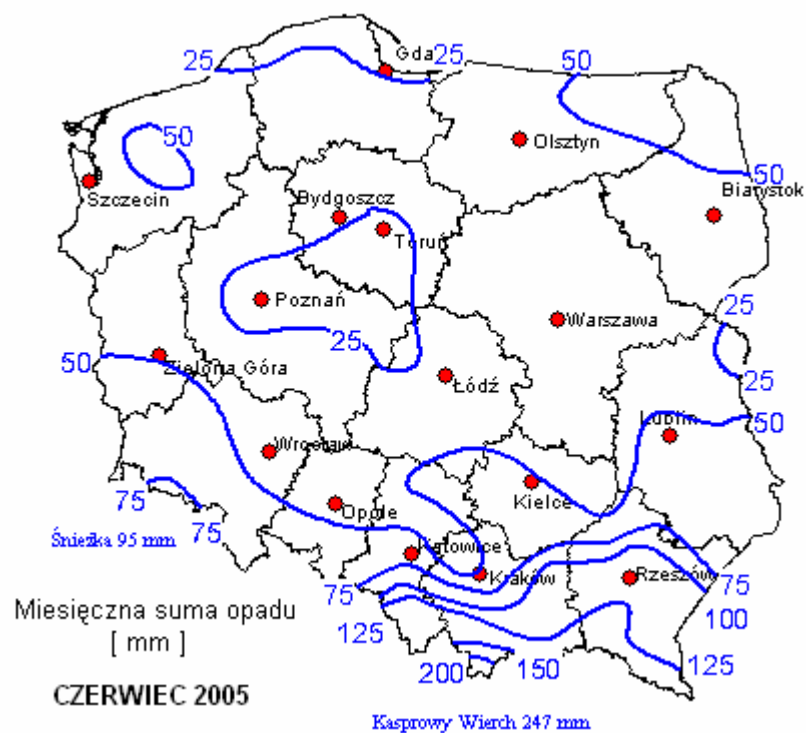


Rys 15 Wielkość opadów w kwietniu 2005r

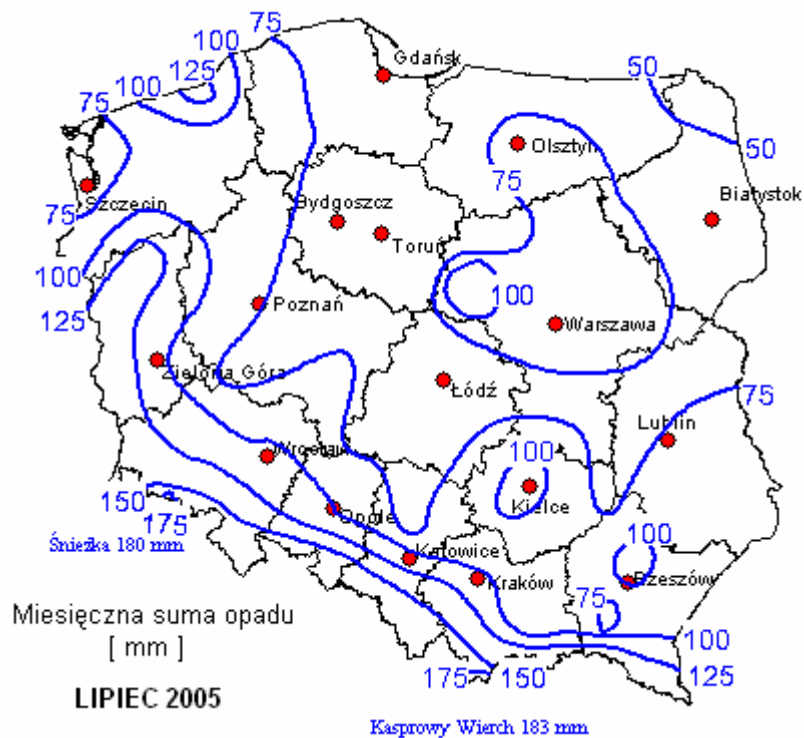




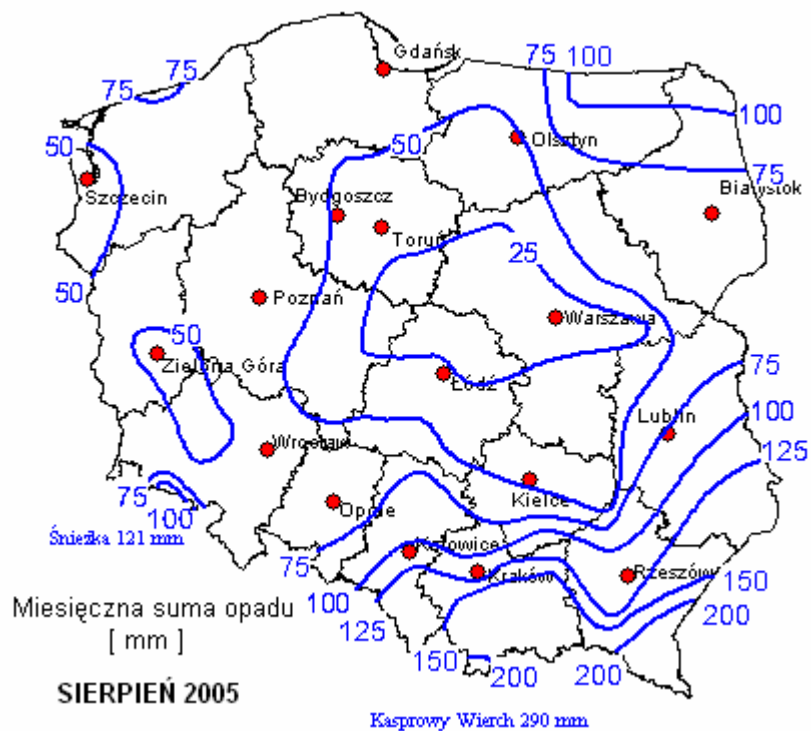
Rys 16 Wielkość opadów w maju 2005r



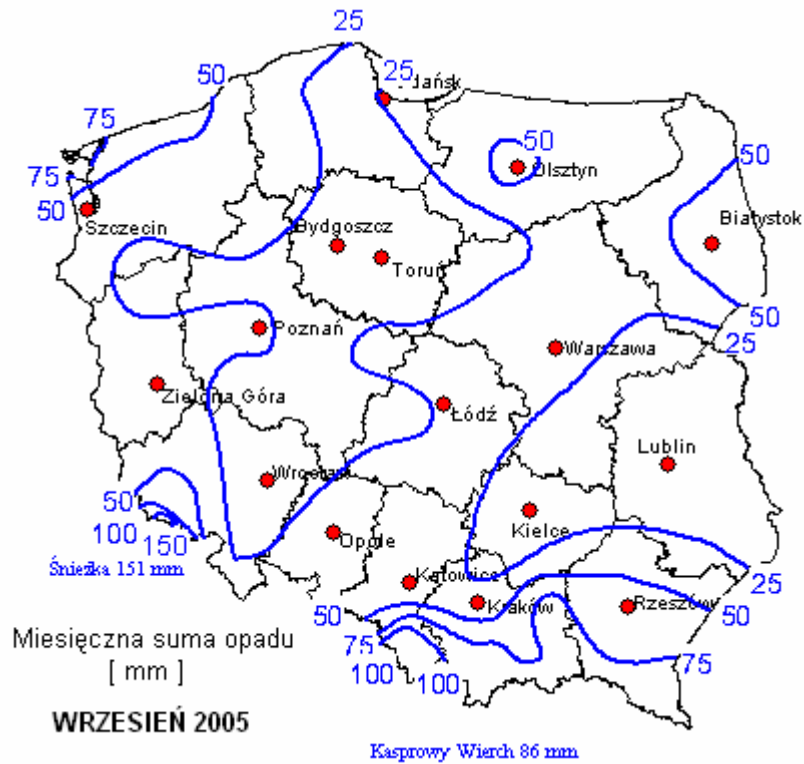
Rys 17 Wielkość opadów w czerwcu 2005r



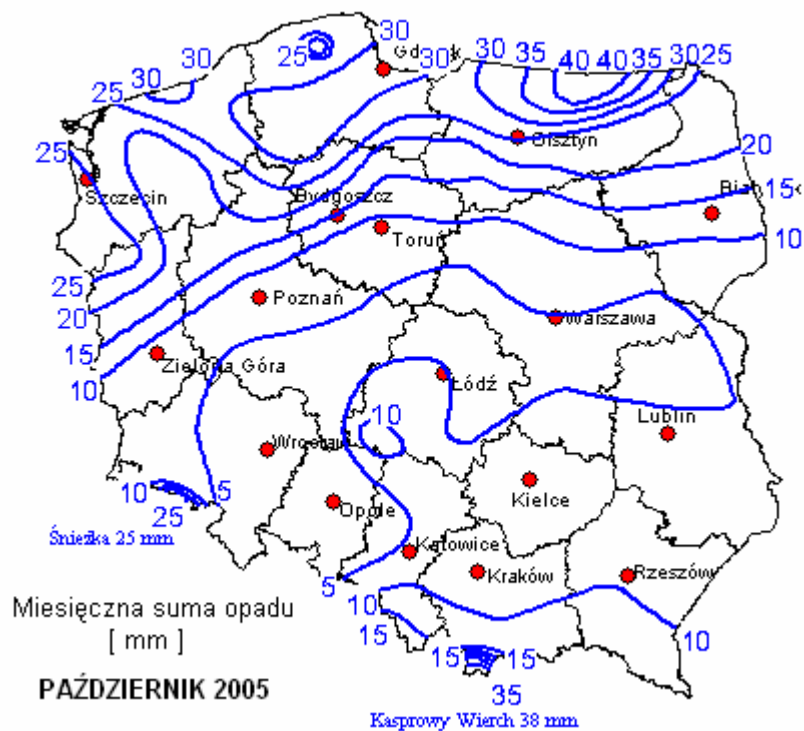
Rys 18 Wielkość opadów w lipcu 2005r



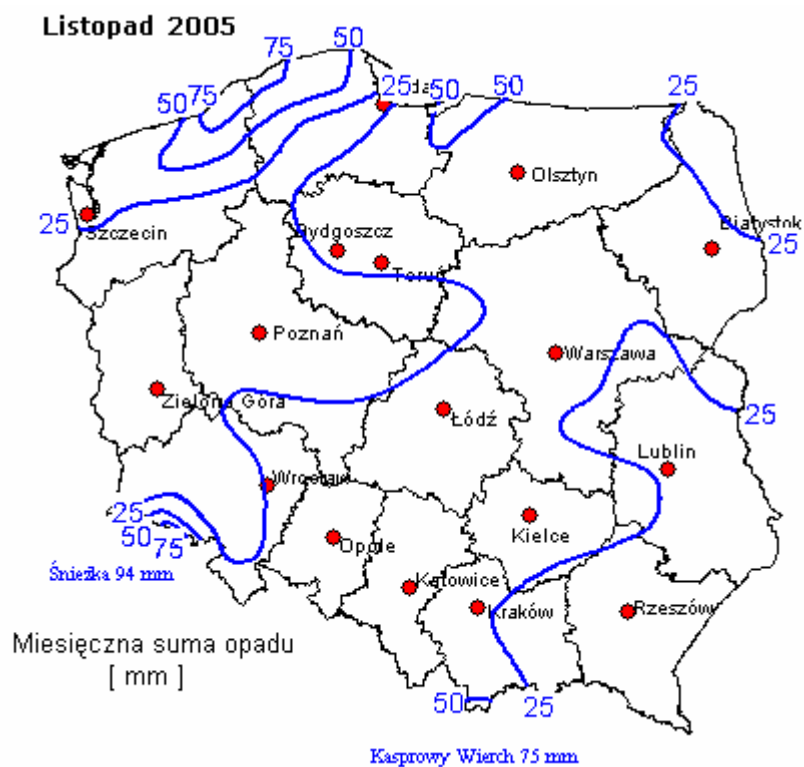
Rys 19 Wielkość opadów w sierpniu 2005r



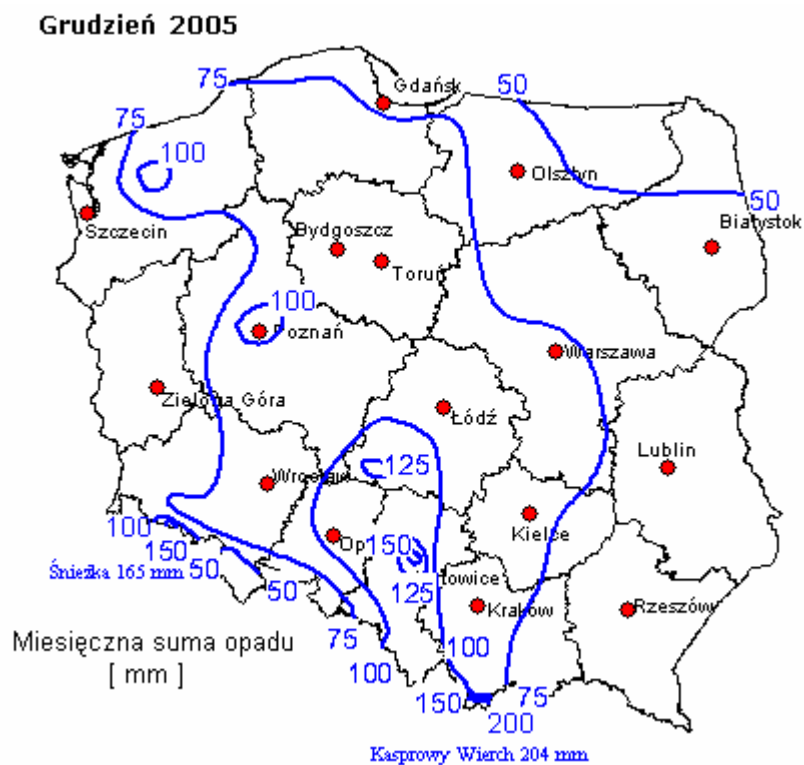
Rys 20 Wielkość opadów we wrześniu 2005r



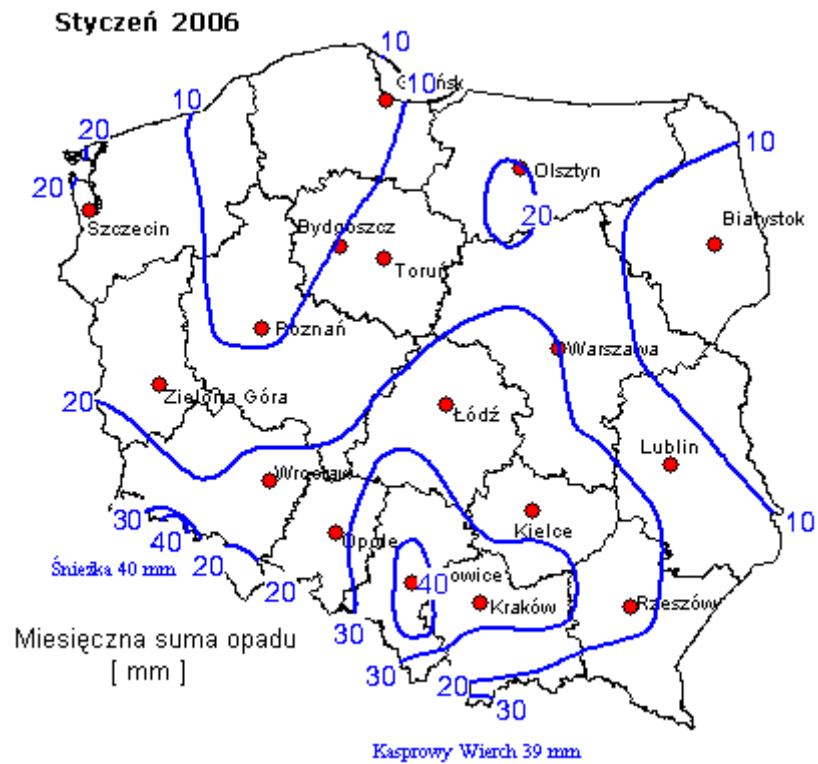
Rys 21 Wielkość opadów w październiku 2005r



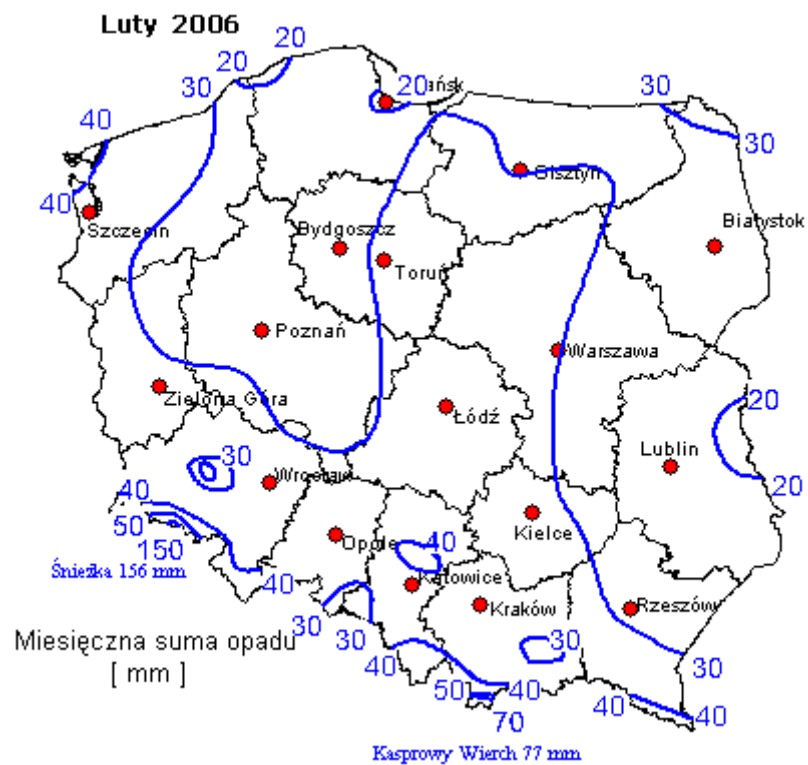
Rys 22 Wielkość opadów w listopadzie 2005r



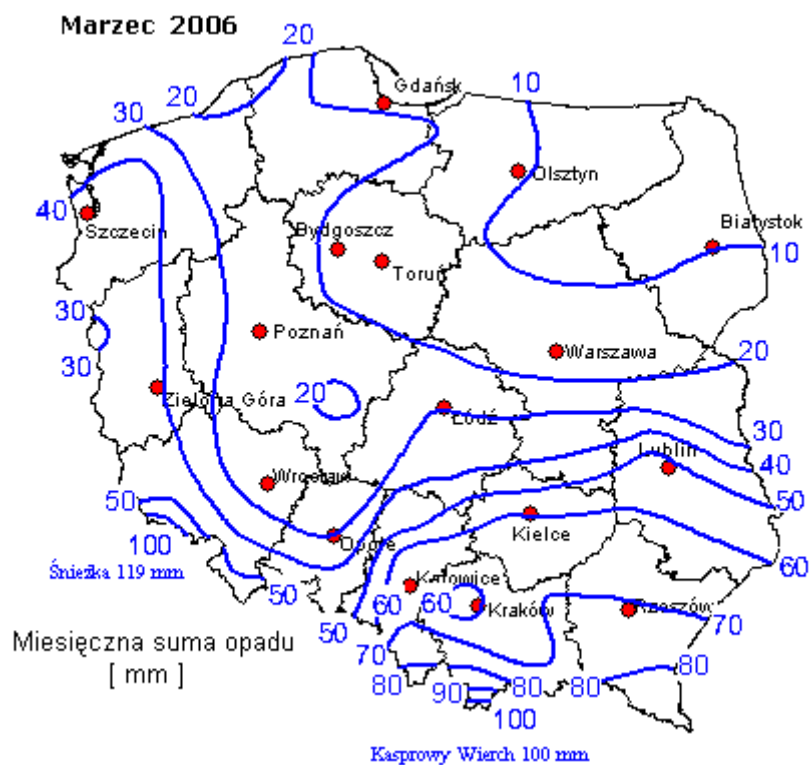
Rys 23 Wielkość opadów w grudniu 2005r



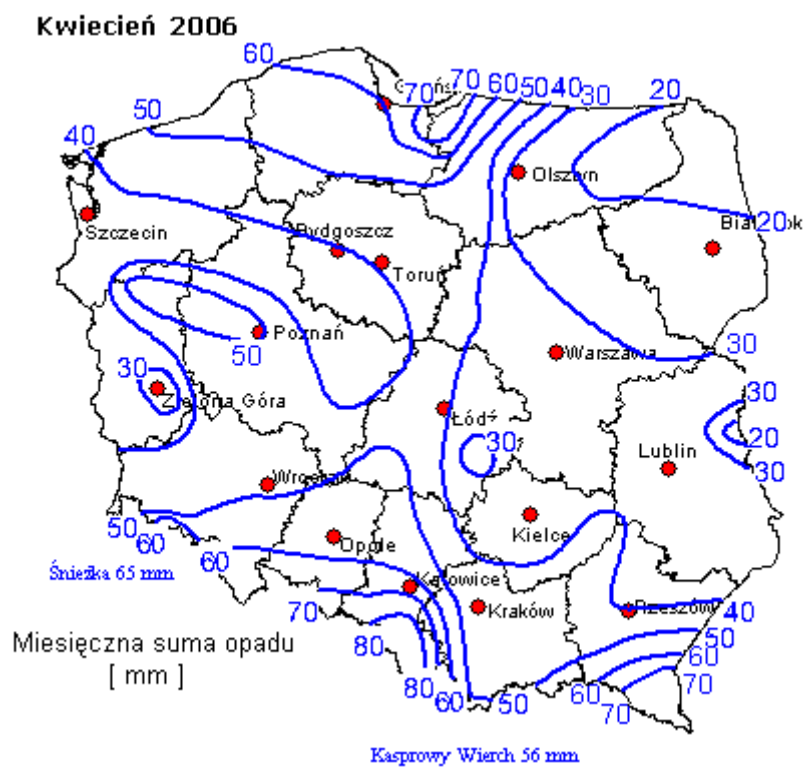
Rys 24 Wielkość opadów w styczniu 2006r



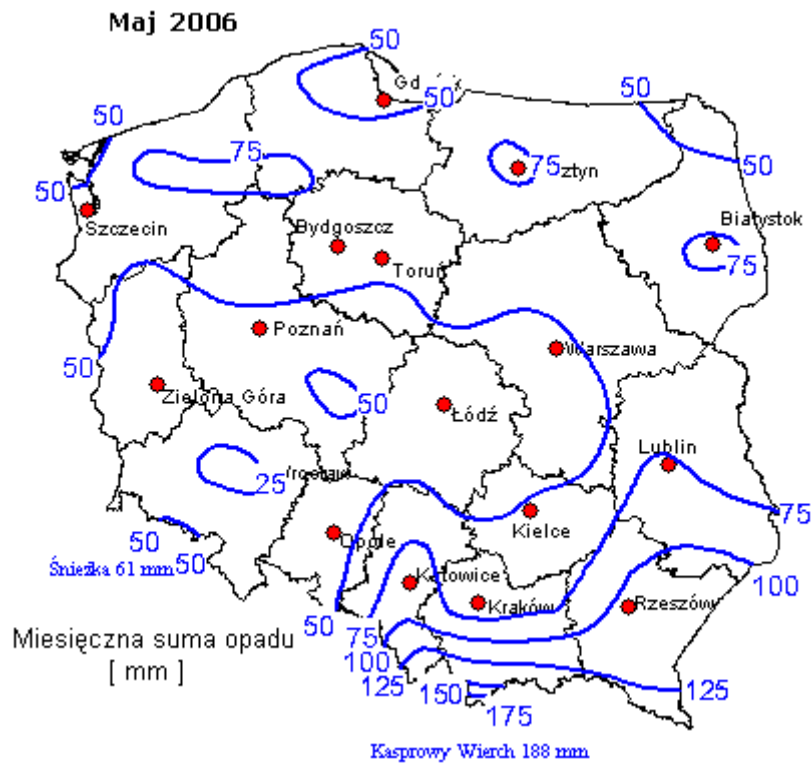
Rys 25 Wielkość opadów w lutym 2006r



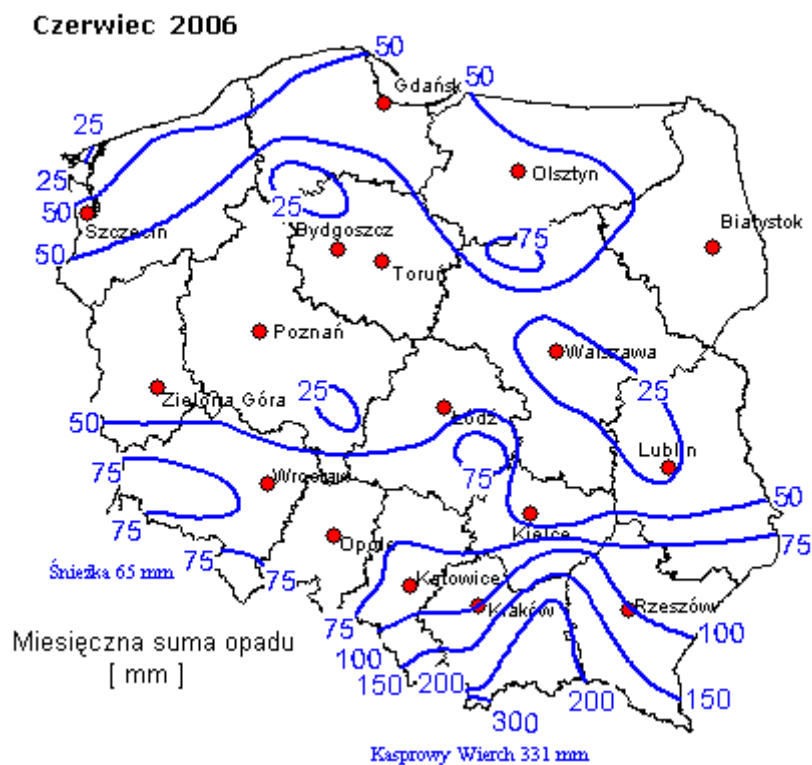
Rys 26 Wielkość opadów w marcu 2006r



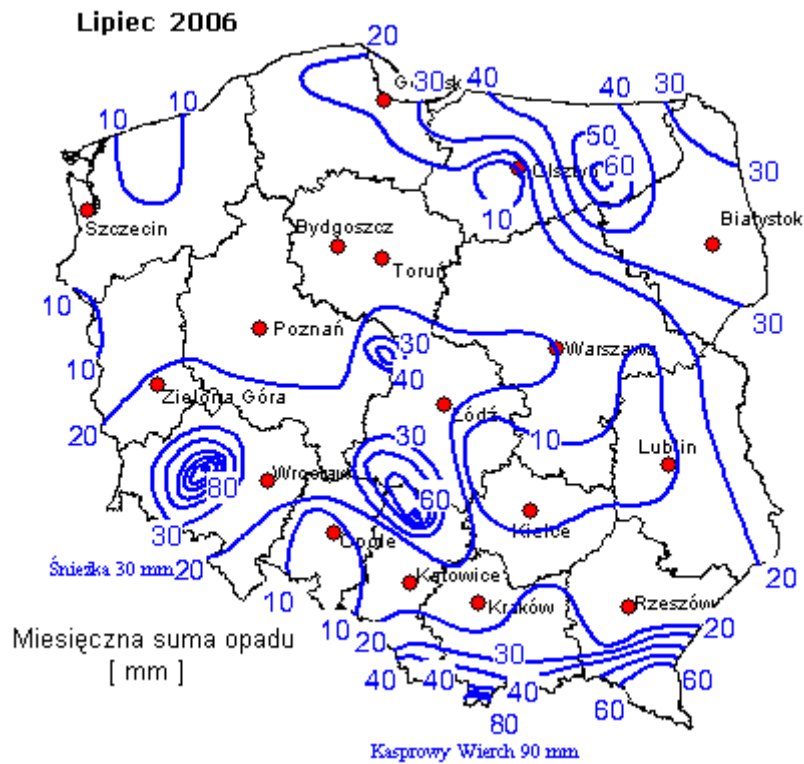
Rys 27 Wielkość opadów w kwietniu 2006r



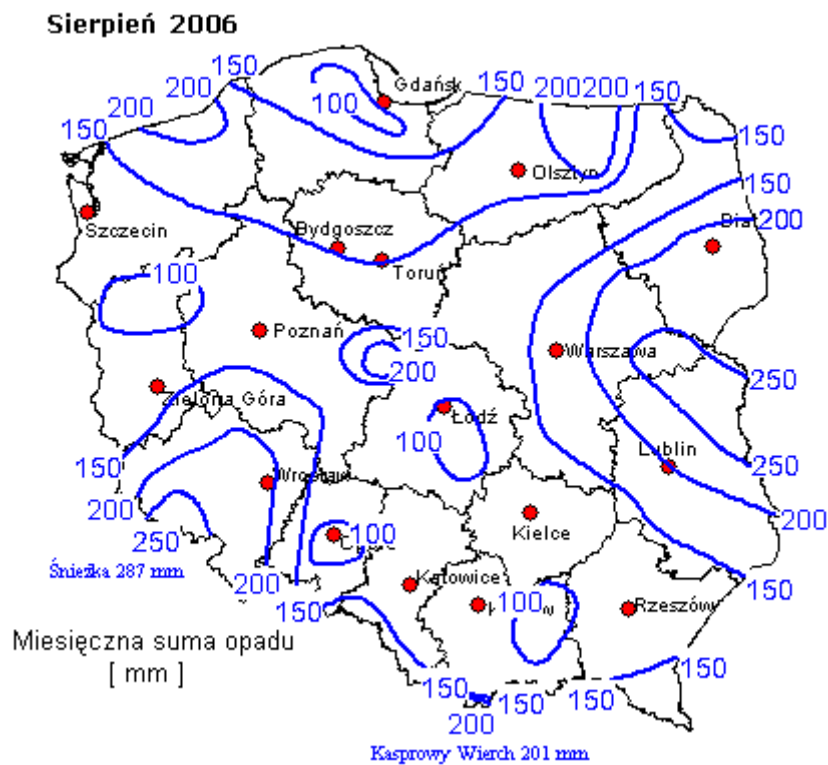
Rys 28 Wielkość opadów w maju 2006r



Rys 29 Wielkość opadów w czerwcu 2006r

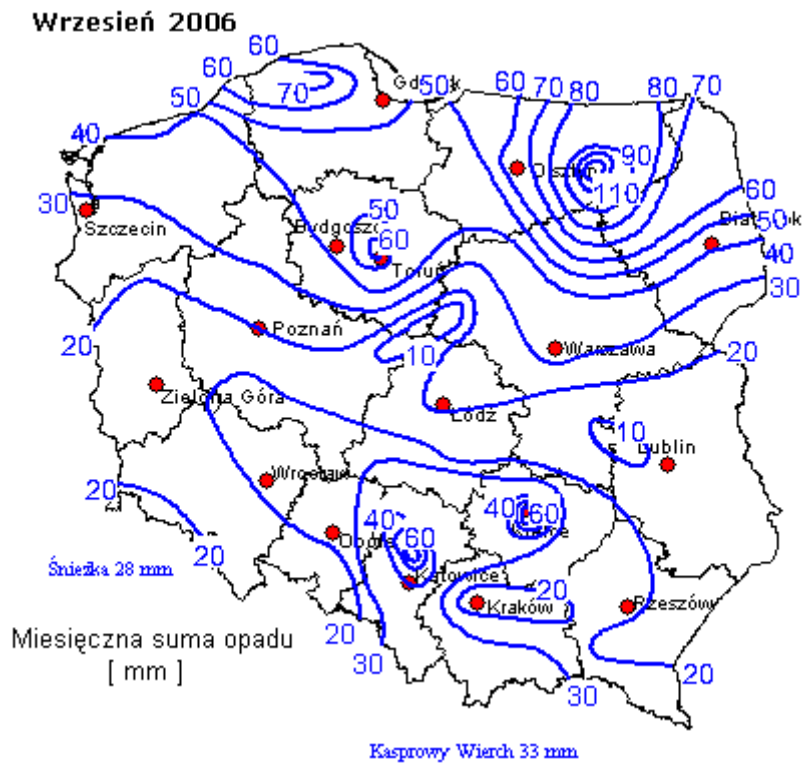


Rys 30 Wielkość opadów w lipcu 2006r

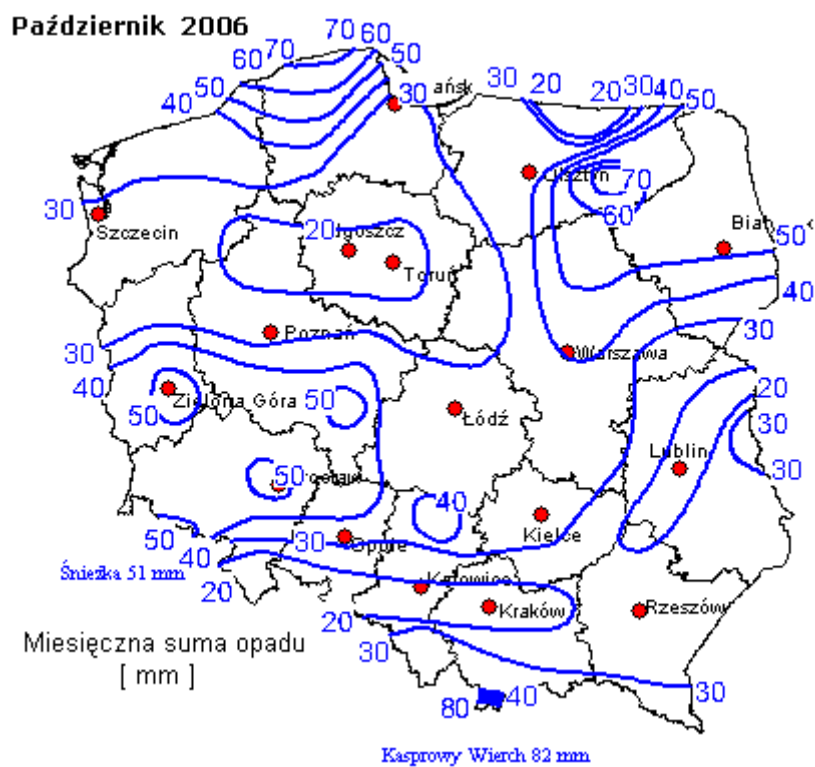


Rys 31 Wielkość opadów w sierpniu 2006r





Rys 32 Wielkość opadów we wrześniu 2006r



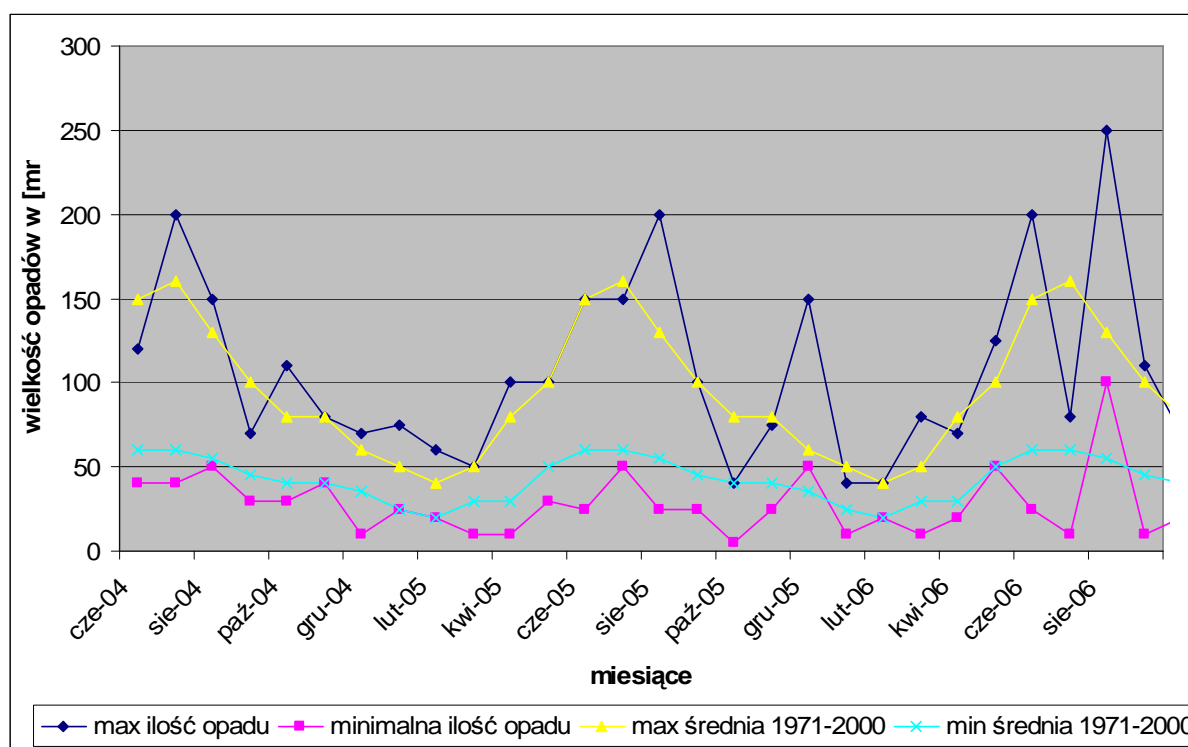
Rys 33 Wielkość opadów we październiku 2006r

Tabela 3 Zestawienie średnich wielkości opadów atmosferycznych na terenie Polski.

Opady atmosferyczne w [mm]				
Lp	Miesiąc	Opady aktualne		Średnie opady z lat 1971-2000 (maksymalne - minimalne) dla miesięcy
		Opady maksymalne bez obszarów górskich	Opady minimalne	
1	Czerwiec 2004	120	40	150-60
2	Lipiec 2004	200	40	160 – 60
3	Sierpień 2004	150	50	130 – 55
4	Wrzesień 2004	70	30	100 - 45
5	Październik 2004	110	30	80 - 40
6	Listopad 2004	80	40	80 - 40
7	Grudzień 2004	70	10	60 – 35
8	Styczeń 2005	75	25	50 - 25
9	Luty 2005	60	20	40 - 20
10	Marzec 2005	50	10	50 – 30
11	Kwiecień 2005	100	10	80 – 30
12	Maj 2005	100	30	100 – 50
13	Czerwiec 2005	150	25	150-60
14	Lipiec 2005	150	50	160 – 60
15	Sierpień 2005	200	25	130 – 55
16	Wrzesień 2005	100	25	100 - 45
17	Październik 2005	40	5	80 - 40
18	Listopad 2005	75	25	80 - 40
19	Grudzień 2005	150	50	60 – 35
20	Styczeń 2006	40	10	50 - 25
21	Luty 2006	40	20	40 - 20
22	Marzec 2006	80	10	50 – 30
23	Kwiecień 2006	70	20	80 – 30
24	Maj 2006	125	50	100 – 50
25	Czerwiec 2006	200	25	150-60

26	Lipiec 2006	80	10	160 – 60
27	Sierpień 2006	250	100	130 – 55
28	Wrzesień 2006	110	10	100 - 45
29	Październik 2006	70	20	80 - 40

Na rysunku nr 34 przedstawiono zestawienie minimalnych i maksymalnych opadów miesięcznych występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004r do października 2006r oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 - 2000.

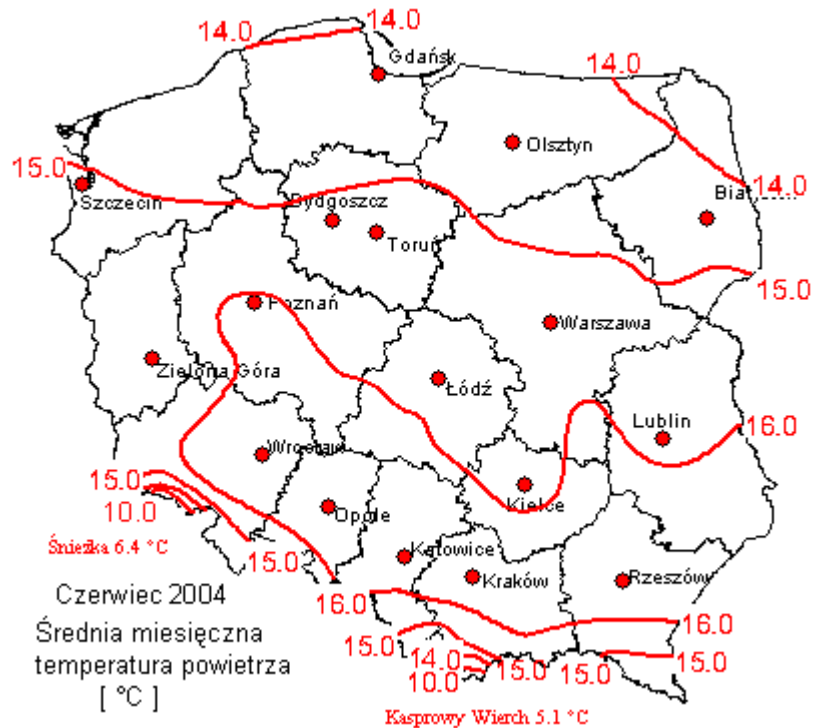


Rys 34 Zestawienie wielkości miesięcznych opadów atmosferycznych na terenie Polski w okresie od czerwca 2004r do października 2006 r oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 - 2000.

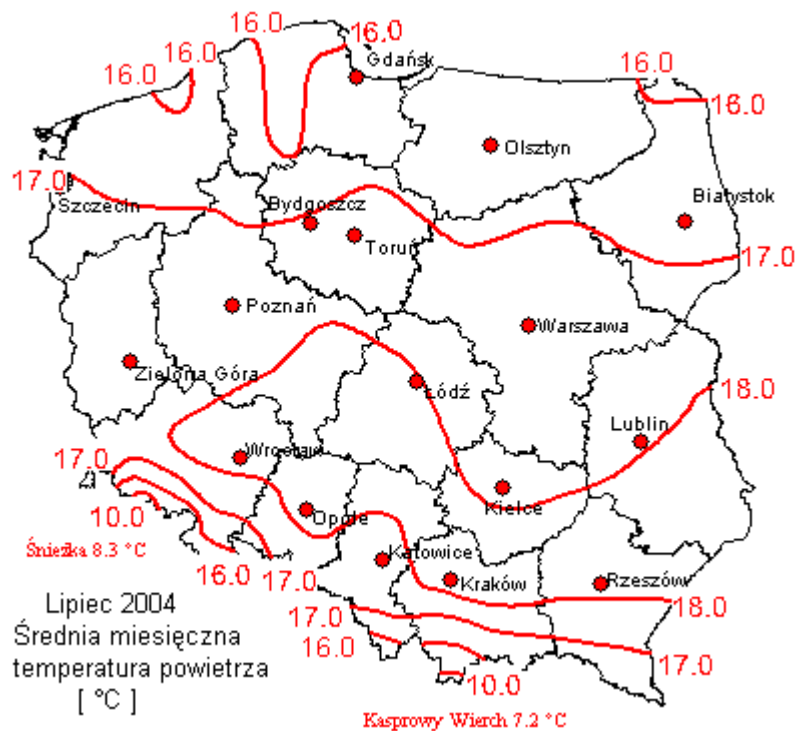
Suma średnich miesięcznych opadów atmosferycznych w okresie od czerwca 2004r do października 2006 była zbliżona do średnich maksymalnych miesięcznych z lat 1971-2000, natomiast lekko obniżona w zakresie opadów minimalnych.

## Temperatury

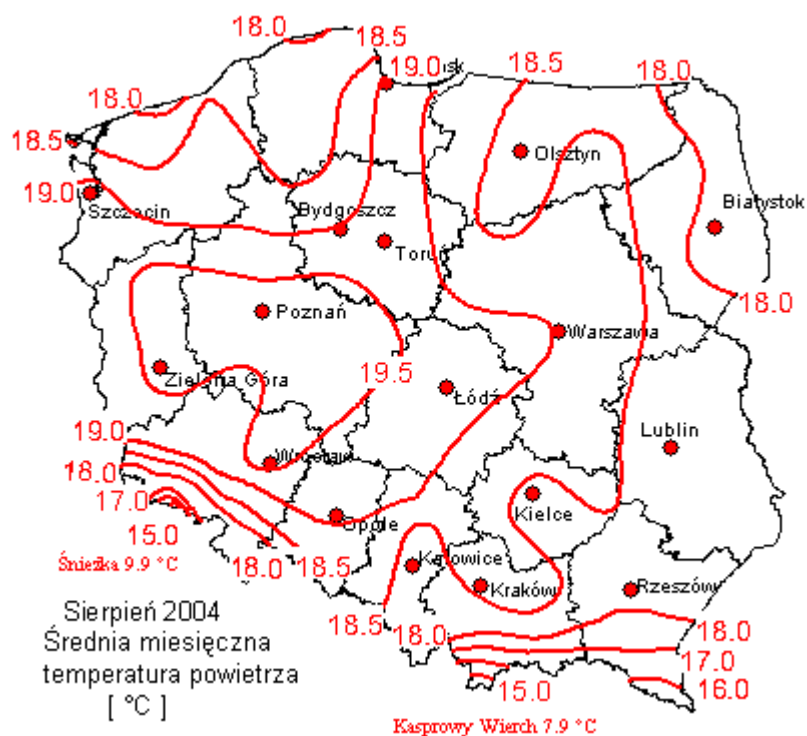
Rozkład średnich temperatur występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004 r do października 2006 r (I, II i III etap) przedstawiono na rysunkach nr 35 do nr i w tablicy nr 4.



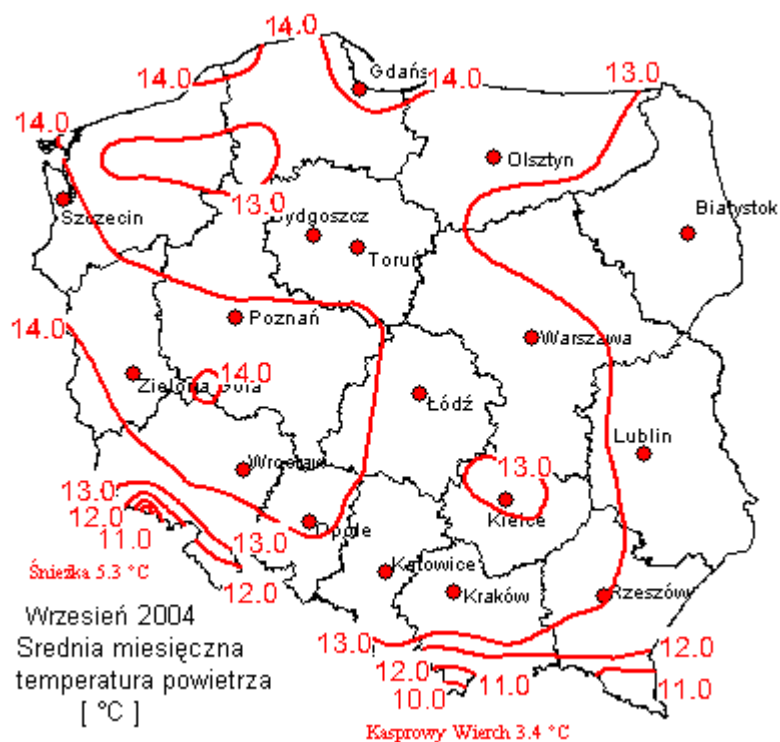
Rys.35 Średnia miesięczna temperatura powietrza w czerwcu 2004 roku w Polsce



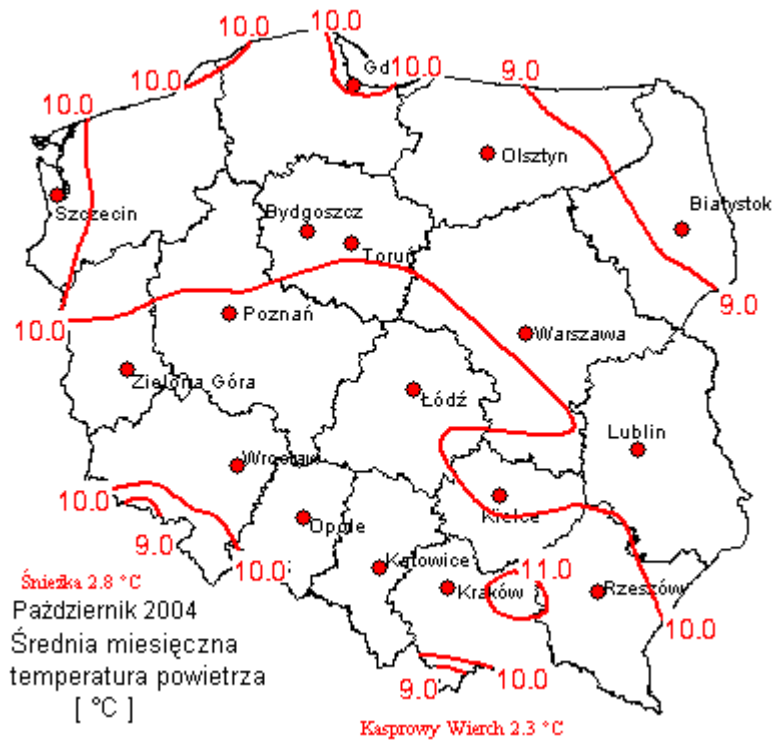
Rys.36 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lipcu 2004 roku w Polsce



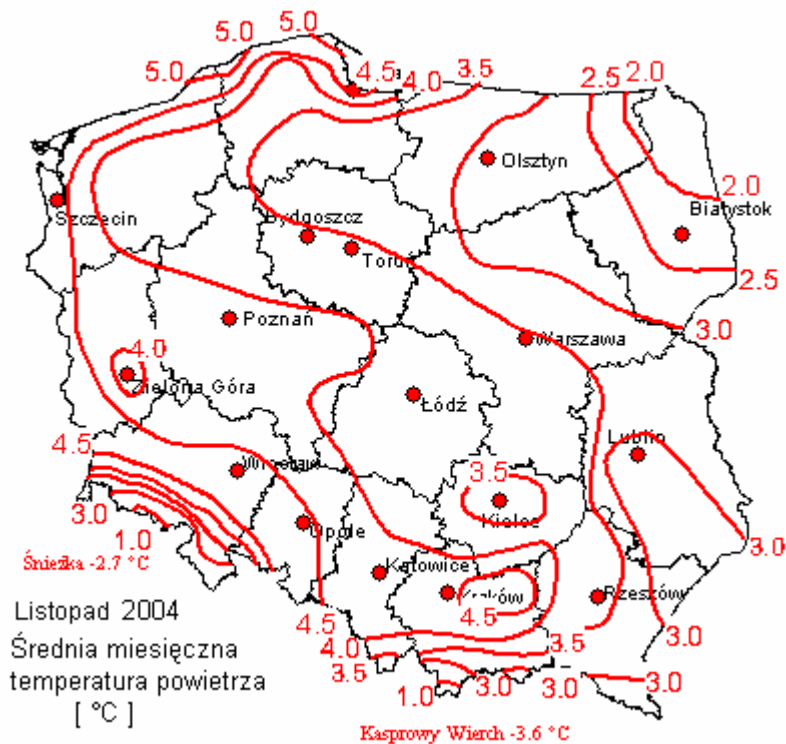
Rys.37 Średnia miesięczna temperatura powietrza w sierpniu 2004 roku w Polsce



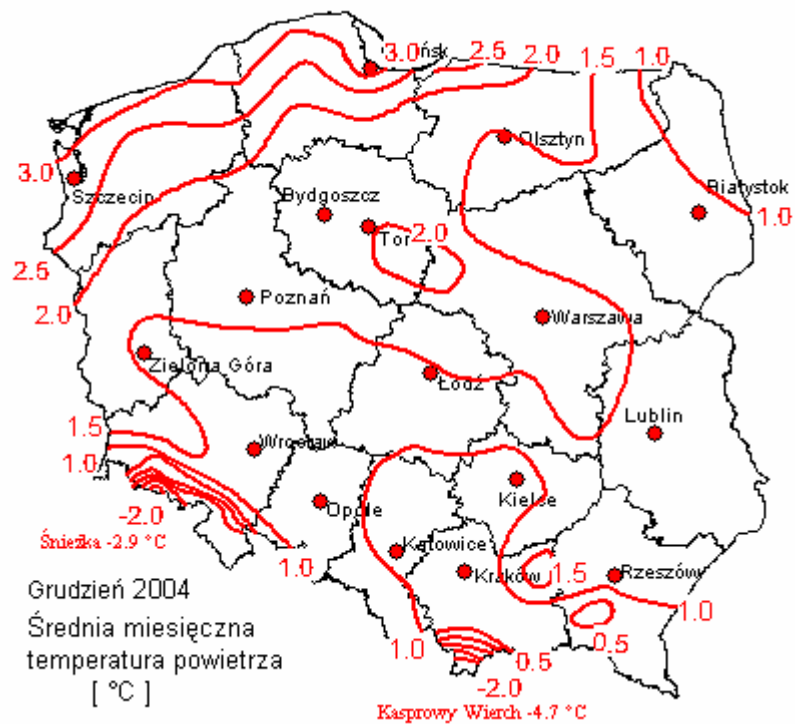
Rys.38 Średnia miesięczna temperatura powietrza we wrześniu 2004 roku w Polsce



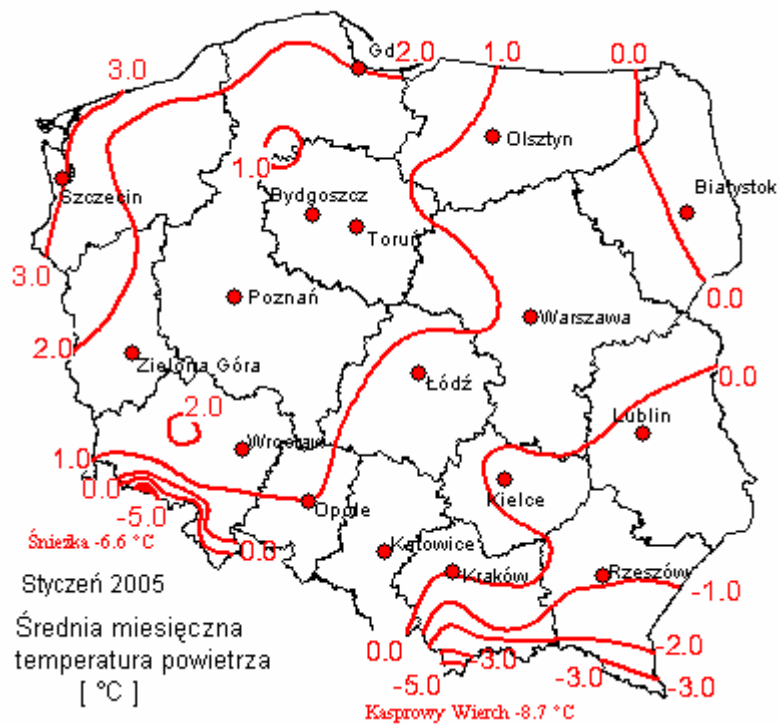
Rys.39 Średnia miesięczna temperatura powietrza w październiku 2004 roku w Polsce



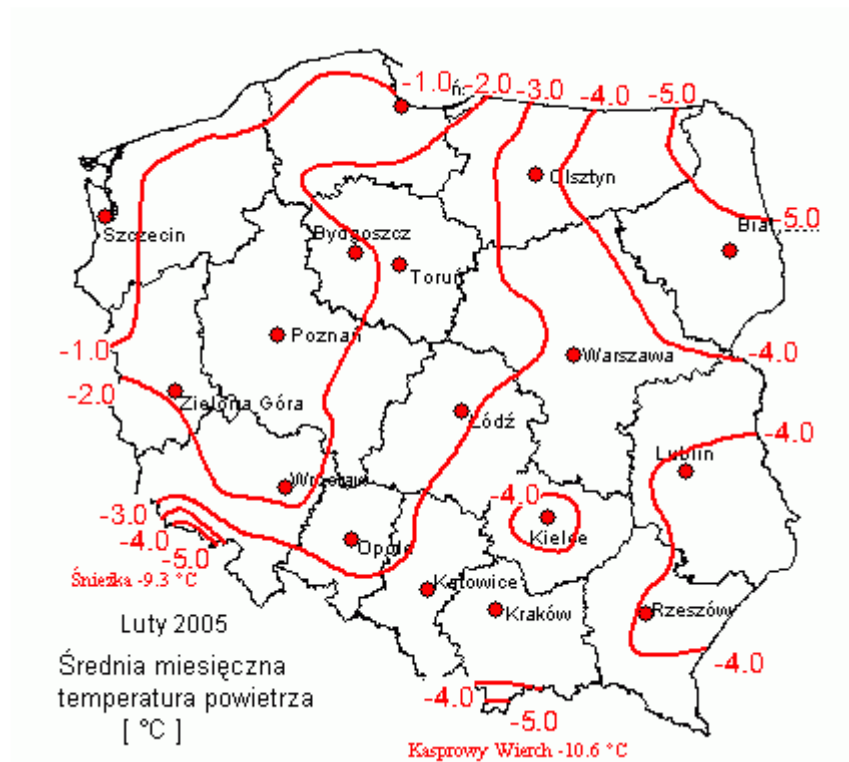
Rys.40 Średnia miesięczna temperatura powietrza w listopadzie 2004 roku w Polsce



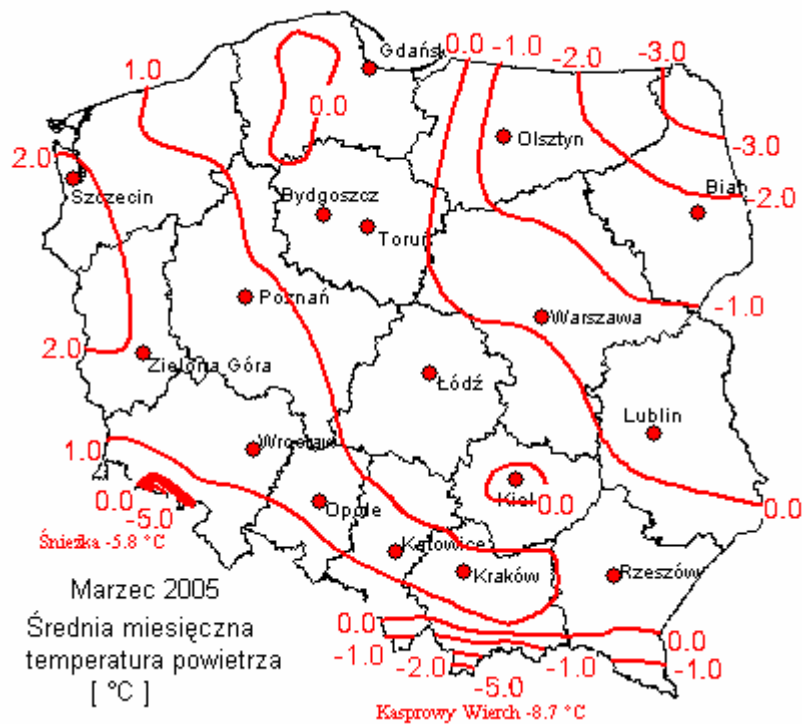
Rys.41 Średnia miesięczna temperatura powietrza w grudniu 2004 roku w Polsce



Rys.42 Średnia miesięczna temperatura powietrza w styczniu 2005 roku w Polsce

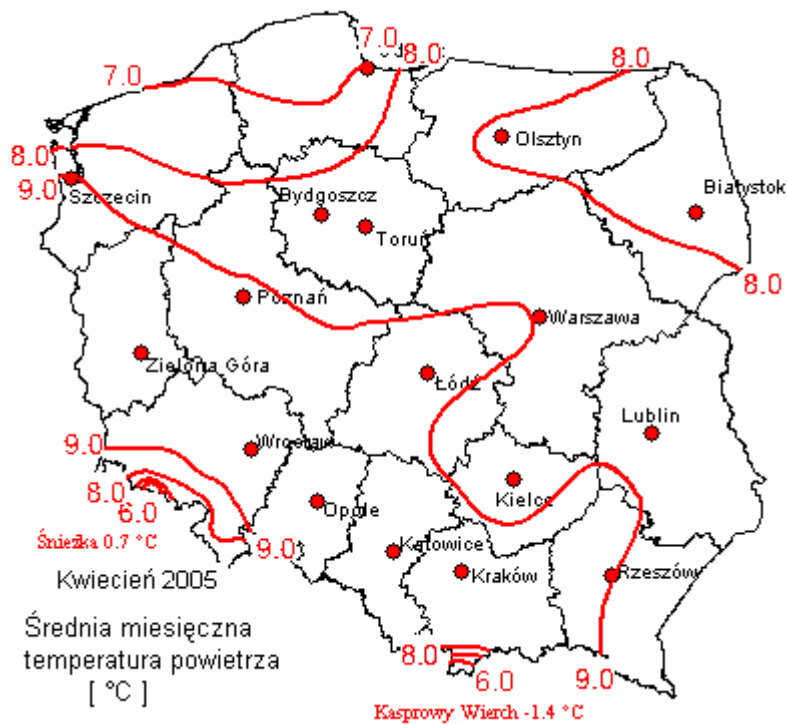


Rys.43 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lutym 2005 roku w Polsce

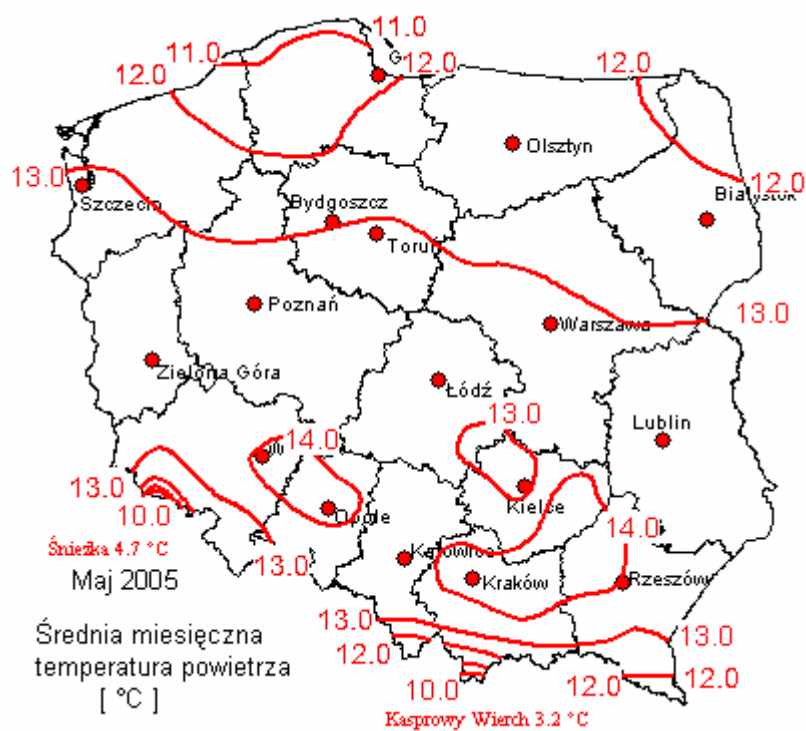


Rys.44 Średnia miesięczna temperatura powietrza w marcu 2005 roku w Polsce

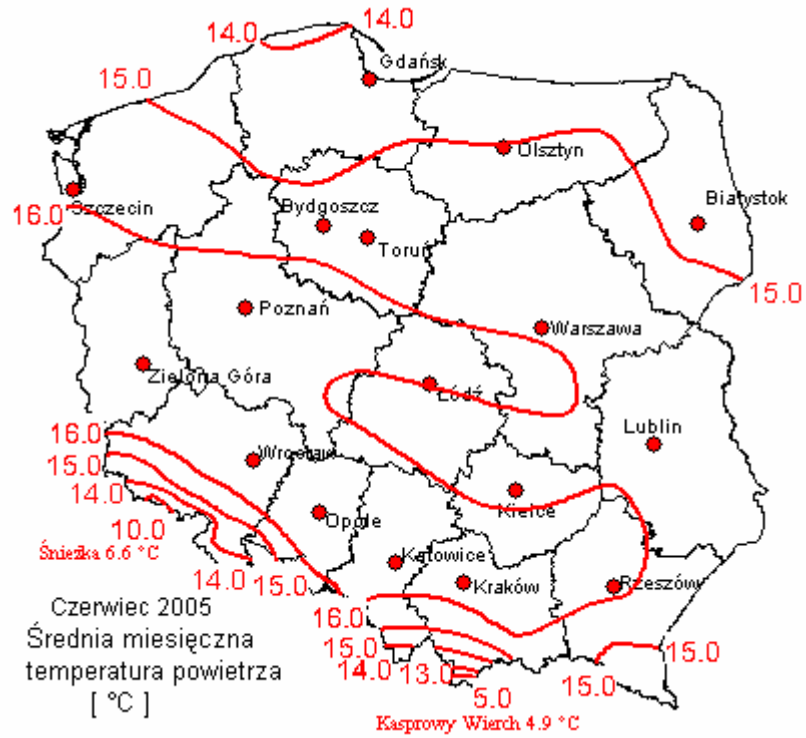




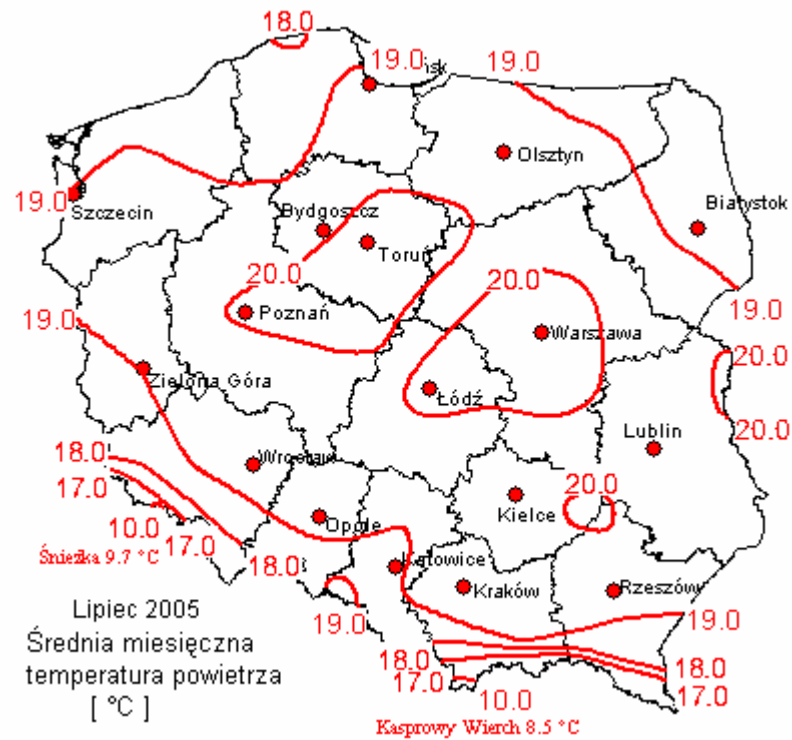
Rys.45 Średnia miesięczna temperatura powietrza w kwietniu 2005 roku w Polsce



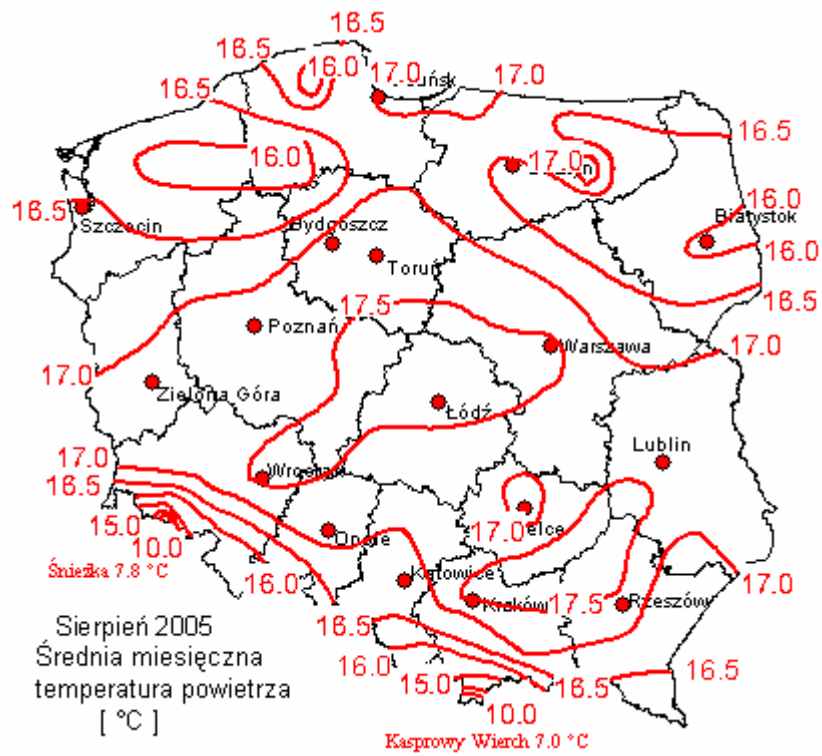
Rys.46 Średnia miesięczna temperatura powietrza w maju 2005 roku w Polsce



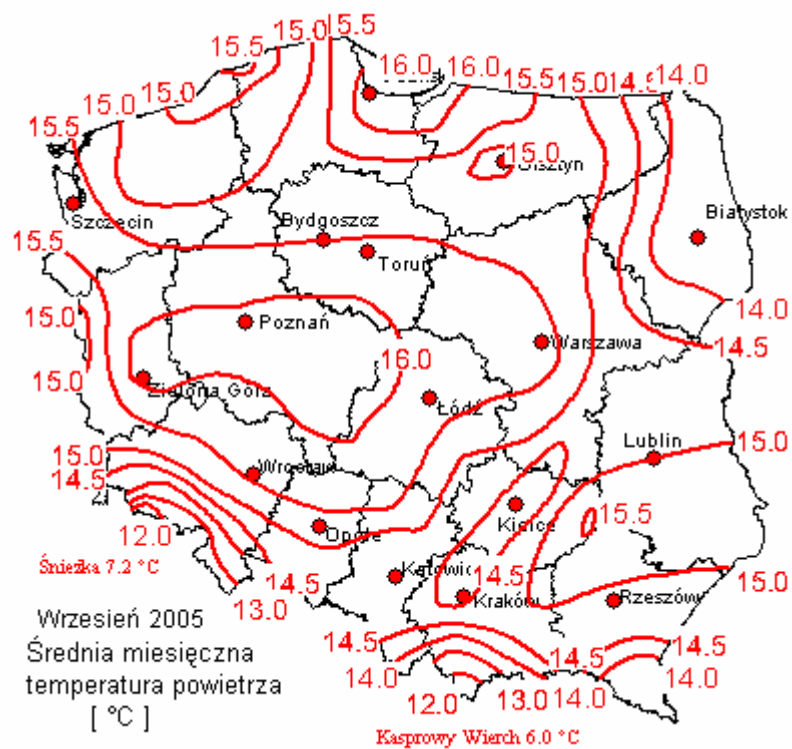
Rys.47 Średnia miesięczna temperatura powietrza w czerwcu 2005 roku w Polsce



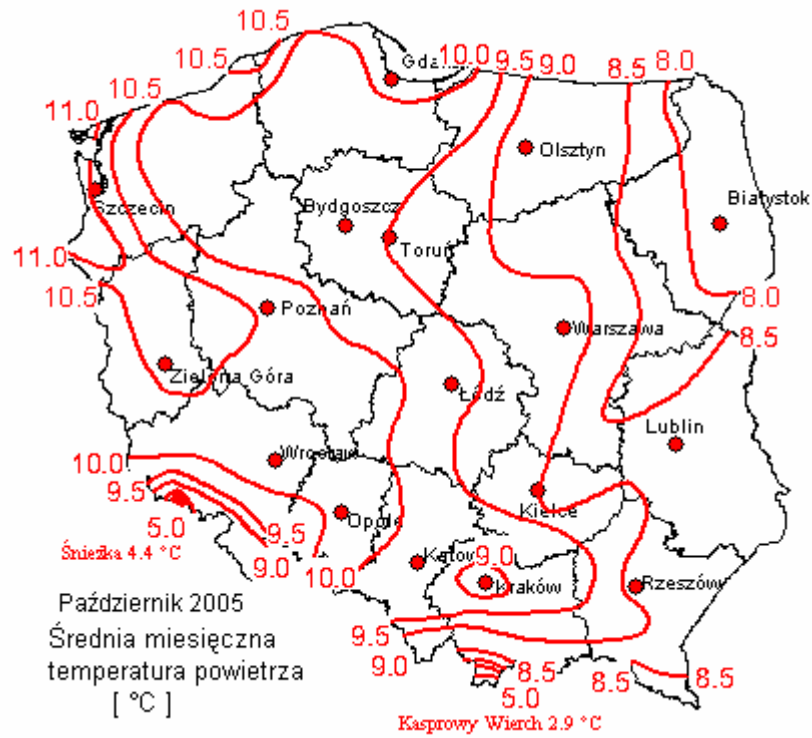
Rys.48 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lipcu 2005 roku w Polsce



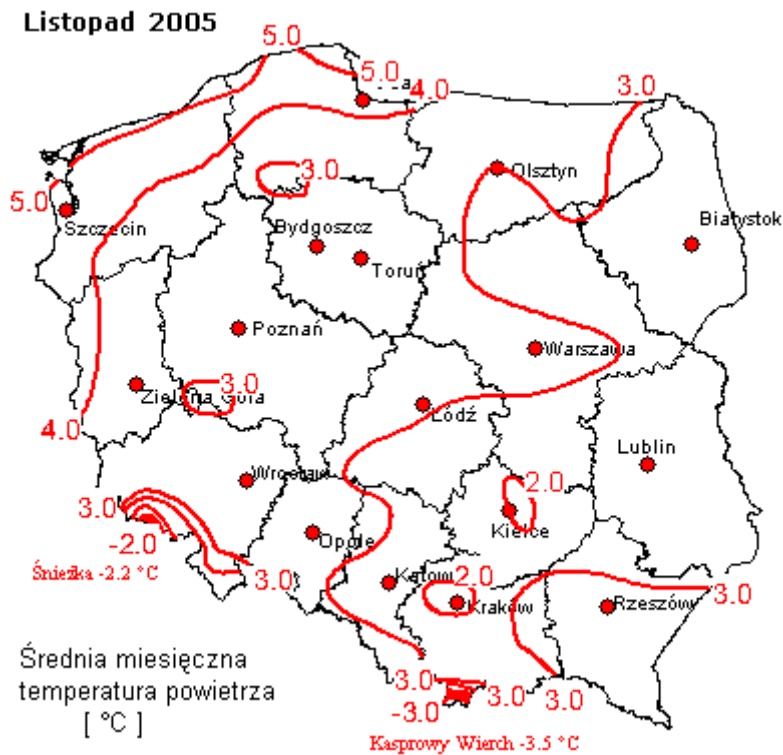
Rys.49 Średnia miesięczna temperatura powietrza w sierpniu 2005 roku w Polsce



Rys.50 Średnia miesięczna temperatura powietrza we wrześniu 2005 roku w Polsce

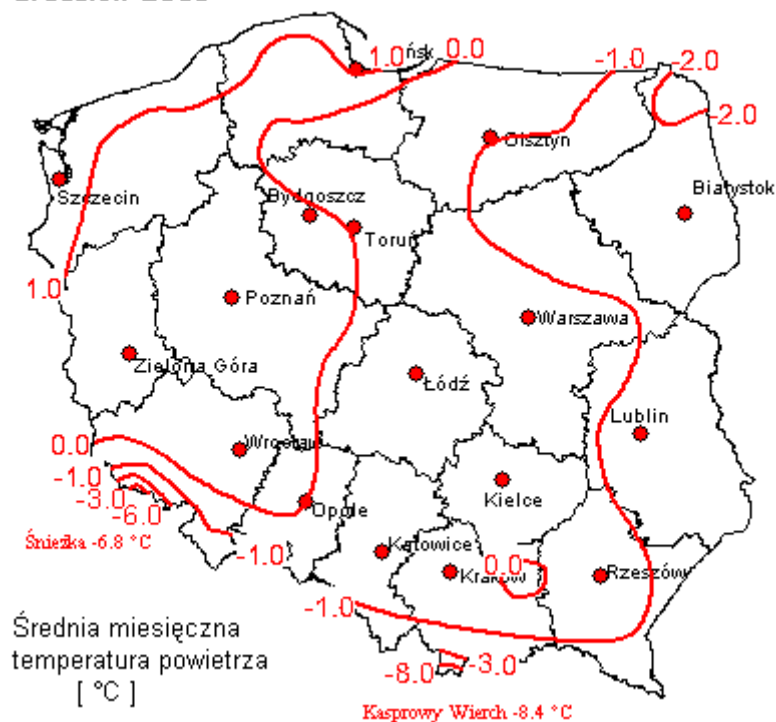


Rys.51 Średnia miesięczna temperatura powietrza w październiku 2005 roku w Polsce



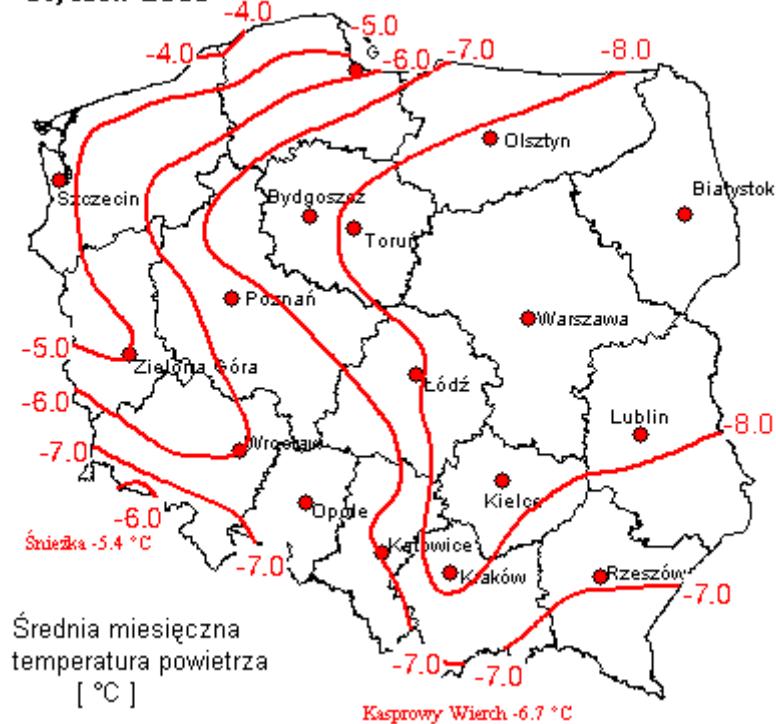
Rys.52 Średnia miesięczna temperatura powietrza w listopadzie 2005 roku w Polsce

**Grudzień 2005**

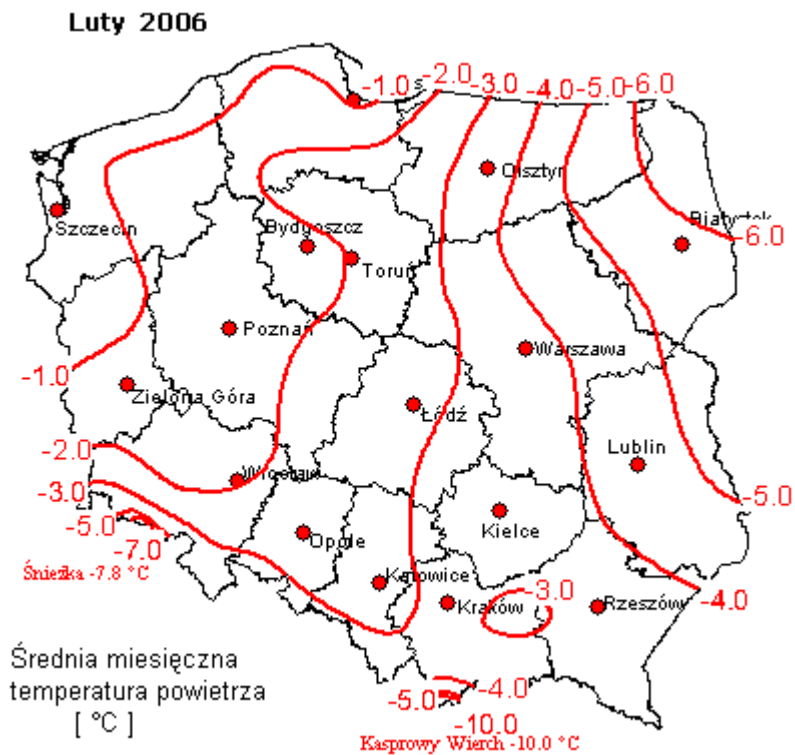


Rys.53 Średnia miesięczna temperatura powietrza w grudniu 2005 roku w Polsce

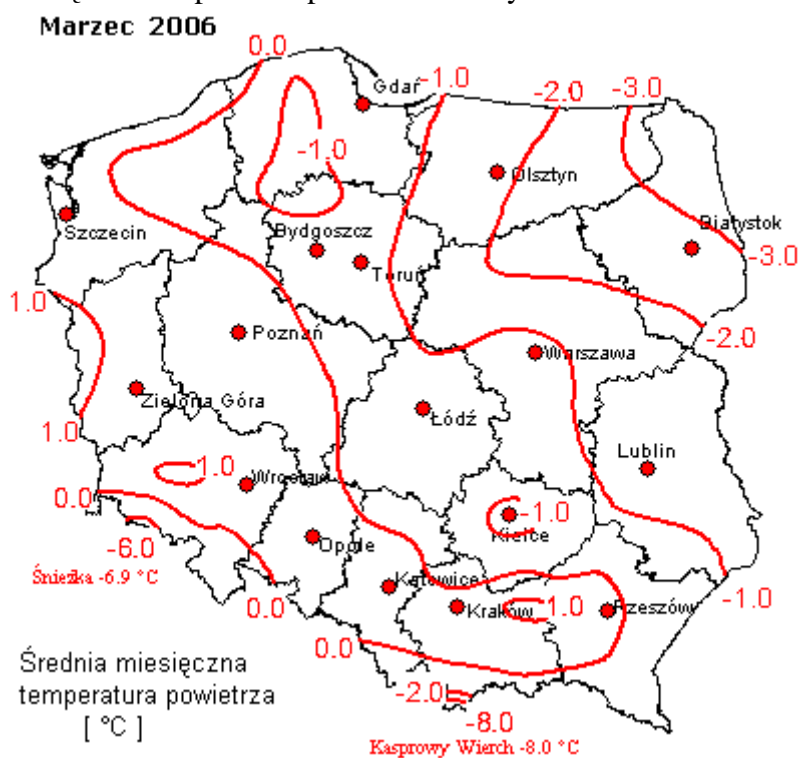
**Styczeń 2006**



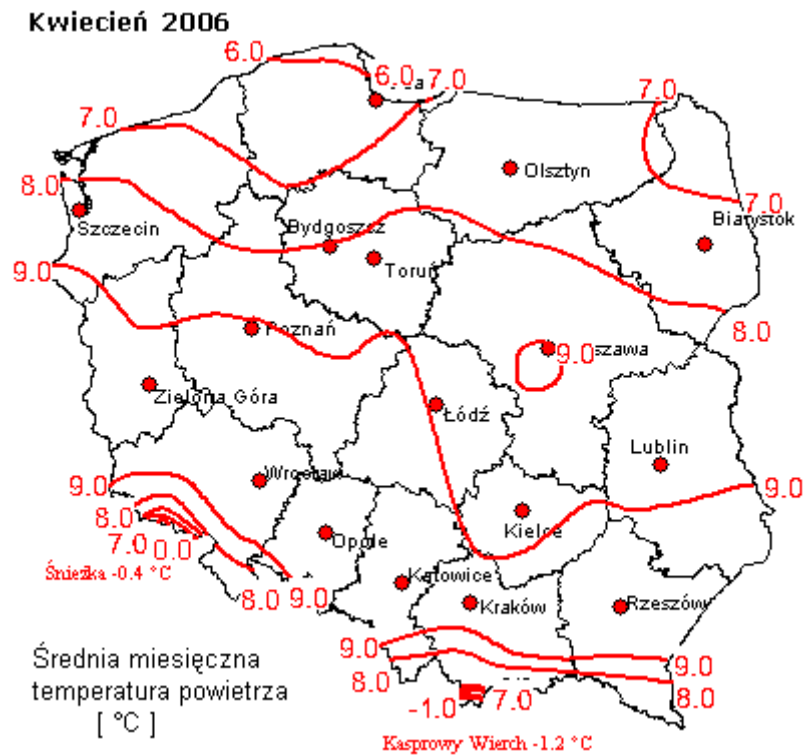
Rys.54 Średnia miesięczna temperatura powietrza w styczniu 2006 roku w Polsce



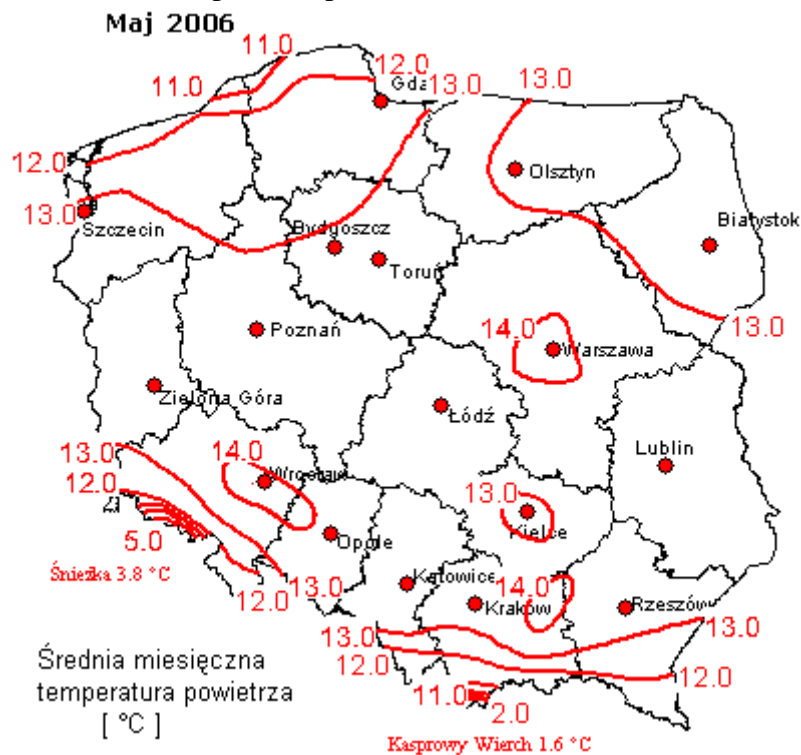
Rys.55 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lutym 2006 roku w Polsce



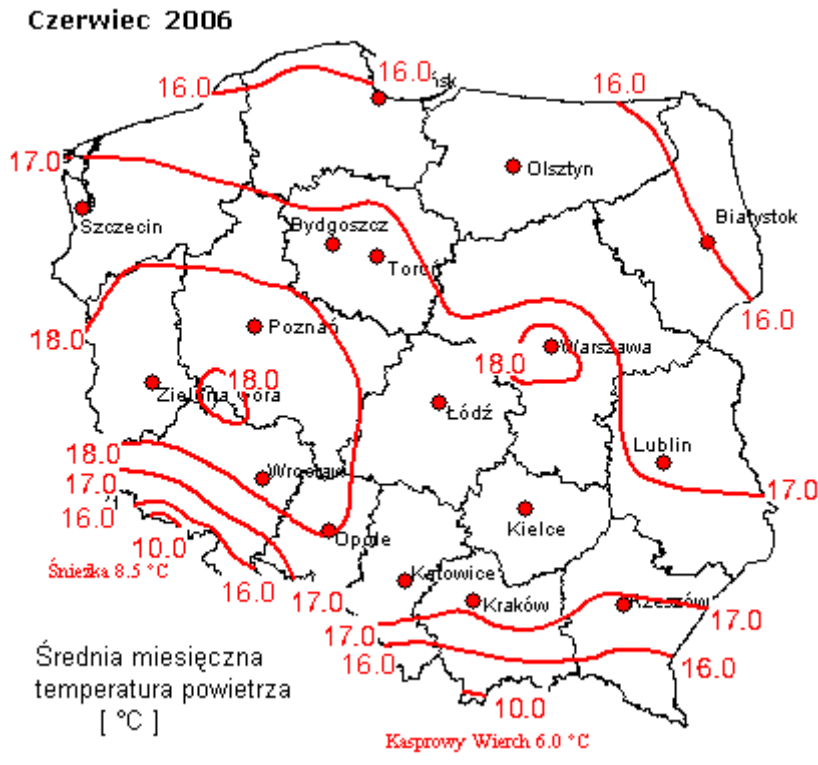
Rys.56 Średnia miesięczna temperatura powietrza w marcu 2006 roku w Polsce



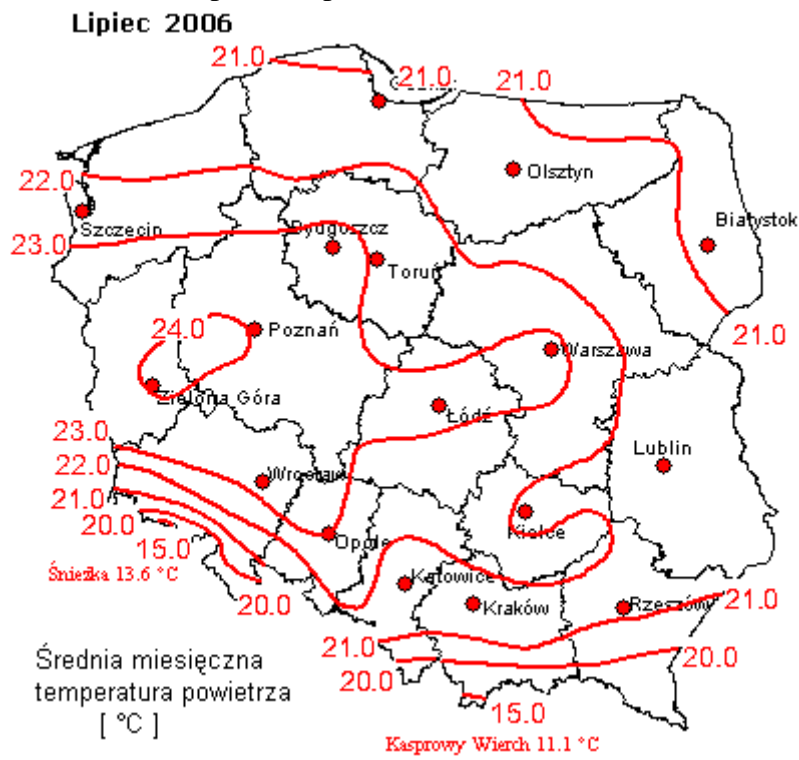
Rys.57 Średnia miesięczna temperatura powietrza w kwietniu 2006 roku w Polsce



Rys.58 Średnia miesięczna temperatura powietrza w maju 2006 roku w Polsce

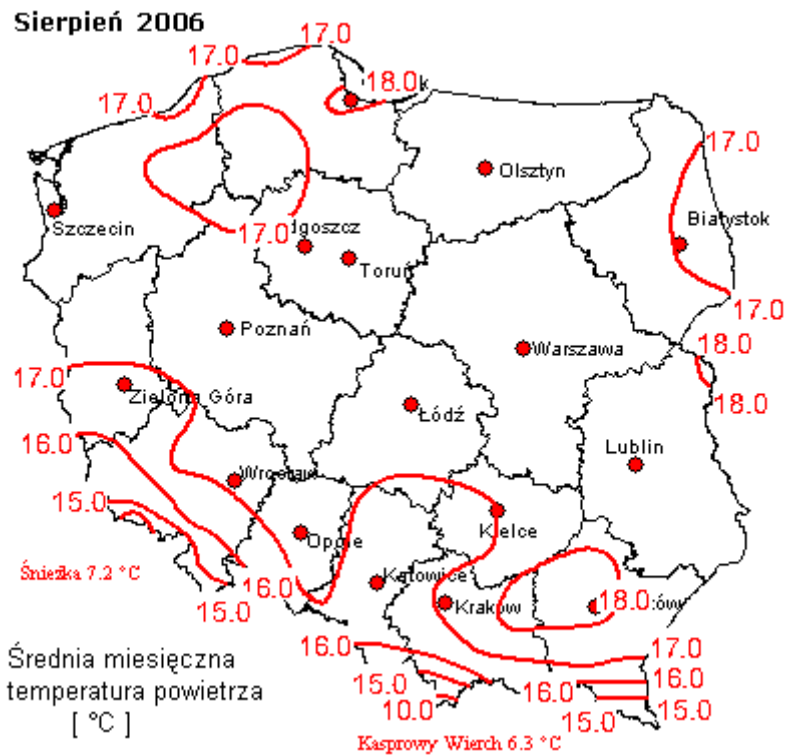


Rys.59 Średnia miesięczna temperatura powietrza w czerwcu 2006 roku w Polsce

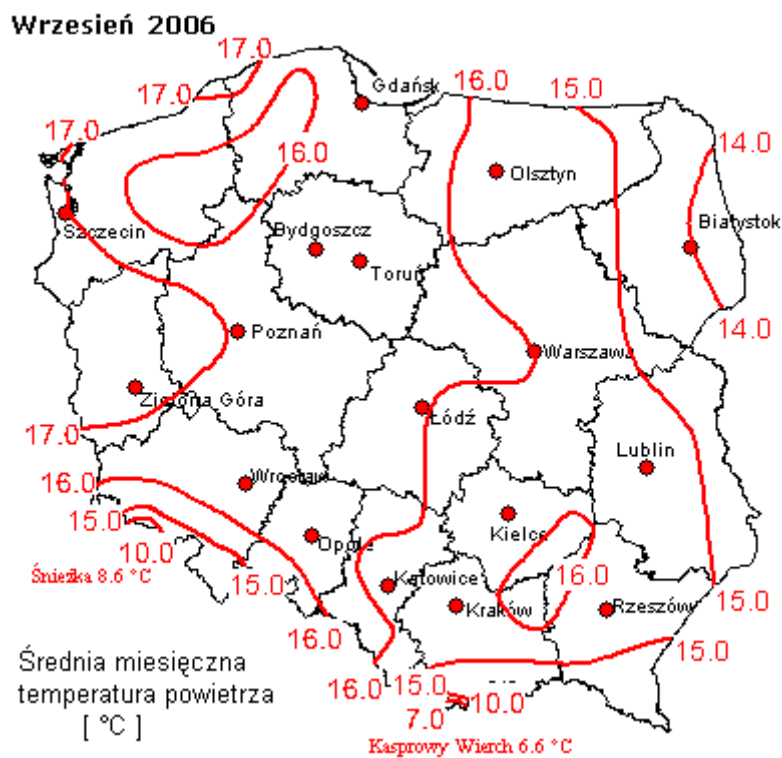


Rys.60 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lipcu 2006 roku w Polsce

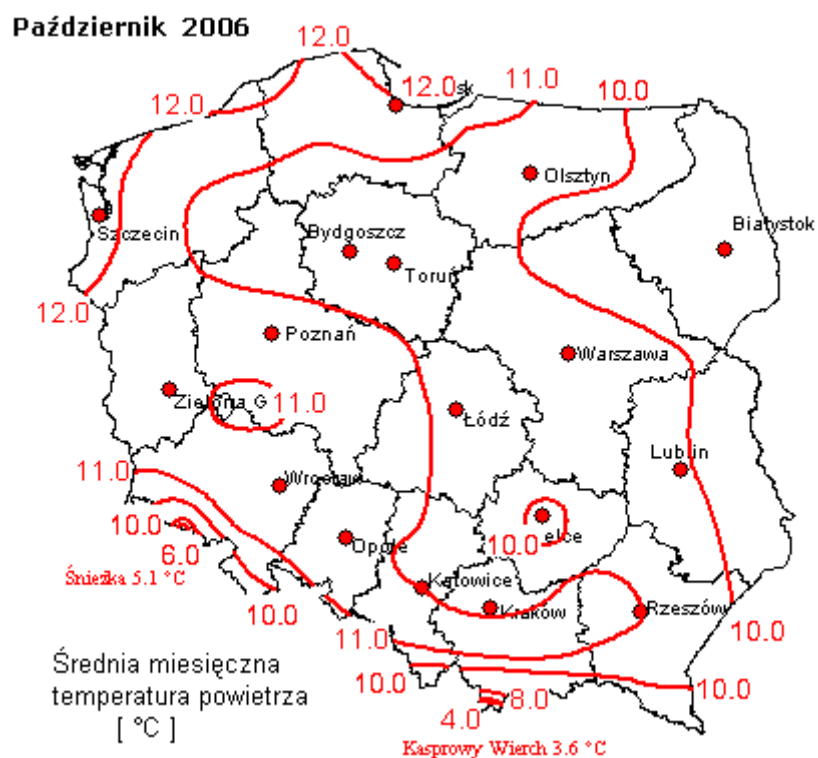




Rys.61 Średnia miesięczna temperatura powietrza w sierpniu 2006 roku w Polsce



Rys.62 Średnia miesięczna temperatura powietrza we wrześniu 2006 roku w Polsce



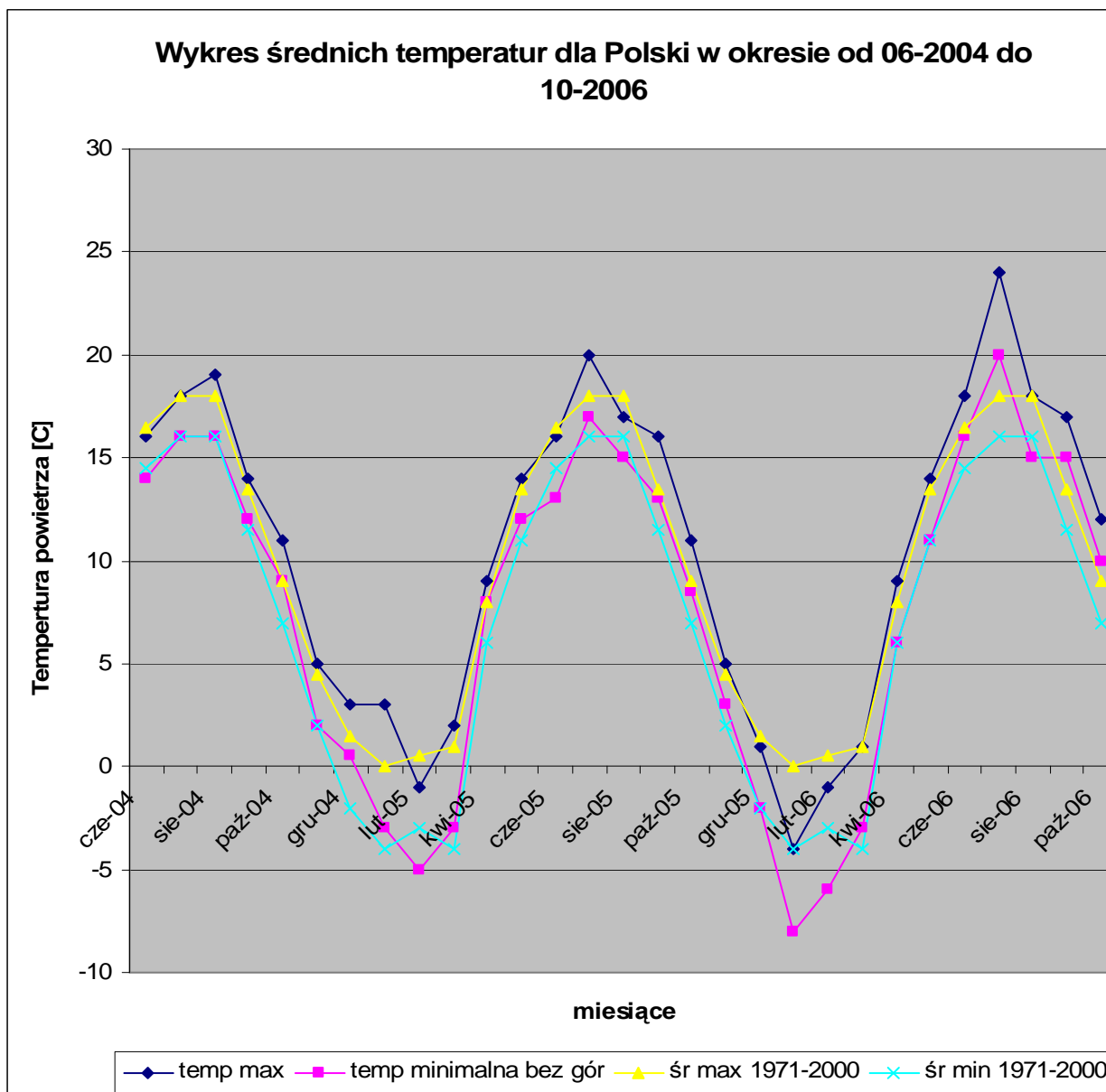
Rys.63 Średnia miesięczna temperatura powietrza w październiku 2006 roku w Polsce

Tabela 4 Zestawienie średnich temperatur powietrza na terenie Polski.

Temperatury powietrza w °C				
Lp	Miesiąc	Temperatury aktualne		Średnie Temperatury z lat 1971-2000 (maksymalne - minimalne) dla miesiący
		Temperatury maksymalne	Temperatury minimalne bez obszarów górkich	
1	Czerwiec 2004	16	14	16,5-14,5
2	Lipiec 2004	18	16	18 – 16
3	Sierpień 2004	19	16	18 – 16
4	Wrzesień 2004	14	12	13,5 – 11,5
5	Październik 2004	11	9	9 – 7
6	Listopad 2004	5	2	4,5 – 2
7	Grudzień 2004	3	0,5	1,5 – -2

8	Styczeń 2005	3	-3	0 – -4
9	Luty 2005	-1	-5	0,5 – -3
10	Marzec 2005	2	-3	1 – -4
11	Kwiecień 2005	9	8	8 – 6
12	Maj 2005	14	12	13,5 – 11
13	Czerwiec 2005	16	13	16,5-14,5
14	Lipiec 2005	20	17	18 – 16
15	Sierpień 2005	17	15	18 – 16
16	Wrzesień 2005	16	13	13,5 – 11,5
17	Październik 2005	11	8,5	9 – 7
18	Listopad 2005	5	3	4,5 – 2
19	Grudzień 2005	1	-2	1,5 – -2
20	Styczeń 2006	-4	-8	0 – -4
21	Luty 2006	-1	-6	0,5 – -3
22	Marzec 2006	1	-3	1 – -4
23	Kwiecień 2006	9	6	8 – 6
24	Maj 2006	14	11	13,5 – 11
25	Czerwiec 2006	18	16	16,5-14,5
26	Lipiec 2006	24	20	18 – 16
27	Sierpień 2006	18	15	18 – 16
28	Wrzesień 2006	17	15	13,5 – 11,5
29	Październik 2006	12	10	9 – 7

Na rysunku nr 64 przedstawiono zestawienie minimalnych i maksymalnych temperatur miesięcznych występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004r do października 2006r oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 - 2000.



Rys.64 Średnie miesięczne temperatura powietrza w Polsce okresie od czerwca 2004 do października 2006r oraz wartości średnich z obserwacji z lat 1971 – 2000

Średniomiesięczne temperatury powietrza generalnie mieściły się w przedziałach średnich wieloletnich, aczkolwiek wystąpiło kilka ekstremalnych temperatur np. styczeń i luty 2006 (-8°C, -6°C) czy lipiec i wrzesień 2006 (24°C, 17°C).

## Podsumowanie

Wykonana analiza opadów atmosferycznych i temperatur powietrza występujących na terenie kraju w okresie od czerwca 2004r do października 2006r oraz wartości średnich wieloletnich z obserwacji z lat 1971 – 2000 pokazuje wyraźnie dużą zmienność temperatur i opadów na terenie Polski w cyklu rocznym. Duże wahania średnich miesięcznych temperatur (od -8°C (01-2006) do 24°C (07-2006)) i opadów (od 5mm (10-2005) do 250mm (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 2004r do października 2006 była zbliżona do średnich maksymalnych miesięcznych z lat 1971-2000, natomiast lekko obniżona w zakresie opadów minimalnych.

Bieżącej obserwacji temperatury powietrza i wysokości opadów w zestawieniu z wynikami z obserwacji z lat 1971-2000 pokazują dużą zbieżność wyników, niemniej jednak stwierdzono również (zgodnie z nomenklaturą prof. H. Lorenc – klasyfikacja termiczna i klasyfikacja opadowa miesięcy i roku) ekstremalnie ciepły - lipiec 2006, skrajnie suche – 09, 12 2004, 08, 10 2005, 03, 06, 07 2006 i skrajnie wilgotne – luty, marzec grudzień 2005 oraz sierpień 2006. Aczkolwiek obserwacje ekstremalne i skrajne określono na stacji meteorologicznej Warszawa Okęcie a wartości temperatury powietrza i wysokości opadów dla poszczególnych lat mieszczą się w przedziale średnim oraz, że taka ilość wartości ekstremalnych i skrajnych nie jest anormalna to jednak należy zwrócić uwagę na lekką tendencję ocieplenia i mniejszej ilości opadów.

### **Analizy i charakterystyki uzyskanych wyników w zakresie ugięć sprężystych nawierzchni**

Obserwowana zmienność klimatyczna ma wpływ na warunki pracy całej konstrukcji nawierzchni, ze szczególnym oddziaływaniem na górne warstwy bitumiczne 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,
- nasłonecznienie (teren wilgotny zalesiony, teren otwarty suchy).

Badania terenowe były prowadzone od września 2004r i kontynuowane do września 2006r na wytypowanych odcinkach badawczych. Odcinki zlokalizowano na terenie całego kraju ich położenie przedstawiono na rysunku nr 65 i tablicy nr 5.

Z przeprowadzonych badań uzyskane wyniki zapisane w formularzach są archiwizowane. Wyniki badań polowych ugięć ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD są zestawione w Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni i w Załączniku nr 3 - Wyniki badań ugięć nawierzchni odcinków doświadczalnych – przykładowe karty badań. Otrzymywane wyniki są analizowane i weryfikowane.

Analiza i weryfikacja uzyskanych wyników badań obejmuje:

A) Analizę zmiany wielkości ugięć w zależności od:

terminu badania (miesiąca),

konstrukcji nawierzchni,

rodzaju i wilgotności podłoża gruntowego,

temperatury warstw bitumicznych,

Obliczenie wartości średniej ugięcia dla odcinka badawczego,

Obliczenie wartości odchylenia standardowego ugięć dla odcinka badawczego,

Obliczenie wartości średniej standaryzowanej ugięcia dla odcinka badawczego wg wzoru:

$$U_i^{\text{sr stand}} = U_i / [(\sum U_i) / n]$$

Gdzie:

-  $U_i^{\text{sr stand}}$  - średnia standaryzowana ugięcia dla odcinka badawczego,

-  $U_i$  - wartość średnia ugięcia dla odcinka badawczego,

-  $n$  – ilość pomiarów na odcinku badawczym.

W wyniku analizy i weryfikacji wyników badań z odcinków doświadczalnych są wykonywane bieżące oceny zmienności współczynnika sezonowego dla wybranych przekrojów:

terminy badań-miesiące,

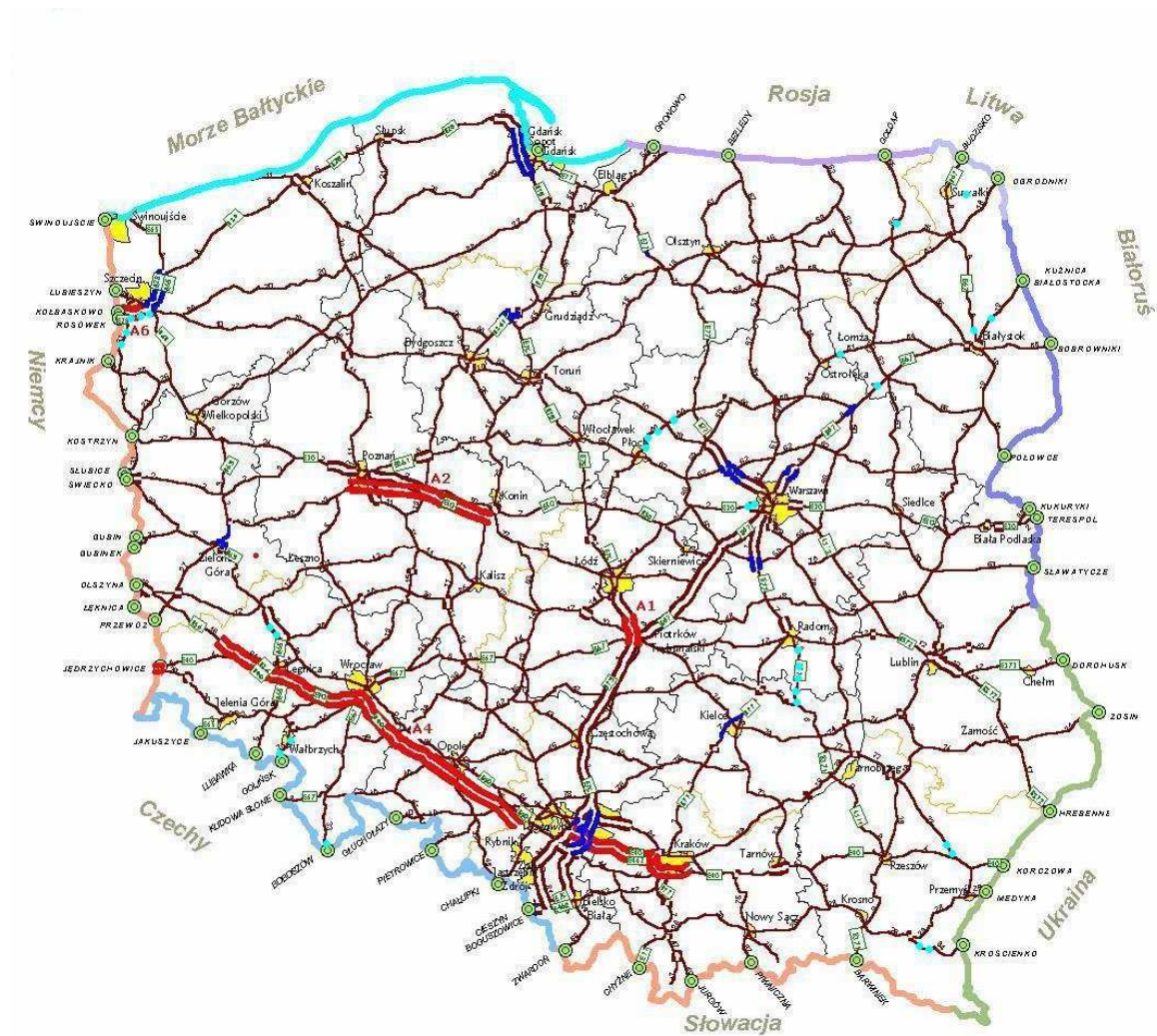
wilgotność podłoża gruntowego,

temperatury warstw bitumicznych (z korektą i bez korekty do warunków normalnych)  
korekta zgodnie z zależnością:

$$\alpha=1+0,02(20-T)$$

gdzie:

$\alpha$ - korekta ugięć zależna od temperatury badania( wg - Katalog Wzmocnień Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych GDDP, Warszawa 2001,  
T- temperatura warstw bitumicznych w trakcie badania.



Rys 65 Rozmieszczenie odcinków badawczych na terenie Polski

- – odcinek badawczy pomiaru ugięć sprężystych

**Tabela 5 Zestawienie odcinków badawczych do pomiaru ugięć**

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



GDDKiA SZCZECIN				
27	<b>TDS/29</b>	A-6	Od granicy państwa	1+440 ÷ 1+540
28	<b>TDS/30</b>	A-6	Od granicy państwa - Międzyodrze	7+460 ÷ 7+560
29	<b>TDS/31</b>	A-6	Od granicy państwa	11+120 ÷ 11+220
30	<b>TDS/32</b>	31	Chojna	22+600 ÷ 22+700
31	<b>TDS/33</b>	31	Chojna	24+600 ÷ 24+700

#### 4. Weryfikacja modeli sezonowych.

Weryfikację modeli sezonowych 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 literatury.

#### Model statystyczny

Model statystyczny dla współczynnika sezonowości badań ugięć założono następująco:

$$U_{\max} = U_{\text{rzecz}} * f_s \quad [1]$$

$$f_s = U_{\max} / U_{\text{rzecz}} \quad [2]$$

Gdzie:

- $U_{\max}$  – największe wartości ugięcia nawierzchni w okresie wczesno - wiosennym,
- $U_{\text{rzecz}}$  – wartości ugięć nawierzchni dla badań wykonywanych w różnych okresach,
- $f_s$  – współczynnik sezonowy określony dla okresów wczesno - wiosennych, letnich i jesiennych i sezonowej ilości opadów (wilgotności).

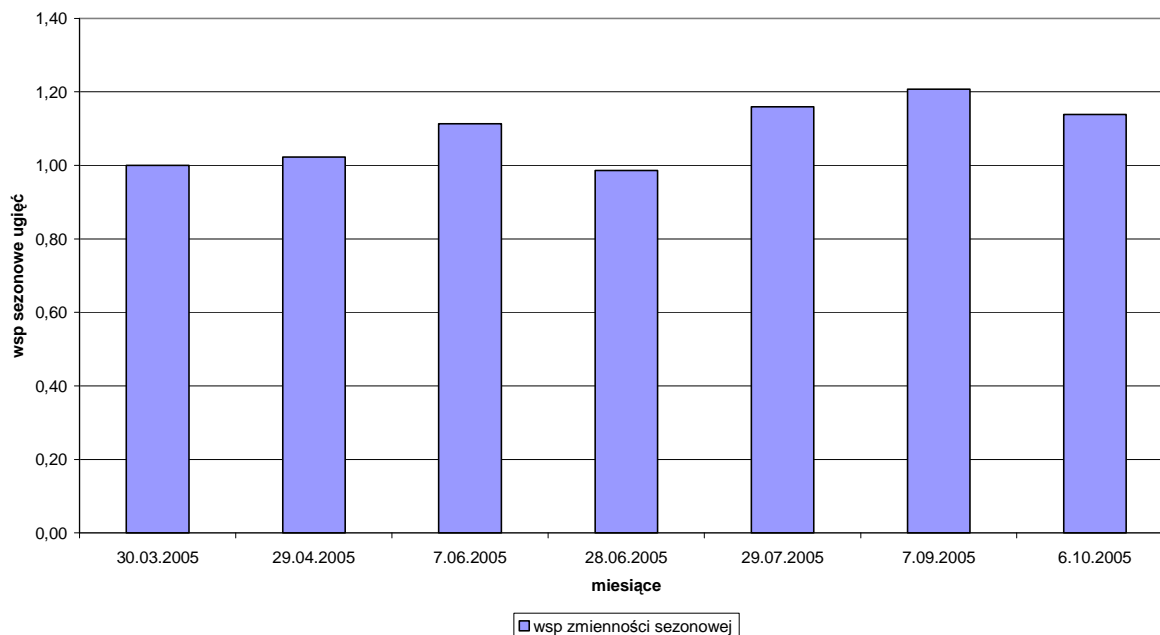
Z badań ugięć na odcinkach badawczych przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników i przedstawiono przykład dla modelu statystycznego zmienności współczynnika sezonowości dla wybranego odcinka badawczego TDW/12. W tabeli nr 6 przedstawiono

algorytm określania współczynnika sezonowości dla badania ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym. Na rysunku nr 66 zobrazowano zmienność współczynnika sezonowości dla okresu wiosenno-letnio-jesiennego.

Tabela 6 Przykład analizy współczynników sezonowych dla badania ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym - Odcinek badawczy TDW/12

<i>Analiza współczynników sezonowych dla pomiarów UgBel</i>						
<i>Data wykonania pomiarów</i>						
<i>30.03.2005</i>	<i>29.04.2005</i>	<i>7.06.2005</i>	<i>28.06.2005</i>	<i>29.07.2005</i>	<i>7.09.2005</i>	<i>6.10.2005</i>
<i>Średnie wartości ugięć [mm]</i>						
<i>0,391</i>	<i>0,436</i>	<i>0,475</i>	<i>0,516</i>	<i>0,507</i>	<i>0,398</i>	<i>0,376</i>
<i>Wartości odchylenia standardowego [mm]</i>						
<i>0,142</i>	<i>0,118</i>	<i>0,113</i>	<i>0,082</i>	<i>0,134</i>	<i>0,125</i>	<i>0,124</i>
<i>Temperatura w środku warstw bitumicznych [°C] - T</i>						
<i>6,2</i>	<i>14,1</i>	<i>22,8</i>	<i>21,0</i>	<i>27,6</i>	<i>18,1</i>	<i>11,8</i>
<i>Średnie wartości ugięć [mm] z uwzględnieniem wsp. Temp. [<math>f_T=1+0,02*(20-T)</math>]-<math>S_i</math></i>						
<i>0,499</i>	<i>0,488</i>	<i>0,448</i>	<i>0,506</i>	<i>0,430</i>	<i>0,413</i>	<i>0,438</i>
<i>Wartości średniej standaryzowanej - <math>U_i^{sr stand} = U_i/[(\sum U_i)/n]</math></i>						
<i><math>[(\sum U_i)/n=0,460mm]</math></i>						
<i>1,084</i>	<i>1,060</i>	<i>0,973</i>	<i>1,099</i>	<i>0,934</i>	<i>0,898</i>	<i>0,952</i>
<i>Wartości współczynników sezonowości - <math>f_s</math> w odniesieniu do pomiarów z marca</i>						
<i>1,00</i>	<i>1,02</i>	<i>1,11</i>	<i>0,99</i>	<i>1,16</i>	<i>1,21</i>	<i>1,14</i>

Współczynniki zmienności sezonowej w odniesieniu do pomiarów ugięć BB z marca odcinek TDW/12



Rys 66 Wykres zmian współczynnika sezonowego dla badań ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym dla odcinka doświadczalnego TDW/12.

Dla przykładowej analizy wg modelu statystycznego uzyskano zmienność współczynnika sezonowego  $f_s$  w zakresie wartości od 1,0 (dla marca) do 1,21 (dla września).

W załączniku nr4 przedstawiono wartości średnich standaryzowanych dla wszystkich odcinków badawczych (Załącznik nr 4 – Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych).

Model statystyczny współczynników sezonowości przedstawiono wraz ze szczegółową analizą dla uzyskania uogólnionych wartości  $f_s$  dla różnych okresów przeprowadzania badań ugięć nawierzchni w części dalszej niniejszego opracowania.

#### 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 m.in.: gęstość masowa -  $\rho$ , moduły sprężystości -  $E$ , współczynniki Poissona -  $\nu$ , współczynniki lepkości materiałów warstw bitumicznych -  $\eta$ , itp.

Jeżeli zapisać ogólnie zależności dla powyżej wymienionych parametrów i rozwinąć wokół stanu ustalonego (parametrów standardowych) to można uzyskać zależności określające wpływ tych czynników na wielkość ugięć nawierzchni.

Przedstawione parametry, w sensie zależności sezonowych, 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:

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

Z kolei parametry:  $\rho$ ,  $\nu$ ,  $E$ ,  $\eta$  można przedstawić w postaci:

$$\rho = \rho_0 + a_1 * (T - T_0) + b_1 * (w - w_0) \quad [4]$$

$$\nu = \nu_0 + a_2 * (T - T_0) + b_2 * (w - w_0) \quad [5]$$

$$E = E_0 + a_3 * (T - T_0) + b_3 * (w - w_0) \quad [6]$$

$$\eta = \eta_0 + a_4 * (T - T_0) + b_4 * (w - w_0) \quad [7]$$

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

- u – ugięcia nawierzchni,
- $\rho_0$  – standardowa wartość gęstości w warunkach normalnych ( $T_0, w_0$ ),
- $\nu_0$  – standardowa wartość współczynnika Poissona w warunkach normalnych ( $T_0, w_0$ ),
- $E_0$  – standardowa wartość modułu sprężystości w warunkach normalnych ( $T_0, w_0$ ),
- $\eta_0$  – 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 na bazie rozwiązań 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.

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 współczynnika sezonowego dla warunków krajowych

### Obliczenie teoretycznych ugięć badanych przy użyciu ugięciomierza belkowego

Ugięcia nawierzchni oblicza się według wzoru:

$$u = 1,5 \frac{q^* a}{E_2} * \omega_z \quad [8]$$

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<sub>2</sub> – moduł sprężystości gruntu podłoża w [MPa],  
ω<sub>z</sub> – współczynnik zależny od stosunku E<sub>1</sub>/E<sub>2</sub> i h/a.

Do rozważań przyjęto następujące konstrukcje nawierzchni zgodnie z katalogiem „Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych”:

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 ( konstrukcja podatna dla KR1 o grubości łącznej 15 cm na podłożu G1 -. żwir i pospółka gliniasta ) przyjęto:

-według katalogu następujące dane dla nawierzchni:

E<sub>1</sub> – moduł sprężystości konstrukcji nawierzchni podatnej

Wiosna jesień – 10000 MPa,

Okres suchy - 3000 MPa,

h – grubość konstrukcji podatnej (warstwa ścieralna i podbudowa) – 15cm.

-według normy PN-81/B-32020 następujące dane dla podłoża gruntowego:

E<sub>2</sub> – moduł sprężystości gruntu podłoża:

Wiosna (przy wilgotności naturalnej w<sub>n</sub>=18%) – 12 MPa,

Okres suchy (przy wilgotności naturalnej w<sub>n</sub>=6%) - 65 MPa,

Obliczenia dla konstrukcji I:

Wariant wiosna:

$$u = 1,5 \frac{q * a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

q – obciążenie nawierzchni kołem pojazdu 0,9 MPa,

a – promień śladu od obciążenia kołem pojazdu:

P – obciążenie koła 0,055 MN

$$a = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, F=P/q, \text{ to } a=0,14 \text{ m,}$$

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża 12 MPa,

$\omega_z$  – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 - 10000/12=833 \text{ i } h/a - 15/14=1,07, \text{ to } \omega_z=0,11.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,5 \frac{0,9 * 0,14}{12} * 0,11 = 0,0017 \text{ m}$$

Wariant Okres suchy:

$$u = 1,5 \frac{q * a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

$q$  – obciążenie nawierzchni kołem pojazdu 0,9 MPa,

$a$  – promień śladu od obciążenia kołem pojazdu:

$P$  – obciążenie koła 0,055 MN

$$a = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, F=P/q, \text{ to } a=0,14 \text{ m,}$$

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

$\omega_z$  – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 - 3000/65=46 \text{ i } h/a - 15/14=1,07, \text{ to } \omega_z=0,30.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,5 \frac{0,9 * 0,14}{65} * 0,30 = 0,00087 \text{ m}$$

Dla konstrukcji II (konstrukcja podatna dla KR6 o grubości łącznej 36 cm na podłożu G1 - żwir i pospółka gliniasta )przyjęto:

-według katalogu następujące dane dla nawierzchni:

$E_1$  – moduł sprężystości konstrukcji nawierzchni podatnej

Wiosna jesień – 10000 MPa,

Lato - 3000 MPa,

h – grubość konstrukcji podatnej (warstwa ściernalna, wiążąca i podbudowa) – 36cm.

-według normy PN-81/B-32020 następujące dane dla podłoża gruntowego:

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża:

Wiosna (przy wilgotności naturalnej  $w_n=18\%$ ) – 12 MPa,

Okres suchy (przy wilgotności naturalnej  $w_n=6\%$ ) - 65 MPa,

Obliczenia dla konstrukcji II:

Wariant wiosna:

$$u = 1,5 \frac{q * a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

q – obciążenie nawierzchni kołem pojazdu 0,9 MPa,

a – promień śladu od obciążenia kołem pojazdu:

P – obciążenie koła 0,055 MN

$$a = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, F=P/q, \text{ to } a=0,14 \text{ m,}$$

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża 12 MPa,

$\omega_z$  – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 - 10000/12=833 \text{ i } h/a - 36/14=2,57, \text{ to } \omega_z=0,045.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,5 \frac{0,9 * 0,14}{12} * 0,045 = 0,00071 \text{ m}$$

Wariant Okres suchy:

$$u = 1,5 \frac{q * a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

q – obciążenie nawierzchni kołem pojazdu 0,9 MPa,

a – promień śladu od obciążenia kołem pojazdu:

P – obciążenie koła 0,055 MN



$$a = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, F=P/q, \text{ to } a=0,14 \text{ m,}$$

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

$\omega_z$  – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 - 3000/65=46 \text{ i } h/a - 36/14=2,57, \text{ to } \omega_z=0,17.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,5 \frac{0,9 * 0,14}{65} * 0,17 = 0,00049 \text{ m}$$

### Obliczenie teoretycznych ugięć badanych przy urządzeniu FWD

Ugięcia nawierzchni oblicza się według wzoru:

$$u = 1,18 \frac{q * a}{E_2} * \omega_z \quad [9]$$

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],

$\omega_z$  – współczynnik zależny od stosunku  $E_1/E_2$  i  $h/a$ .

Do rozważań przyjęto następujące konstrukcje nawierzchni zgodnie z katalogiem „Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych”:

- 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 ( konstrukcja podatna dla KR1 o grubości łącznej 15 cm na podłożu G1 -. żwir i pospółka gliniasta ) przyjęto:

-według katalogu następujące dane dla nawierzchni:

$E_1$  – moduł sprężystości konstrukcji nawierzchni podatnej

Wiosna jesień – 10000 MPa,

Okres suchy - 3000 MPa,

$h$  – grubość konstrukcji podatnej (warstwa ścieralna i podbudowa) – 15cm.

-według normy PN-81/B-32020 następujące dane dla podłoża gruntowego:

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża:

Wiosna (przy wilgotności naturalnej  $w_n=18\%$ ) – 12 MPa,

Okres suchy (przy wilgotności naturalnej  $w_n=6\%$ ) - 65 MPa,

Obliczenia dla konstrukcji I:

Wariant wiosna:

$$u = 1,18 \frac{q^* a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

$q$  – obciążenie nawierzchni płytą sztywną 0,7 MPa,

$a$  – promień płyty obciążającej – 0,15m:

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża 12 MPa,

$\omega_z$  – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 - 10000/12=833 \text{ i } h/a - 15/15=1,00, \text{ to } \omega_z=0,12.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,18 \frac{0,7 * 0,15}{12} * 0,12 = 0,00124 \text{m}$$

Wariant Okres suchy:

$$u = 1,18 \frac{q^* a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

$q$  – obciążenie nawierzchni płytą sztywną 0,7 MPa,

$a$  – promień płyty obciążającej – 0,15m:

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

$\omega_z$  – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 - 3000/65=46 \text{ i } h/a - 15/15=1,00, \text{ to } \omega_z=0,31.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,18 \frac{0,7 * 0,15}{65} * 0,31 = 0,00059 \text{ m}$$

Dla konstrukcji II (konstrukcja podatna dla KR6 o grubości łącznej 36 cm na podłożu G1 - żwir i pospółka gliniasta )przyjęto:

-według katalogu następujące dane dla nawierzchni:

$E_1$  – moduł sprężystości konstrukcji nawierzchni podatnej

Wiosna jesień – 10000 MPa,

Okres suchy - 3000 MPa,

$h$  – grubość konstrukcji podatnej (warstwa ścieralna, wiążąca i podbudowa) – 36cm.

-według normy PN-81/B-32020 następujące dane dla podłoża gruntowego:

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża:

Wiosna (przy wilgotności naturalnej  $w_n=18\%$ ) – 12 MPa,

Okres suchy (przy wilgotności naturalnej  $w_n=6\%$ ) - 65 MPa,

Obliczenia dla konstrukcji II:

Wariant wiosna:

$$u = 1,18 \frac{q * a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

$q$  – obciążenie nawierzchni płytą sztywną 0,7 MPa,

$a$  – promień płyty obciążającej – 0,15m:

$E_2$  – moduł sprężystości gruntu podłoża 12 MPa,

$\omega_z$  – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 - 10000/12=833 \text{ i } h/a - 36/15=2,4, \text{ to } \omega_z=0,046.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,18 \frac{0,7 * 0,15}{12} * 0,046 = 0,000475 \text{ m}$$

Okres suchy:

$$u = 1,18 \frac{q * a}{E_2} * \omega_z$$

dla:

q – obciążenie nawierzchni płytą sztywną 0,7 MPa,

a – promień płyty obciążającej – 0,15m:

E<sub>2</sub> – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

ω<sub>z</sub> – współczynnik dla:

$$E_1/E_2 = 3000/65=46 \text{ i } h/a = 36/15=2,4, \text{ to } \omega_z=0,18.$$

Dla powyższych danych ugięcie nawierzchni jest następujące:

$$u = 1,18 \frac{0,7 * 0,15}{65} * 0,18 = 0,000343 \text{ m}$$

W tabelach 7 i 8 zestawiono wyniki obliczeń ugięć teoretycznych nawierzchni z granicznymi wartościami ich zmienności dla modelu badań ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD

Tabela 7 Teoretyczne ugięcia konstrukcji nawierzchni według modelu Burmistera dla ugięciomierza belkowego z określeniem współczynnika zmienności ugięć.

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

Tabela 8 Teoretyczne ugięcia konstrukcji nawierzchni według modelu Burmistera dla urządzenia FWD z określeniem współczynnika zmienności ugięć.

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

Dla przeprowadzonej analizy teoretycznych ugięć konstrukcji nawierzchni dla modelu dwuwarstwowego Burmistera otrzymano zmienność ugięć:

- dla ugięciomierza belkowego wartości maksymalne od 1,45 dla nawierzchni o konstrukcji podatnej II, odpowiadającej KR6; do 1,95 dla nawierzchni podatnej I, odpowiadającej KR1. Natomiast wartości średnie zmienności ugięć wyniosły odpowiednio od 1,225 do 1,475.

- dla urządzenia FWD wartości maksymalne od 1,38 dla nawierzchni o konstrukcji podatnej II, odpowiadającej KR6; do 2,10 dla nawierzchni podatnej I, odpowiadającej KR1. Natomiast wartości średnie zmienności ugięć wyniosły odpowiednio od 1,19 do 1,55.

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 tak przy badaniach ugięciomierzem belkowym jak 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. 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 (tablica 9)

Tablica 9 Wartości współczynników sezonowych stosowanych w Holandii przy badaniu ugięć urządzeniem FWD

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

W Australii przyjmuje się wartość 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 oscylujący w przedziale 1,3 do 2,0. Dla różnych regionów Kanady przyjmuje się przedział od 1,0 do 2,5, głównie jednak 1,2 do 1,6.

##### **5. Określenie funkcji korygującej i określenie współczynników sezonowości.**

Po dokonanej analizie modeli statystycznego, teoretyczno – doświadczalnego, teoretycznego oraz doświadczeń zagranicznych przyjęto do określenia współczynników sezonowych 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 sezonowych dla pomiarów ugięć konstrukcji nawierzchni,
- wyznaczenie wartości i przedziałów liczbowych współczynników sezonowych dla odpowiednich okresów dla badania wykonywanego ugięciomierzem belkowym,
- wyznaczenie wartości i przedziałów liczbowych współczynników sezonowych dla odpowiednich okresów dla badania wykonywanego urządzeniem FWD.

## **Wyspecyfikowanie okresów sezonowych 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.

Dokonano analizy sezonowości klimatu w cyklu rocznym dla:

- obserwacji wieloletnich 1971 – 2000 wg „Atlasu Klimatu Polski”,
- obserwacji prowadzonych w czasie realizacji niniejszej pracy w latach 2004 – 2006:
  - wg informacji ze strony internetowej IMiGW,
  - własnych pomiarów temperatury powietrza i nawierzchni oraz wilgotności podłoża gruntowego.

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 – 2 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych -3 – -4 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 20 – 30mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 40 – 50mm. W okresie „zimowym” nie prowadzi się badań ugięć nawierzchni. W tabelach 10 i 11 sezon zimowy oznaczony kolorem niebieskim. Na rysunkach 67 i 68 okres I „zimowy” oddzielony od okresu II „wczesno-wiosennego” linią zieloną.
- Okres II „wczesno-wiosenny” obejmujący miesiące marzec i kwiecień – o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych 4 – 8 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych 1 – 6 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych – 30mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 50 – 80mm. W okresie „wczesno-wiosennym” prowadzi się badania ugięć nawierzchni a wyniki są uznawane za najbardziej miarodajne ze wszystkich okresów roku, ponieważ konstrukcja nawierzchni i podłoża gruntowe po rozmarznięciu charakteryzują się najmniejszą nośnością. W tabelach 10 i 11 sezon wczesno-wiosenny oznaczony kolorem zielonym. Na rysunkach 67 i 68 okres II „wczesno-

wiosenny” oddzielony od okresu III „wiosenno - letniego” linią jasnopomarańczową.

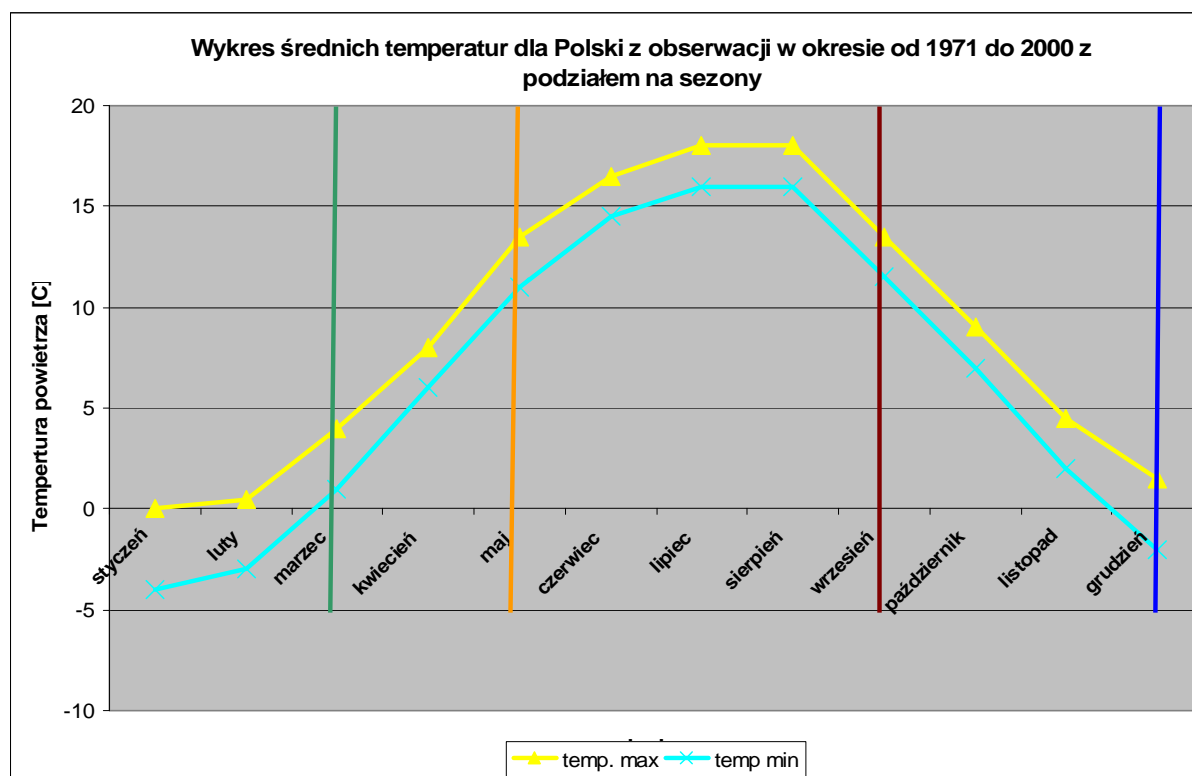
- Okres III „wiosenno - letni” obejmujący miesiące maj, czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień – o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych 13,5 – 18 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych 11 – 16 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 45 – 60mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 100 – 160mm. W okresie „wiosenno - letnim” prowadzi się badania ugięć nawierzchni a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym. W tabelach 10 i 11 sezon wiosenno-letni oznaczony kolorem jasnopomarańczowym. Na rysunkach 67 i 68 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 – 9 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych -2 – 7 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 35 – 40mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 60 – 80mm. W okresie „jesiennym” prowadzi się badania ugięć nawierzchni do wystąpienia pierwszych mrozów a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym. W tabelach 10 i 11 sezon jesienny oznaczony kolorem brązowym. Na rysunkach 67 i 68 okres IV „jesienny” oddzielony od okresu III „wiosenno - letniego” linią brązową.

Podział na cztery sezony został przedstawiony w tablicach 10 i 11 i rysunkach 67 i 68



Tablica 10 Zestawienie średnich wieloletnich miesięcznych temperatur powietrza z podziałem na sezony

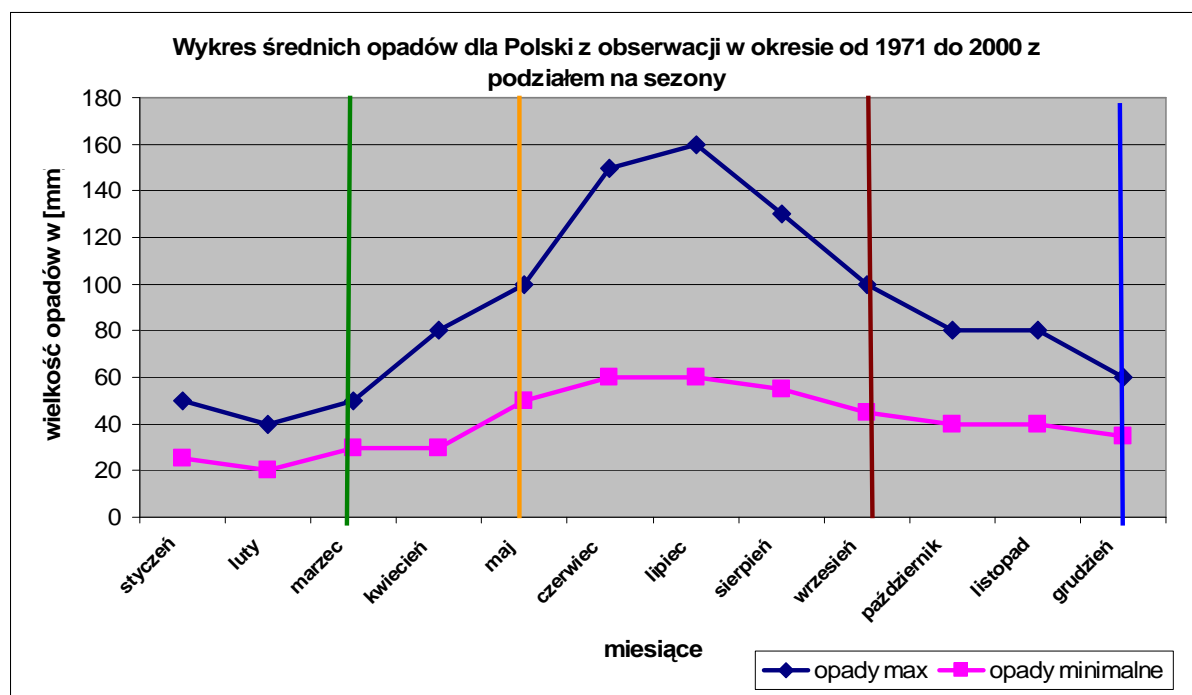
Zestawienie średnich temperatur miesięcznych z okresu 1971-2000r w [°C]			
Miesiące	Temperatury maksymalne	Temperatury minimalne	Sezon
styczeń	0	-4	zimowy
luty	0,5	-3	zimowy
marzec	4	1	wczesno-wiosenny
kwiecień	8	6	wczesno-wiosenny
maj	13,5	11	wiosenno - letni
czerwiec	16,5	14,5	wiosenno - letni
lipiec	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 67 Wykres średnich miesięcznych temperatur powietrza z okresu od 1971 do 2001 z podziałem na sezony.

Tablica 11 Zestawienie średnich wieloletnich miesięcznych opadów atmosferycznych z podziałem na sezony

Zestawienie średnich opadów atmosferycznych miesięcznych z okresu 1971-2000r w [mm]			
Miesiące	Opady maksymalne	Opady minimalne	Sezon
styczeń	50	25	zimowy
luty	40	20	zimowy
marzec	50	30	wczesno-wiosenny
kwiecień	80	30	wczesno-wiosenny
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 68 Wykres średnich miesięcznych opadów atmosferycznych z okresu od 1971 do 2001 z podziałem na sezony

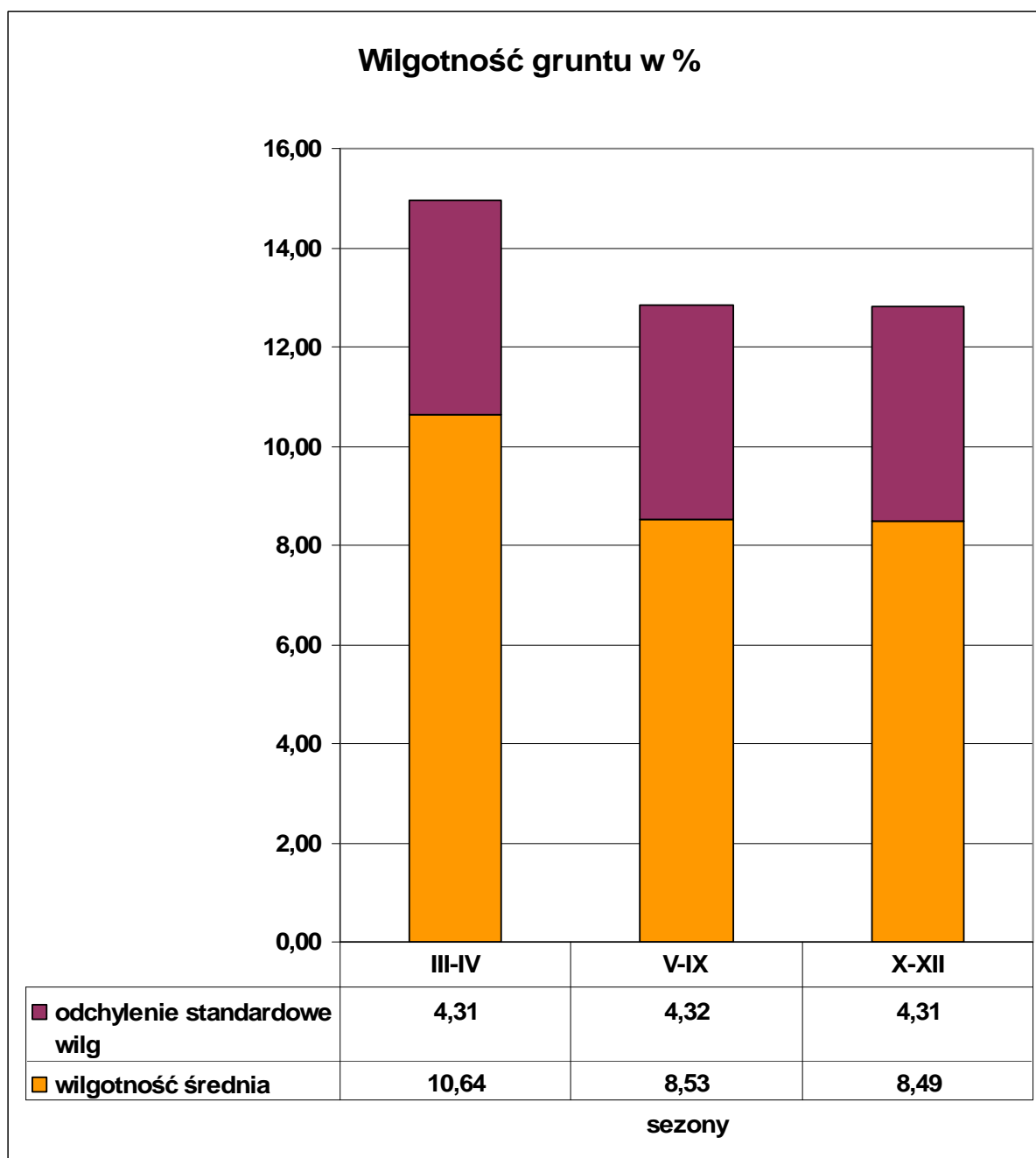
W trakcie realizacji badań określano wilgotność naturalną gruntu na odcinku badawczym. Wyniki wilgotności dla wszystkich pomiarów zostały przedstawione w **Załączniku nr 2** -

**Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni.** W tablicy 12 zestawiono wyniki średnie wilgotności z podziałem na regiony Polski w których zlokalizowane były odcinki badawcze.

Tablica 12 Średnie wartości wilgotności gruntu dla sezonów na odcinkach badawczych zlokalizowanych w różnych regionach Polski

Średnia wilgotność gruntu [%]			
Region	III - IV	V - IX	X - XII
TDW-Warszawa	9,28	6,59	5,68
TDB-Białystok	12,30	8,59	9,28
TDR-Reszów	19,73	20,05	20,64
TDW <sub>r</sub> -Wrocław	16,22	13,10	19,56
TDS-Szczecin	10,27	7,86	11,10

Na rysunku 69 zilustrowano wartości średnie wilgotności z podziałem na sezony badawcze.



Rys 69 Średnia skorygowana wilgotność sezonowa gruntu dla odcinków badawczych.

Z rysunku wynika, że wilgotność sezonowa była najwyższa w marcu i kwietniu i wynosiła średnio 10,64% z odchyleniem standardowym a w pozostałych okresach była na podobnym poziomie 8,5%. Wyższe wartości wilgotności występowały w gruntach spoistych a mniejsze gruntach sypkich.

## Określenie współczynników sezonowości i współczynników skorygowanych

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

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

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

Gdzie :

- $u_{sr}$  – 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.

Wyniki wartości z pomiarów, wartości średnich i wartości odchylenia standardowego przedstawione są w **Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni**.

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

$$u_{srT} = u_{sr} * [1 + 0,02(20 - T)]$$

Gdzie :

- $u_{srT}$  – skorygowane ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw bitumicznych,
- $u_{sr}$  – ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego,
- $T$  – temperatura warstw bitumicznych,

Wyniki z pomiarów temperatury warstw bitumicznych i wartości skorygowane ugięć średnich dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw bitumicznych przedstawione są w **Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni**.

3) Następnie obliczono średnią wartość ugięć dla odcinka badawczego według formuły:

$$u_{srODC} = \sum_{k=1}^N \frac{u_{srTk}}{N}$$

$$s_{ODC} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (u_{srTk} - u_{srODC})^2}$$

Gdzie :

$u_{srODC}$  – 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.

Wyniki wartości średnich i wartości odchylenia standardowego dla każdego odcinka przedstawione są w **Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni**.

4) W kolejnym etapie obliczono 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,

$u_{\text{srODC}}$  – ugięcie średnie dla każdego odcinka badawczego,  
 $u_{\text{srTk}}$  – skorygowane ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw bitumicznych.

Obliczenie wartości średniej standaryzowanej zostało także pokazane w przykładzie w pkt 4 niniejszego opracowania.

Wartość średniej standaryzowanej dla każdego badania odcinka przedstawione są w Tablicach 13 i 14 i **Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni** oraz na rysunkach w **Załączniku nr 3 – Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych.**

**Tabela 13 Wartości ugięć standaryzowanych  $U^{STp}$  dla badań ugięciomierzem belkowym**

BELKA	X / 04	XI / 04	XII / 04	III / 05	IV / 05	V / 05	VI / 05	VII / 05	VIII / 05	IX / 05	X / 05	XI / 05	III / 06	IV / 06	V / 06	VI / 06	VII / 06	VIII / 06	IX / 06
TDW-01	0,00	0,82	0,00	1,18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-02	0,00	1,09	0,00	1,11	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-03	0,00	1,10	0,00	1,29	0,92	1,03	0,94	0,89	0,83	1,08	0,00	0,00	0,00	1,06	1,08	0,87	0,00	0,90	0,00
TDW-04	0,00	0,87	0,00	0,88	0,96	0,94	0,98	1,16	0,93	0,85	0,00	0,00	0,00	0,99	1,02	1,18	0,00	0,97	0,00
TDW-05	0,00	1,42	0,00	1,07	0,92	1,01	0,91	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-06	0,00	1,25	0,00	1,27	0,85	0,95	0,82	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-07	0,00	1,07	0,00	1,33	1,25	1,12	1,36	0,00	1,27	0,77	0,85	0,00	0,00	0,00	0,88	0,70	0,00	0,70	0,90
TDW-08	0,00	1,00	0,00	1,41	1,00	0,90	0,95	0,80	0,95	1,08	0,00	0,00	0,00	1,06	0,84	1,00	0,00	1,01	0,00
TDW-09	0,00	0,67	0,00	1,10	0,93	1,13	0,95	1,22	1,02	0,88	0,00	0,00	0,00	1,00	0,69	0,95	0,00	0,81	0,00
TDW-10	0,00	1,05	0,00	1,27	0,88	1,02	1,10	1,05	1,04	1,18	0,00	0,00	0,00	0,92	0,86	0,75	0,00	0,87	0,00
TDW-11	0,00	0,00	0,00	1,24	0,95	1,03	1,08	1,04	1,01	1,12	0,00	0,00	0,00	1,01	0,80	0,80	0,00	0,90	0,00
TDW-12	0,00	0,00	0,00	1,11	1,09	1,00	1,13	0,96	0,92	0,98	0,00	0,00	0,00	1,01	0,91	0,86	0,00	1,04	0,00
TDB-14	0,00	1,00	0,00	0,00	1,15	0,00	0,80	1,07	1,09	1,02	1,19	0,00	0,00	0,00	0,85	0,75	0,00	0,90	1,10
TDB-16	0,00	0,95	0,00	0,00	1,00	0,00	1,08	1,14	0,91	0,90	1,04	0,00	0,00	0,00	1,02	1,04	0,00	0,97	1,00
TDB-17	0,00	1,15	0,00	0,00	1,02	0,00	1,11	0,89	0,92	0,97	1,05	0,00	0,00	0,00	0,94	0,76	0,00	1,14	1,08
TDB-18	0,00	1,29	0,00	0,00	1,31	0,00	0,78	0,78	0,79	0,88	1,10	0,00	0,00	0,00	1,27	0,83	0,00	0,89	1,10
TDB-19	0,00	1,13	0,00	0,00	1,22	0,00	0,87	0,68	0,82	0,91	0,97	0,00	0,00	0,00	1,14	0,89	0,00	0,94	1,22
TDR-20	0,00	1,29	1,09	1,14	1,16	0,93	0,94	0,86	0,85	0,88	0,84	0,89	0,00	1,15	1,12	0,00	1,04	0,92	0,90
TDR-21	0,00	1,11	0,96	1,11	1,13	0,99	0,93	0,97	0,89	0,93	0,88	0,89	0,00	1,10	1,20	0,00	0,99	1,01	0,91
TDR-22	0,00	0,72	0,66	1,10	1,17	1,27	1,09	1,46	1,13	1,39	0,89	0,53	0,00	0,99	0,90	0,00	0,81	0,95	0,95
TDR-23	0,00	0,89	0,71	1,13	1,16	1,24	0,89	1,23	0,82	1,36	0,84	0,70	0,00	0,94	1,15	0,00	1,01	0,94	0,98
TDWr-24	0,00	0,00	1,04	0,92	1,40	1,27	1,16	1,03	1,06	0,50	0,59	0,00	0,00	1,01	0,93	1,23	0,84	1,02	0,00
TDWr-25	0,00	0,34	1,04	1,18	0,93	2,53	0,83	0,77	0,51	0,70	1,26	0,00	0,00	1,25	1,02	1,01	0,77	0,85	0,00
TDWr-26	0,00	0,49	1,12	0,94	0,92	1,93	1,06	1,06	0,50	1,49	0,88	0,00	0,00	0,93	1,00	1,00	0,82	0,86	0,00
TDWr-27	0,00	0,42	0,72	1,04	0,65	1,19	1,20	0,71	1,15	0,51	2,60	0,00	0,00	0,30	1,05	1,57	0,82	1,06	0,00
TDWr-28	0,00	0,52	0,64	1,22	0,62	1,37	1,19	1,45	1,24	0,62	0,61	0,00	0,00	0,40	1,65	2,13	0,58	0,77	0,00
TDS-29	0,89	1,02	0,00	0,76	0,00	1,15	1,16	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDS-30	1,06	1,03	0,00	1,09	0,00	1,32	1,02	0,76	1,12	1,44	1,08	1,06	0,75	0,00	0,00	0,63	0,90	0,83	0,91
TDS-31	0,98	0,86	0,00	1,02	0,00	1,13	1,10	0,88	0,86	1,11	0,64	0,55	2,00	0,00	0,00	1,32	0,92	0,86	0,79
TDS-32	1,17	1,20	0,00	1,04	0,00	1,09	0,98	0,92	0,93	0,80	1,16	1,14	1,41	0,00	0,00	1,02	0,45	0,84	0,84
TDS-33	0,88	1,06	0,00	0,93	0,00	1,13	1,05	0,96	0,98	0,96	0,99	0,91	1,12	0,00	0,00	0,94	1,25	0,92	0,93



**Tabela 14 Wartości ugięć standaryzowanych  $U^{STp}$  dla badań FWD**

FWD	X / 04	XI / 04	XII / 04	III / 05	IV / 05	V / 05	VI / 05	VII / 05	VIII / 05	IX / 05	X / 05	XI / 05	III / 06	IV / 06	V / 06	VI / 06	VII / 06	VIII / 06	IX / 06
TDW-01	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-02	0,51	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-03	0,86	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	1,07	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05
TDW-04	0,84	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	1,12	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08
TDW-05	0,90	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-06	0,76	0,00	0,00	0,00	1,21	0,00	1,12	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-07	0,81	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00	1,10	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	1,04
TDW-08	0,89	0,90	0,00	0,00	1,05	1,08	1,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,90	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	1,08
TDW-09	0,94	1,00	0,00	0,00	1,05	1,00	1,10	0,00	1,01	0,00	0,00	0,94	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,92
TDW-10	0,86	0,91	0,00	0,00	1,05	1,03	0,98	0,00	1,03	0,00	0,00	0,95	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	1,00
TDW-11	0,82	0,80	0,00	0,00	1,07	1,06	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,89	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	0,97
TDW-12	0,61	0,85	0,00	0,00	0,93	1,12	1,06	0,00	1,10	0,00	0,00	1,20	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	1,11
TDB-14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00	0,87	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,98
TDB-16	0,47	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00	1,30	0,00	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	1,13
TDB-17	0,73	0,00	0,00	0,00	0,87	0,00	1,08	0,00	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,90
TDB-18	0,89	0,00	0,00	0,00	1,57	0,00	0,90	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,87
TDB-19	0,82	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00	1,13	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	1,12
TDR-20	0,89	0,97	0,00	0,00	1,03	0,00	1,13	0,91	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,98
TDR-21	0,00	0,92	0,00	0,00	1,01	0,00	1,19	0,86	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	1,08
TDR-22	0,90	0,89	0,00	0,00	1,02	0,00	1,14	1,02	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	1,15
TDR-23	0,89	0,82	0,00	0,00	0,95	0,00	1,20	1,06	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	1,19
TDWr-24	0,94	0,86	0,00	1,12	0,00	0,00	0,99	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00	0,95	0,00
TDWr-25	0,97	1,03	0,00	1,28	0,00	0,00	0,88	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01	0,00	1,03	0,00
TDWr-26	0,91	1,10	0,00	1,08	0,00	0,00	0,86	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00	1,08	0,00
TDWr-27	0,92	0,86	0,00	1,13	0,00	0,00	0,94	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	1,00	0,00	0,95	0,00
TDWr-28	0,91	0,80	0,00	1,09	0,00	0,00	0,97	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	0,00	0,00	1,05	0,00	0,99	0,00
TDS-29	0,97	0,95	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	1,12	0,93	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00
TDS-30	1,00	0,94	0,00	0,00	1,06	0,00	0,00	1,04	0,91	0,00	0,00	0,00	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00
TDS-31	0,94	0,85	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00	1,02	0,92	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00
TDS-32	0,95	1,07	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	1,00	0,82	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00
TDS-33	0,94	0,90	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,28	0,87	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00

- 5) Następnie obliczono wartości sezonowych współczynników miesięcznych w celu pokazania zmienności współczynników w różnych okresach i porównania między poszczególnymi odcinkami.

Wartości sezonowych współczynników miesięcznych wyznaczono wg wzoru:

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

Gdzie :

$f_{sm}$  - sezonowy współczynnik miesięczny zmienności ugięć,

$u_{\text{sr max III-IV}}$  – ugięcie maksymalne mierzone wiosną (marzec-kwiecień) dla odcinka badawczego,

$u_{\text{srTk}}$  – skorygowane ugięcie średnie dla każdego pomiaru comiesięcznego odcinka badawczego uwzględniające temperaturę warstw bitumicznych.

Obliczenie wartości sezonowych współczynników miesięcznych zostało także pokazane w przykładzie w pkt 4 niniejszego opracowania.

Wartość sezonowych współczynników miesięcznych dla każdego badania odcinka przedstawione są w Tablicach 15 i 16 i **Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni** oraz na rysunkach w **Załączniku nr 4 – Wykresy sezonowych współczynników miesięcznych dla odcinków badawczych**.

**Tabela 15 Wartości sezonowych współczynników miesięcznych  $f_{sm}$  dla ugięciomierza belkowego**

BELKA	X / 04	XI / 04	XII / 04	III / 05	IV / 05	V / 05	VI / 05	VII / 05	VIII / 05	IX / 05	X / 05	XI / 05	III / 06	IV / 06	V / 06	VI / 06	VII / 06	VIII / 06	IX / 06
TDW-01	0,00	1,45	0,00	1,00	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-02	0,00	1,02	0,00	1,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-03	0,00	1,18	0,00	1,00	1,41	1,25	1,38	0,00	1,46	1,55	1,20	0,00	0,00	1,22	1,19	1,48	0,00	1,44	0,00
TDW-04	0,00	1,06	0,00	1,00	1,29	1,20	1,36	0,00	1,14	1,31	1,20	0,00	0,00	1,12	1,03	1,05	0,00	1,20	0,00
TDW-05	0,00	0,75	0,00	1,00	1,17	1,06	1,18	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-06	0,00	1,02	0,00	1,00	1,50	1,34	1,54	0,00	1,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-07	0,00	1,25	0,00	1,00	1,07	1,19	0,98	0,00	1,04	1,74	1,57	0,00	0,00	0,00	1,51	1,89	0,00	1,89	1,48
TDW-08	0,00	1,42	0,00	1,00	1,42	1,58	1,49	1,75	1,48	1,31	0,00	0,00	0,00	1,33	1,67	1,41	0,00	1,40	0,00
TDW-09	0,00	1,81	0,00	1,00	1,38	1,24	1,54	1,35	1,38	1,38	0,00	0,00	0,00	1,43	1,85	1,50	0,00	1,64	0,00
TDW-10	0,00	1,21	0,00	1,00	1,45	1,25	1,16	1,21	1,22	1,08	0,00	0,00	0,00	1,38	1,48	1,70	0,00	1,46	0,00
TDW-11	0,00	0,00	0,00	1,00	1,31	1,21	1,15	1,19	1,23	1,11	0,00	0,00	0,00	1,23	1,54	1,55	0,00	1,39	0,00
TDW-12	0,00	0,00	0,00	1,00	1,02	1,11	0,99	1,16	1,21	1,14	0,00	0,00	0,00	1,09	1,22	1,29	0,00	1,07	0,00
TDB-14	0,00	1,14	0,00	0,00	1,00	0,00	1,43	1,08	1,05	1,13	0,96	0,00	0,00	0,00	1,35	1,54	0,00	1,27	1,04
TDB-16	0,00	1,05	0,00	0,00	1,00	0,00	0,93	0,88	1,11	1,12	0,96	0,00	0,00	0,00	0,98	0,96	0,00	1,03	1,01
TDB-17	0,00	0,89	0,00	0,00	1,00	0,00	0,92	1,15	1,11	1,05	0,97	0,00	0,00	0,00	1,09	1,35	0,00	0,90	0,94
TDB-18	0,00	1,01	0,00	0,00	1,00	0,00	1,67	1,68	1,66	1,49	1,19	0,00	0,00	0,00	1,03	1,58	0,00	1,48	1,19
TDB-19	0,00	1,08	0,00	0,00	1,00	0,00	1,41	1,80	1,48	1,34	1,26	0,00	0,00	0,00	1,07	1,37	0,00	1,30	1,00
TDR-20	0,00	0,90	1,06	1,02	1,00	1,25	1,23	1,34	1,36	1,31	1,37	1,29	1,28	0,00	1,01	1,04	0,00	1,11	1,26
TDR-21	0,00	1,02	1,18	1,02	1,00	1,15	1,22	1,17	1,28	1,22	1,29	1,28	0,00	1,03	0,94	0,00	1,14	1,12	1,25
TDR-22	0,00	1,63	1,77	1,07	1,00	0,92	1,08	0,81	1,04	0,84	1,32	2,22	0,00	1,19	1,30	0,00	1,45	1,23	1,24
TDR-23	0,00	1,30	1,63	1,03	1,00	0,93	1,31	0,94	1,42	0,85	1,39	1,66	0,00	1,23	1,01	0,00	1,15	1,24	1,18
TDWr-24	0,00	0,00	1,34	1,52	1,00	1,10	1,21	1,37	1,32	2,80	2,38	0,00	0,00	1,39	1,51	1,14	1,68	1,37	0,00
TDWr-25	0,00	3,66	1,19	1,06	1,35	0,49	1,50	1,62	2,43	1,77	0,99	0,00	0,00	1,00	1,22	1,24	1,62	1,47	0,00
TDWr-26	0,00	1,90	0,84	1,00	1,02	0,49	0,88	0,88	1,86	0,63	1,07	0,00	0,00	1,01	0,94	0,94	1,15	1,09	0,00
TDWr-27	0,00	2,46	1,44	1,00	1,60	0,88	0,87	1,48	0,91	2,03	0,40	0,00	0,00	3,46	0,99	0,66	1,26	0,98	0,00
TDWr-28	0,00	2,34	1,90	1,00	1,97	0,89	1,03	0,84	0,98	1,96	2,00	0,00	0,00	3,06	0,74	0,57	2,12	1,59	0,00
TDS-29	0,85	0,75	0,00	1,00	0,00	0,66	0,66	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDS-30	1,03	1,06	0,00	1,00	0,00	0,83	1,07	1,44	0,97	0,76	1,01	1,03	1,46	0,00	0,00	1,74	1,22	1,32	1,20
TDS-31	2,05	2,33	0,00	1,95	0,00	1,76	1,82	2,27	2,33	1,80	3,15	3,66	1,00	0,00	0,00	1,52	2,16	2,33	2,54
TDS-31	1,21	1,18	0,00	1,36	0,00	1,29	1,45	1,54	1,51	1,76	1,22	1,24	1,00	0,00	0,00	1,38	3,11	1,69	1,67
TDS-32	1,26	1,06	0,00	1,20	0,00	0,99	1,06	1,16	1,14	1,16	1,12	1,23	1,00	0,00	0,00	1,19	0,89	1,21	1,20

**Tabela 16 Wartości sezonowych współczynników miesięcznych  $f_{sm}$  dla FWD**

FWD	X / 04	XI / 04	XII / 04	III / 05	IV / 05	V / 05	VI / 05	VII / 05	VIII / 05	IX / 05	X / 05	XI / 05	III / 06	IV / 06	V / 06	VI / 06	VII / 06	VIII / 06	IX / 06
TDW-01	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-02	1,30	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-03	1,25	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,99	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02
TDW-04	1,25	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,93	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96
TDW-05	1,22	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-06	1,59	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,08	0,00	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TDW-07	1,32	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,96	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	1,02
TDW-08	1,31	1,30	0,00	0,00	1,12	1,08	1,16	0,00	1,29	0,00	0,00	1,29	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	1,08
TDW-09	1,24	1,17	0,00	0,00	1,11	1,17	1,07	0,00	1,16	0,00	0,00	1,25	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	1,28
TDW-10	1,41	1,34	0,00	0,00	1,16	1,18	1,24	0,00	1,18	0,00	0,00	1,28	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	1,21
TDW-11	1,51	1,56	0,00	0,00	1,16	1,17	1,24	0,00	1,24	0,00	0,00	1,39	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	1,28
TDW-12	1,53	1,09	0,00	0,00	1,00	0,83	0,88	0,00	0,84	0,00	0,00	0,77	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,84
TDB-14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,34	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	1,19
TDB-16	2,33	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,84	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,96
TDB-17	1,08	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,90	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	1,02
TDB-18	1,76	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,74	0,00	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79	1,80
TDB-19	1,19	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,86	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,87
TDR-20	1,16	1,07	0,00	0,00	1,00	0,00	0,91	1,13	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	1,06
TDR-21	0,00	1,09	0,00	0,00	1,00	0,00	0,84	1,17	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,93
TDR-22	1,13	1,14	0,00	0,00	1,00	0,00	0,89	1,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,89
TDR-23	1,07	1,16	0,00	0,00	1,00	0,00	0,79	0,89	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,80
TDWr-24	1,19	1,31	0,00	1,00	0,00	0,00	1,14	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	1,18	0,00
TDWr-25	1,32	1,24	0,00	1,00	0,00	0,00	1,45	1,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	0,00	1,24	0,00
TDWr-26	1,18	0,98	0,00	1,00	0,00	0,00	1,26	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	1,00	0,00
TDWr-27	1,36	1,45	0,00	1,11	0,00	0,00	1,33	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,25	0,00	1,32	0,00
TDWr-28	1,34	1,52	0,00	1,12	0,00	0,00	1,24	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,15	0,00	1,22	0,00
TDS-29	1,11	1,14	0,00	0,00	1,06	0,00	0,00	0,96	1,17	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00
TDS-30	1,16	1,22	0,00	0,00	1,09	0,00	0,00	1,11	1,27	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00
TDS-31	1,35	1,49	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	1,24	1,38	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,00
TDS-32	1,30	1,15	0,00	0,00	1,32	0,00	0,00	1,23	1,50	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	0,00
TDS-33	1,15	1,19	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00	0,84	1,24	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00

- 6) Dalej obliczono wartości średniej standaryzowanej dla określonych wcześniej sezonów (wczesno-wiosennego, wiosenno-letniego i jesiennego), w celu pokazania zmienności ugięć w różnych okresach oraz wyznaczono globalne ugięcia standaryzowane.

Wartość średniej standaryzowanej dla sezonu wyznaczono wg wzoru:

$$U^{STc} = \frac{\sum_{sezon}^t U^{STp}}{M}$$

Gdzie :

$U^{STc}$  – średnia standaryzowana dla odcinka badanego w sezonie - t:  
-wczesno-wiosennym,  
-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 formuły:

$$U^{GLsezugST} = \frac{\sum_{odc-1}^L U^{STc}}{L}$$

Gdzie :

$U^{GLsezugST}$  – globalne sezonowe ugięcie standaryzowane dla sezonów - t:  
-wczesno-wiosennego,  
-wiosenno-letniego,  
-jesiennego,  
 $U^{STc}$  – średnia standaryzowana dla odcinka badanego w sezonie - t:  
-wczesno-wiosennym,

-wiosenno-letnim,

-jesiennym,

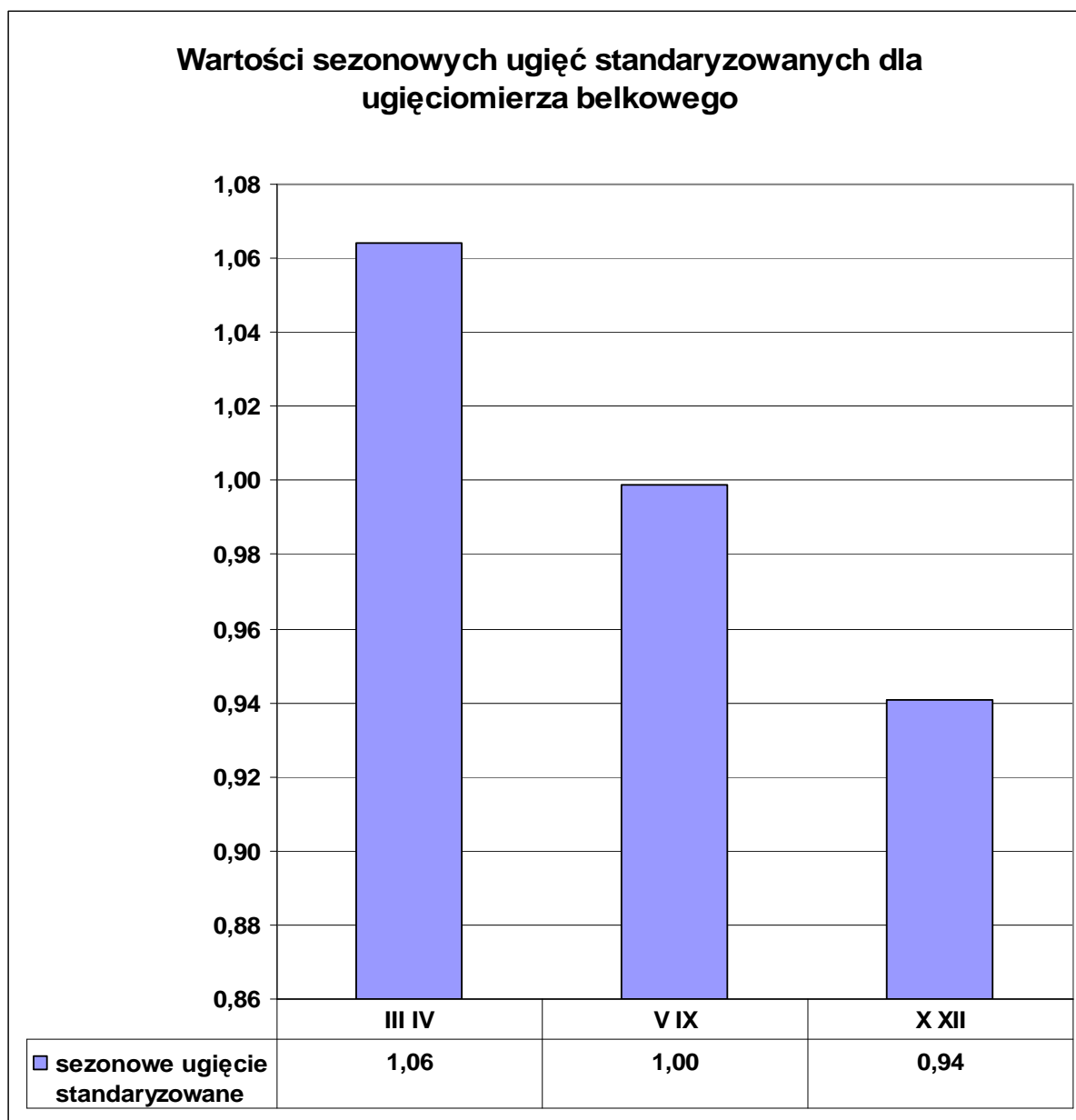
L – ilość odcinków badawczych.

Wartość średniej standaryzowanej dla odcinków w sezonach oraz globalne ugięcia standaryzowane dla sezonów wraz z ilustracją trendów przedstawiono w Tablicach 17 i 18 oraz na rysunkach rys 70, 71 i 72.

Tablica 17 Wartości średniej standaryzowanej sezonowej dla odcinków badawczych – ugięciomierz belkowy

Średnia standaryzowana sezonowa dla odcinków $U^{STc}$ – ugięciomierz belkowy			
Odcinek badawczy	Sezony		
	Wczesno-wiosenny III - IV	Wiosenno-letni V -IX	Jesienny X - XII
<b>TDW-01</b>	1,09		0,82
<b>TDW-02</b>	0,95		1,09
<b>TDW-03</b>	1,09	1,09	0,55
<b>TDW-04</b>	1,03	1,15	0,43
<b>TDW-05</b>	1,00	0,86	1,42
<b>TDW-06</b>	1,06	0,88	1,25
<b>TDW-07</b>	1,29	0,96	0,90
<b>TDW-08</b>	1,16	0,94	1,00
<b>TDW-09</b>	1,01	0,96	0,67
<b>TDW-10</b>	1,03	0,98	1,05
<b>TDW-11</b>	1,07	0,97	
<b>TDW-12</b>	1,07	0,97	
<b>TDB-14</b>	1,15	0,95	1,09
<b>TDB-16</b>	1,00	1,01	0,98
<b>TDB-17</b>	1,02	0,98	1,06
<b>TDB-18</b>	1,31	0,91	1,13
<b>TDB-19</b>	1,22	0,93	1,11
<b>TDR-20</b>	1,15	0,94	1,03
<b>TDR-21</b>	1,11	0,98	0,96
<b>TDR-22</b>	1,09	1,10	0,70
<b>TDR-23</b>	1,08	1,07	0,79
<b>TDWr-24</b>	1,11	1,00	0,82
<b>TDWr-25</b>	1,12	1,00	0,88
<b>TDWr-26</b>	0,93	1,08	0,83
<b>TDWr-27</b>	0,66	1,03	1,25
<b>TDWr-28</b>	0,75	1,22	0,59
<b>TDS-29</b>	0,76	1,11	0,95

TDS-30	0,92	0,99	1,06
TDS-31	1,51	1,00	0,75
TDS-32	1,23	0,88	1,17
TDS-33	1,02	1,01	0,96
Globalne ugięcia standaryzowane - $U^{GL, sez, ug, ST}$			
<b>Wartość średnia</b>	<b>1,06</b>	<b>1,00</b>	<b>0,94</b>
<b>Odchylenie standardowe</b>	<b>0,16</b>	<b>0,08</b>	<b>0,22</b>

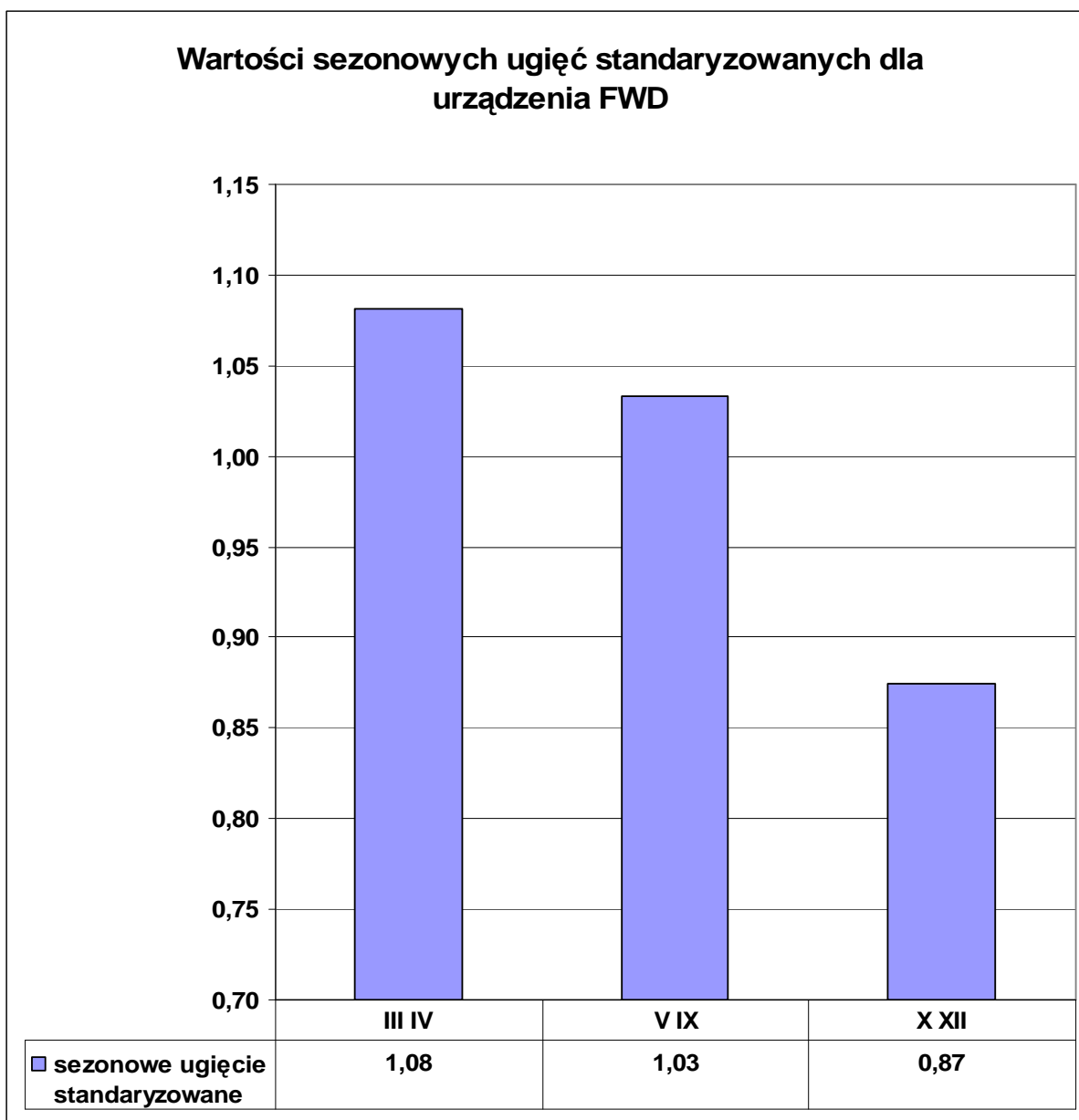


Rys 70 Wartości globalnych sezonowych ugięć standaryzowanych dla ugięciomierza belkowego

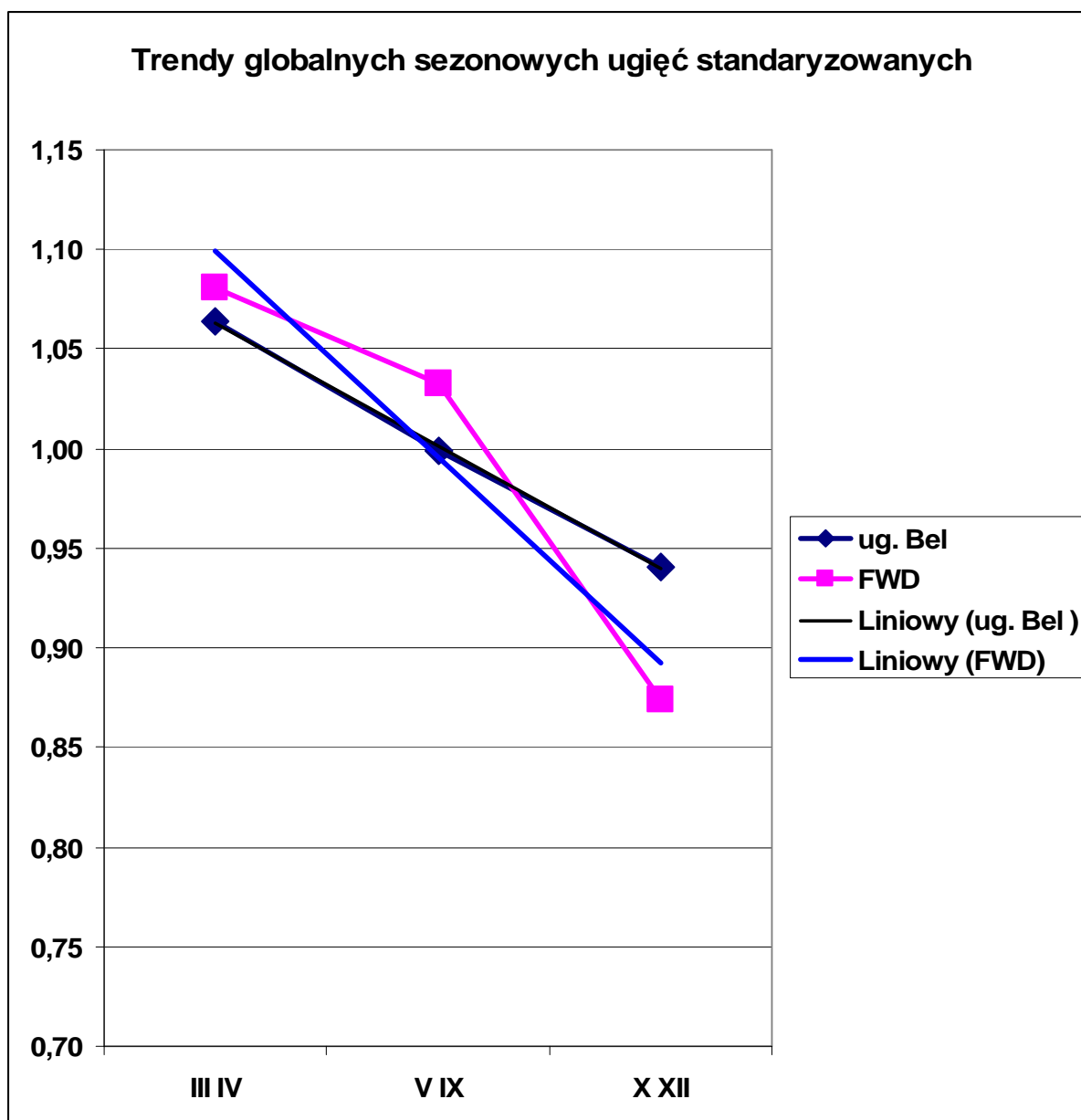
Tablica 18 Wartości średniej standaryzowanej sezonowej dla odcinków badawczych – FWD

Średnia standaryzowana sezonowa dla odcinków U <sup>STc</sup> – FWD			
Odcinek badawczy	Sezony		
	Wczesno-wiosenny III - IV	Wiosenno-letni V -IX	Jesienny X - XII
TDW-01	1,00		1,00
TDW-02	0,67	1,82	0,51
TDW-03	1,07	1,03	0,86
TDW-04	1,04	1,04	0,84
TDW-05	1,10	1,00	0,90
TDW-06	1,21	1,02	0,76
TDW-07	1,06	1,03	0,81
TDW-08	1,11	1,02	0,90
TDW-09	1,11	0,98	0,96
TDW-10	1,13	1,00	0,90
TDW-11	1,16	1,03	0,84
TDW-12	0,92	1,10	0,89
TDB-14	1,16	0,96	
TDB-16	1,09	1,11	0,47
TDB-17	0,87	0,98	0,73
TDB-18	1,57	0,88	0,89
TDB-19	0,97	1,05	0,82
TDR-20	1,03	0,98	1,02
TDR-21	1,01	1,02	0,96
TDR-22	1,02	1,07	0,90
TDR-23	0,95	1,11	0,88
TDWr-24	1,12	1,02	0,90
TDWr-25	1,28	0,93	1,00
TDWr-26	1,08	0,98	1,01
TDWr-27	1,19	0,96	0,89
TDWr-28	1,15	1,00	0,85
TDS-29	1,05	0,99	0,96
TDS-30	1,11	0,95	0,97
TDS-31	1,17	0,96	0,89
TDS-32	1,09	0,94	1,01
TDS-33	1,04	1,03	0,92
Globalne ugięcia standaryzowane - U <sup>GL sez ug ST</sup>			
<b>Wartość średnia</b>	<b>1,08</b>	<b>1,03</b>	<b>0,87</b>
<b>Odchylenie standardowe</b>	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,13</b>





Rys 71 Wartości globalnych sezonowych ugięć standaryzowanych dla urządzenia FWD.



Rys 72 Zobrazowanie trendów globalnych sezonowych ugięć standaryzowanych dla ugięciomierza belkowego i urządzenia FWD.

Dla obliczonych sezonowych globalnych ugięć standaryzowanych zarówno dla badań ugięciomierzem belkowym jak i urządzeniem FWD stwierdzono zależność wielkości ugięć od sezonu badań z wyraźną tendencją spadkową i tak dla:

- Ugięciomierza belkowego:
  - Sezon wczesno - wiosenny (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 –  $U^{GL\ sez\ ug\ ST\ X-XII} = 0,94$ ;
- Urządzenia FWD:

- Sezon wczesno - wiosenny (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 sezonowych współczynników miesięcznych wyznaczono następnie średnie współczynniki sezonowe dla odcinków badawczych dla sezonów (wczesno-wiosennego, wiosenno-letniego i jesiennego) oraz współczynniki globalne.

Wartości średnich współczynników sezonowych dla odcinków badawczych wyznaczono wg wzoru:

$$f^{sez\ odc} = \frac{\sum^t f_{sm}}{M}$$

Gdzie :

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

$f_{sm}$  - sezonowy współczynnik miesięczny zmienności ugięć,

M – ilość pomiarów w sezonie.

Globalne współczynniki sezonowe obliczono według formuły:

$$f^{GL\ sez} = \frac{\sum^L f^{sez\ odc}}{L}$$

Gdzie :

$f^{GL\ sez}$  – globalne współczynnik sezonowe dla okresów - t:  
 -wczesno-wiosennego,  
 -wiosenno-letniego,  
 -jesiennego,

$f^{sez\ odc}$  – współczynnik sezonowy dla odcinka badawczego w okresie - t:

-wczesno-wiosennym,

-wiosenno-letnim,

-jesiennym,

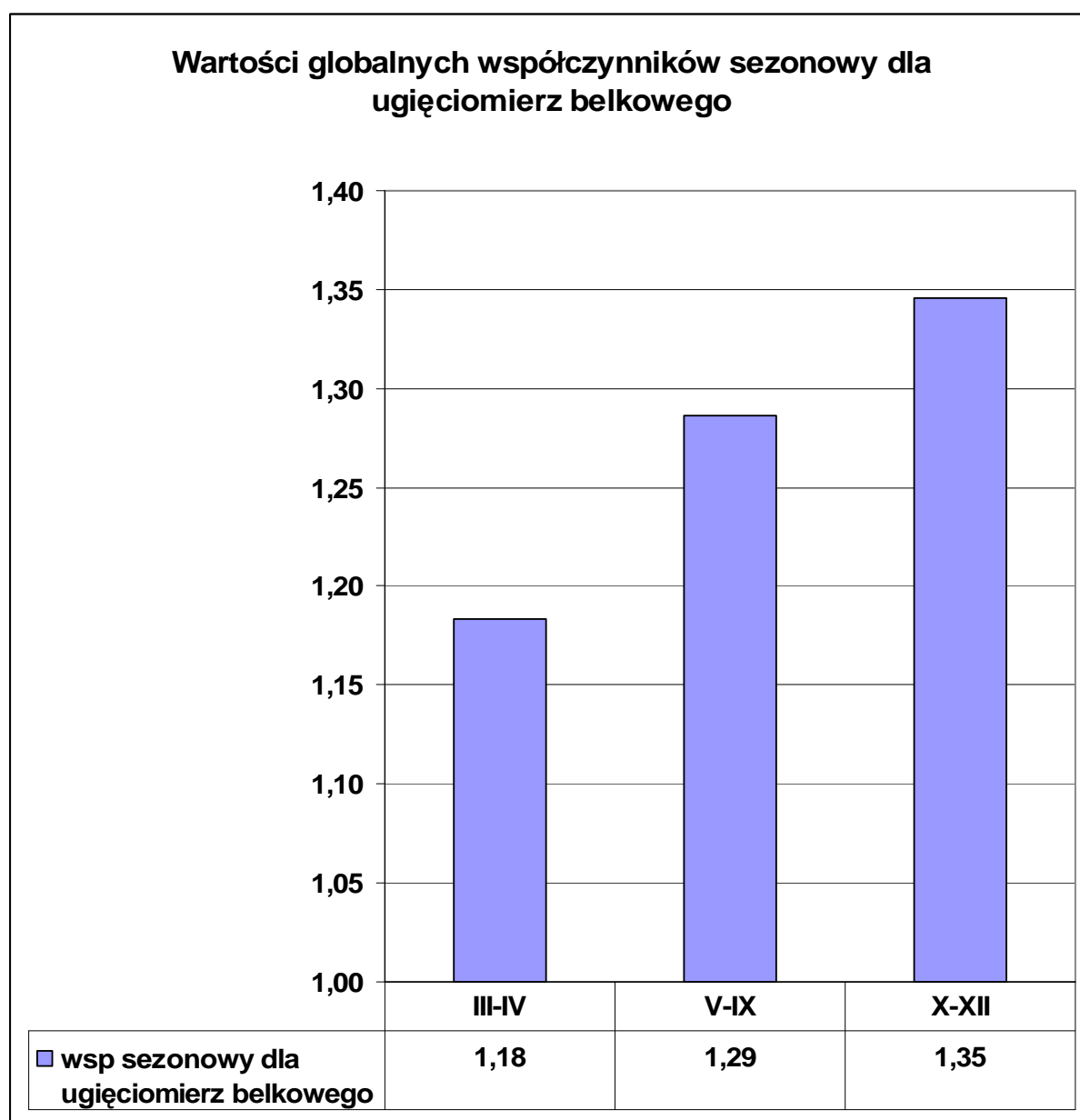
L – ilość odcinków badawczych.

Wartość średnich współczynników sezonowy dla odcinka badawczych w poszczególnych sezonach oraz globalne współczynniki dla sezonów przedstawiono w Tablicach 19 i 20 oraz na rysunkach rys 73, 74 i 75.

Tablica 19 Wartości średnich współczynników sezonowy dla odcinków badawczych – ugięciomierz belkowy

Średnie współczynniki sezonowe dla odcinków badawczych $f^{\text{sez odc}}$ – ugięciomierz belkowy			
Odcinek badawczy	Sezony		
	Wczesno-wiosenny III - IV	Wiosenno-letni V -IX	Jesienny X - XII
<b>TDW-01</b>	1,09		1,45
<b>TDW-02</b>	1,20		1,02
<b>TDW-03</b>	1,21	1,39	1,19
<b>TDW-04</b>	1,14	1,18	1,13
<b>TDW-05</b>	1,08	1,28	0,75
<b>TDW-06</b>	1,25	1,45	1,02
<b>TDW-07</b>	1,03	1,46	1,50
<b>TDW-08</b>	1,25	1,51	1,42
<b>TDW-09</b>	1,27	1,49	1,81
<b>TDW-10</b>	1,28	1,32	1,21
<b>TDW-11</b>	1,18	1,30	
<b>TDW-12</b>	1,04	1,15	
<b>TDB-14</b>	1,00	1,23	1,06
<b>TDB-16</b>	1,00	1,00	1,02
<b>TDB-17</b>	1,00	1,06	0,97
<b>TDB-18</b>	1,00	1,47	1,18
<b>TDB-19</b>	1,00	1,35	1,11
<b>TDR-20</b>	1,01	1,24	1,16
<b>TDR-21</b>	1,02	1,17	1,19
<b>TDR-22</b>	1,08	1,10	1,74
<b>TDR-23</b>	1,09	1,11	1,49
<b>TDWr-24</b>	1,30	1,50	1,86
<b>TDWr-25</b>	1,13	1,48	1,95
<b>TDWr-26</b>	1,01	0,98	1,27

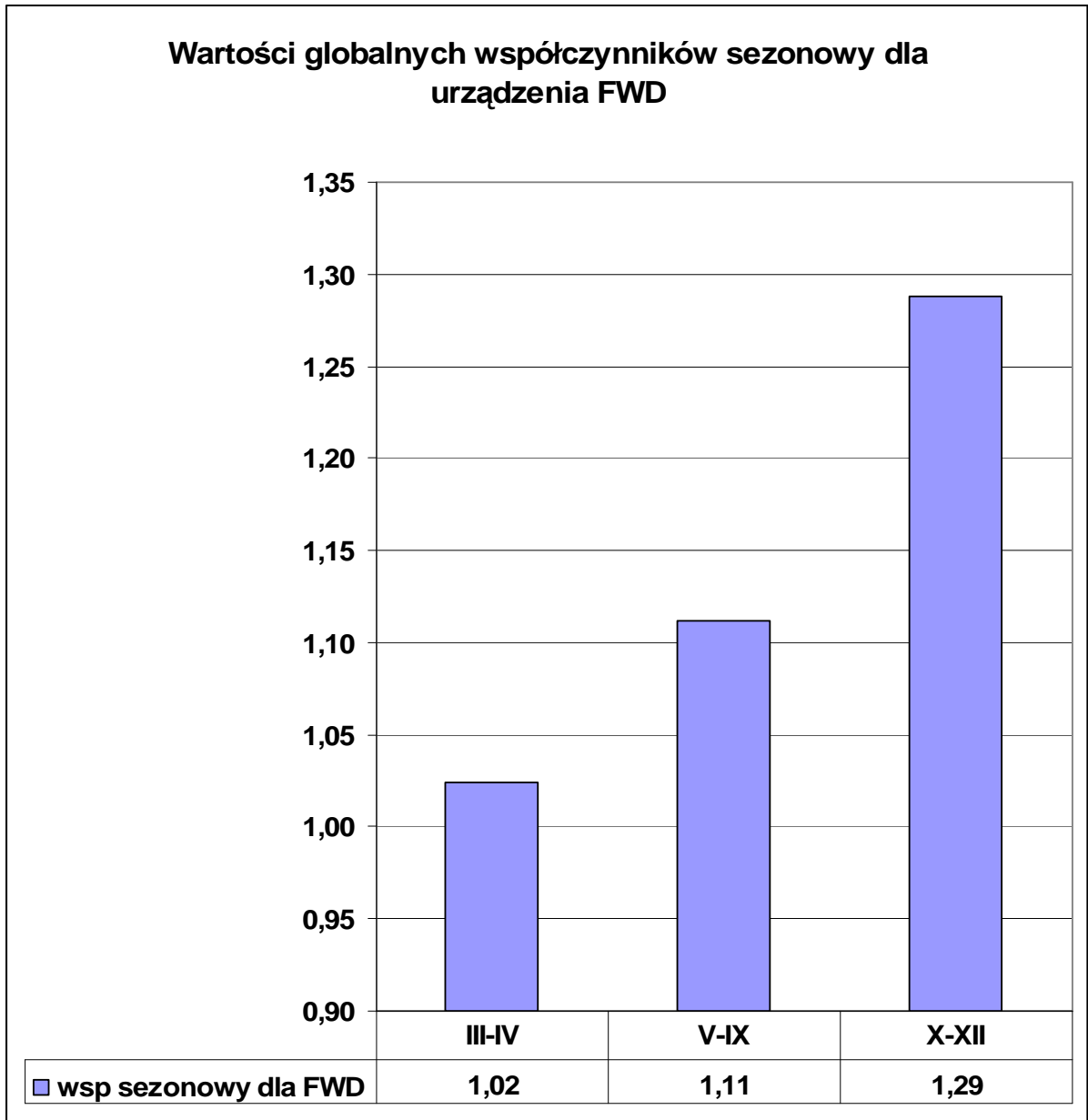
<b>TDWr-27</b>	2,02	1,12	1,43
<b>TDWr-28</b>	2,01	1,19	2,08
<b>TDS-29</b>	1,00	0,69	0,80
<b>TDS-30</b>	1,23	1,17	1,04
<b>TDS-31</b>	1,48	2,06	2,80
<b>TDS-32</b>	1,18	1,71	1,21
<b>TDS-33</b>	1,10	1,11	1,17
Globalne współczynniki sezonowe – $f^{GL\ sez}$			
<b>Wartość średnia</b>	<b>1,18</b>	<b>1,29</b>	<b>1,35</b>
<b>Odchylenie standardowe</b>	<b>0,25</b>	<b>0,26</b>	<b>0,43</b>



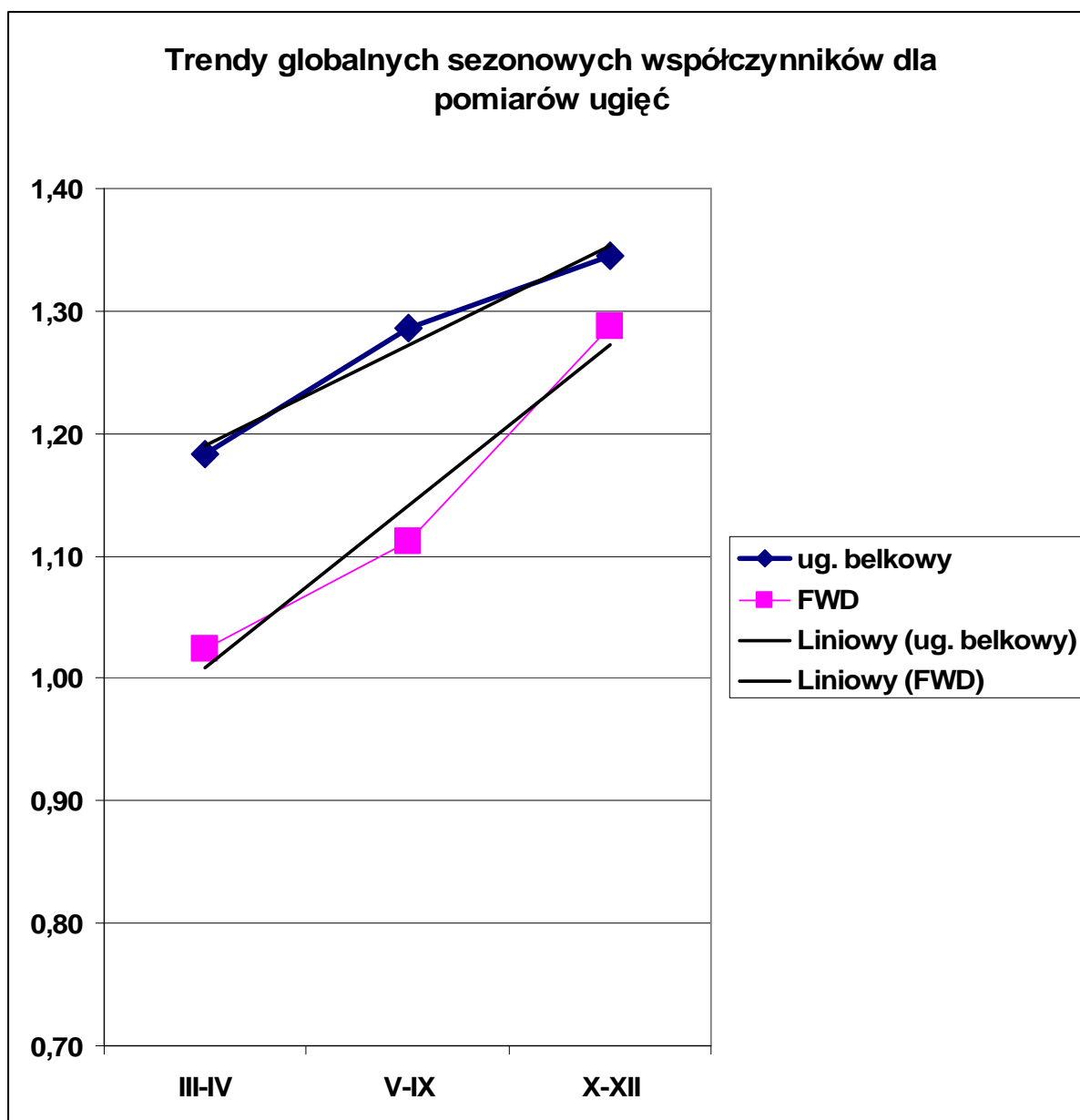
Rys 73 Wartości globalnych współczynników sezonowy dla ugięciomierza belkowego.

Tablica 20 Wartości średnich współczynników sezonowy dla odcinków badawczych – urządzenie FWD

Średnie współczynniki sezonowe dla odcinków badawczych – urządzenie FWD			
Odcinek badawczy	Sezony		
	Wczesno-wiosenny III - IV	Wiosenno-letni V -IX	Jesienny X - XII
<b>TDW-01</b>	1,00		1,00
<b>TDW-02</b>	1,00	0,37	1,30
<b>TDW-03</b>	1,00	1,04	1,25
<b>TDW-04</b>	1,00	1,01	1,25
<b>TDW-05</b>	1,00	1,09	1,22
<b>TDW-06</b>	1,00	1,20	1,59
<b>TDW-07</b>	1,00	1,03	1,32
<b>TDW-08</b>	1,06	1,15	1,30
<b>TDW-09</b>	1,06	1,20	1,22
<b>TDW-10</b>	1,08	1,21	1,34
<b>TDW-11</b>	1,08	1,21	1,49
<b>TDW-12</b>	1,01	0,85	1,13
<b>TDB-14</b>	1,00	1,21	
<b>TDB-16</b>	1,00	0,99	2,33
<b>TDB-17</b>	1,00	1,01	1,08
<b>TDB-18</b>	1,00	1,77	1,76
<b>TDB-19</b>	1,00	0,93	1,19
<b>TDR-20</b>	1,00	1,06	1,03
<b>TDR-21</b>	1,00	1,00	1,05
<b>TDR-22</b>	1,00	0,96	1,12
<b>TDR-23</b>	1,00	0,87	1,09
<b>TDWr-24</b>	1,00	1,11	1,25
<b>TDWr-25</b>	1,00	1,39	1,28
<b>TDWr-26</b>	1,00	1,12	1,08
<b>TDWr-27</b>	1,05	1,31	1,41
<b>TDWr-28</b>	1,06	1,21	1,43
<b>TDS-29</b>	1,03	1,10	1,13
<b>TDS-30</b>	1,04	1,23	1,19
<b>TDS-31</b>	1,09	1,33	1,42
<b>TDS-32</b>	1,16	1,33	1,23
<b>TDS-33</b>	1,04	1,08	1,17
Globalne współczynniki sezonowe – $f^{GL\ sez}$			
<b>Wartość średnia</b>	<b>1,02</b>	<b>1,11</b>	<b>1,29</b>
<b>Odchylenie standardowe</b>	<b>0,04</b>	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>



Rys 74 Wartości globalnych współczynników sezonowy dla urządzenie FWD.



Rys 75 Zobrazowanie trendów globalnych współczynników sezonowy dla ugięciomierza belkowego i urządzenia FWD.

Dla obliczonych globalnych współczynników sezonowy zarówno dla badań ugięciomierzem belkowym jak i urządzeniem FWD stwierdzono zależność wielkości ugięć od sezonu badań z wyraźną tendencją wzrostową i tak dla:

- Ugięciomierza belkowego:
  - Sezon wczesno - wiosenny (sezon bazowy) –  $f^{GL\ sez} = 1,18$ ,
  - Sezon wiosenno - letni –  $f^{GL\ sez} = 1,29$ ,
  - Sezon jesienny –  $f^{GL\ sez} = 1,35$ ;
- Urządzenia FWD:



- Sezon wczesno - wiosenny (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 sezonowych współczynników globalnych określono następnie wartości skorygowane.

Globalne współczynniki sezonowe skorygowane zostały wyliczone zgodnie z następującymi zasadami:

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

Skorygowane globalne współczynniki sezonowe obliczono według formuły:

$$f^{skGLsez} = \frac{f^{GLsez'}}{f^{GLsez' III-IV}}$$

Gdzie :

$f^{sk\ GL\ sez}$  – skorygowane globalne współczynnik sezonowe dla okresów - t:  
 -wczesno-wiosennego,  
 -wiosenno-letniego,  
 -jesiennego,

$f^{GLsez'}$  – globalny współczynnik sezonowy obliczony z pominięciem wartości ekstremalnych dla okresów - t:

-wczesno-wiosennym,  
 -wiosenno-letnim,  
 -jesiennym,

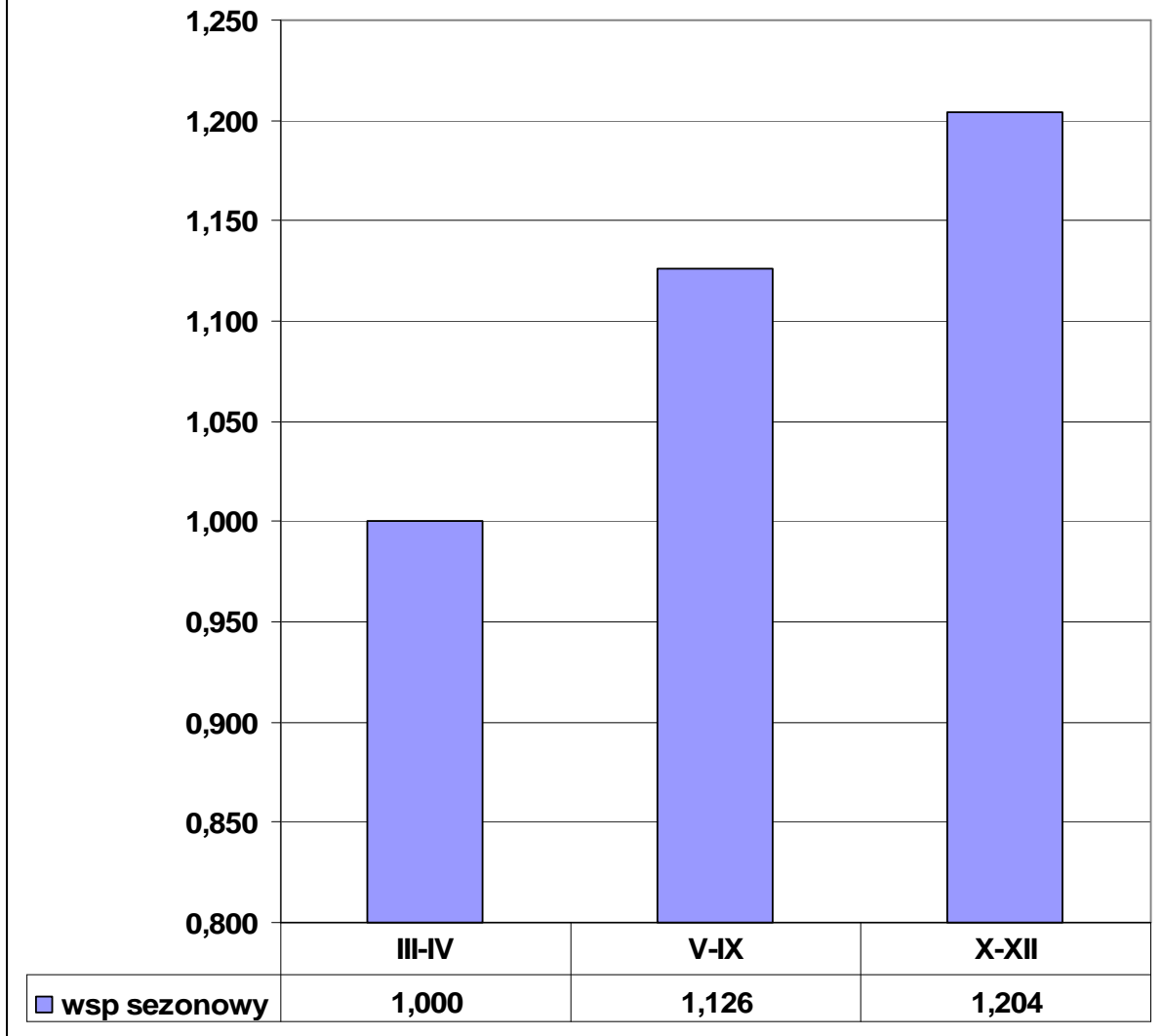
$f^{GLsez' III-IV}$  – globalny współczynnik sezonowy obliczony z pominięciem wartości ekstremalnych dla okresu – wczesno-wiosennego (sezonu bazowego).

Wartość globalny współczynnik sezonowy obliczony z pominięciem wartości ekstremalnych –  $f^{GLsez}$  oraz skorygowane globalne współczynniki dla sezonów przedstawiono w Tablicach 21 i 22 oraz na rysunkach rys 76 - 79.

Tablica 21 Zestawienie globalnych współczynników sezonowych dla ugięciomierza belkowego

Lp	Współczynniki sezonowe – ugięciomierz belkowy			
	wartości	sezony		
		III-IV	V-IX	X-XII
2	Globalny współczynnik sezonowy bez wartości ekstremalnych	1,12	1,26	1,35
3	Odchylenie standardowe bez wartości ekstremalnych	0,11	0,21	0,43
4	$f^{GLsez' III-IV}$	1,12	1,12	1,12
5	$f^{sk GL sez}$	<b>1,000</b>	<b>1,126</b>	<b>1,204</b>

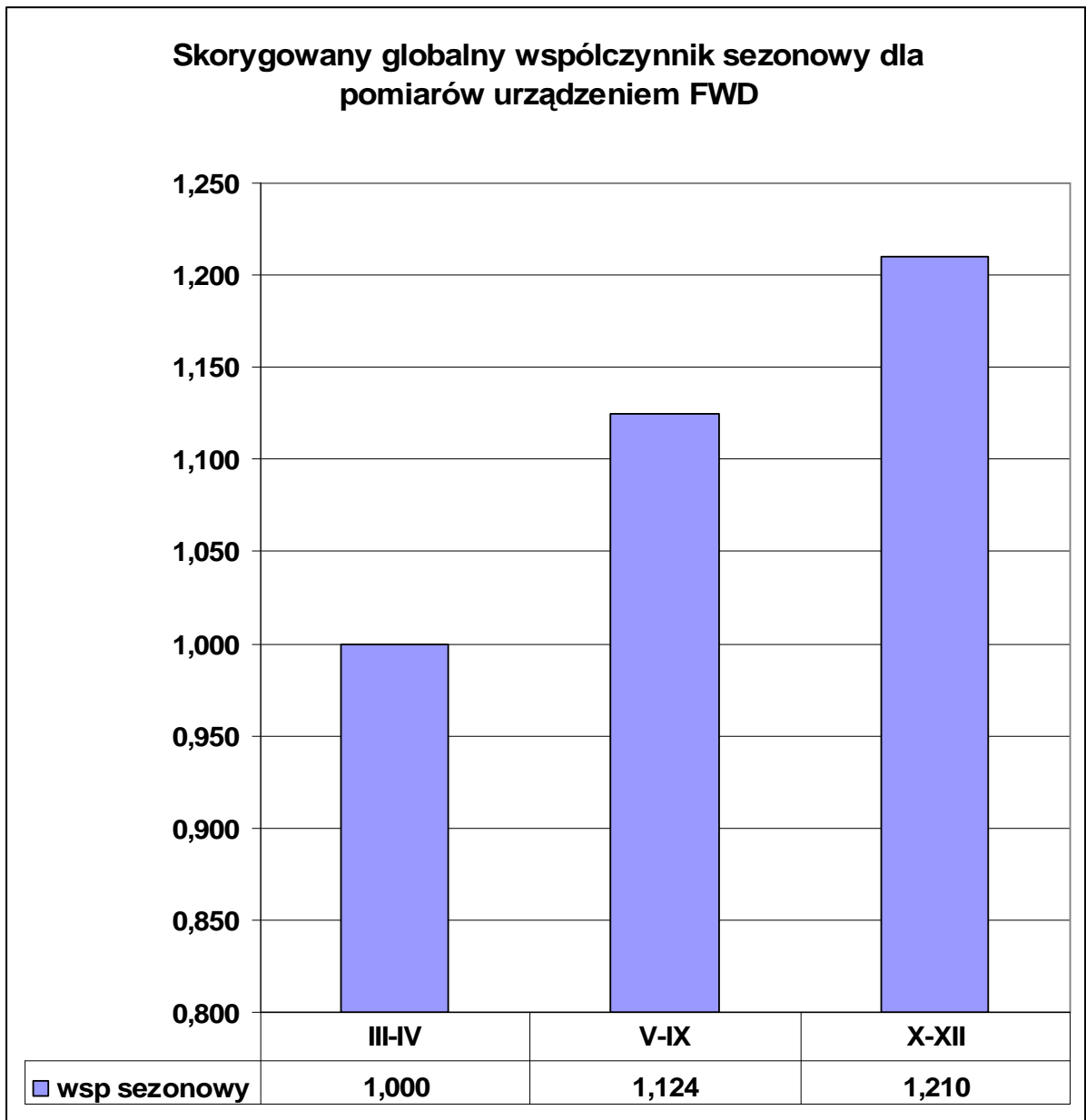
**Skorygowany globalny współczynnik sezonowy dla pomiarów ugięciomierzem belkowym**



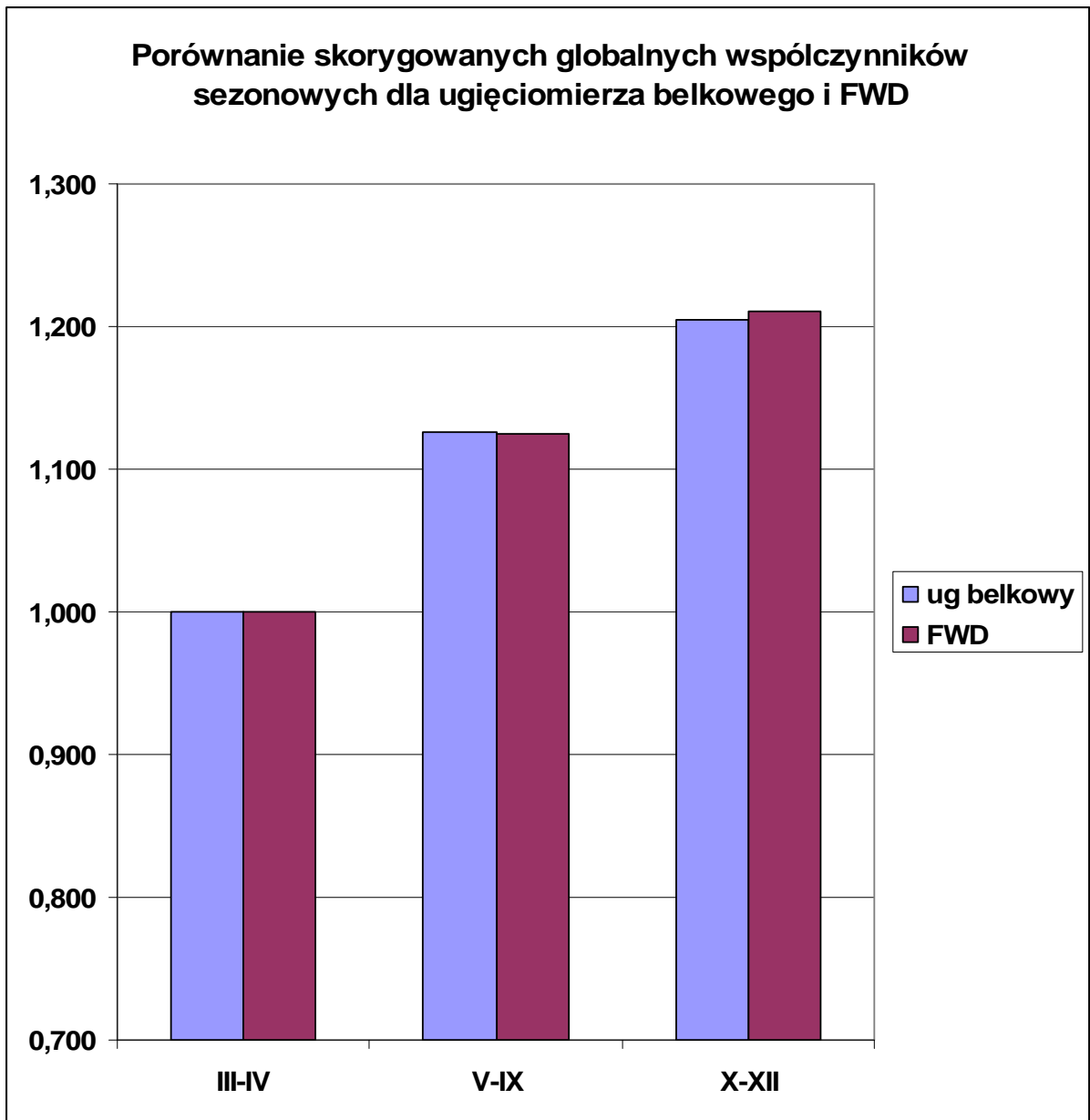
Rys 76 Wartości skorygowanych globalnych współczynników sezonowy dla ugięciomierza belkowego.

Tablica 21 Zestawienie globalnych współczynników sezonowych dla FWD

Lp	Współczynniki sezonowe – FWD			
	wartości	sezony		
		III-IV	V-IX	X-XII
2	Globalny współczynnik sezonowy bez wartości ekstremalnych	1,02	1,15	1,23
3	Odchylenie standardowe bez wartości ekstremalnych	0,03	0,18	0,14
4	$f^{GLsez'}_{III-IV}$	1,02	1,02	1,02
5	$f^{sk GL sez}$	<b>1,000</b>	<b>1,124</b>	<b>1,210</b>

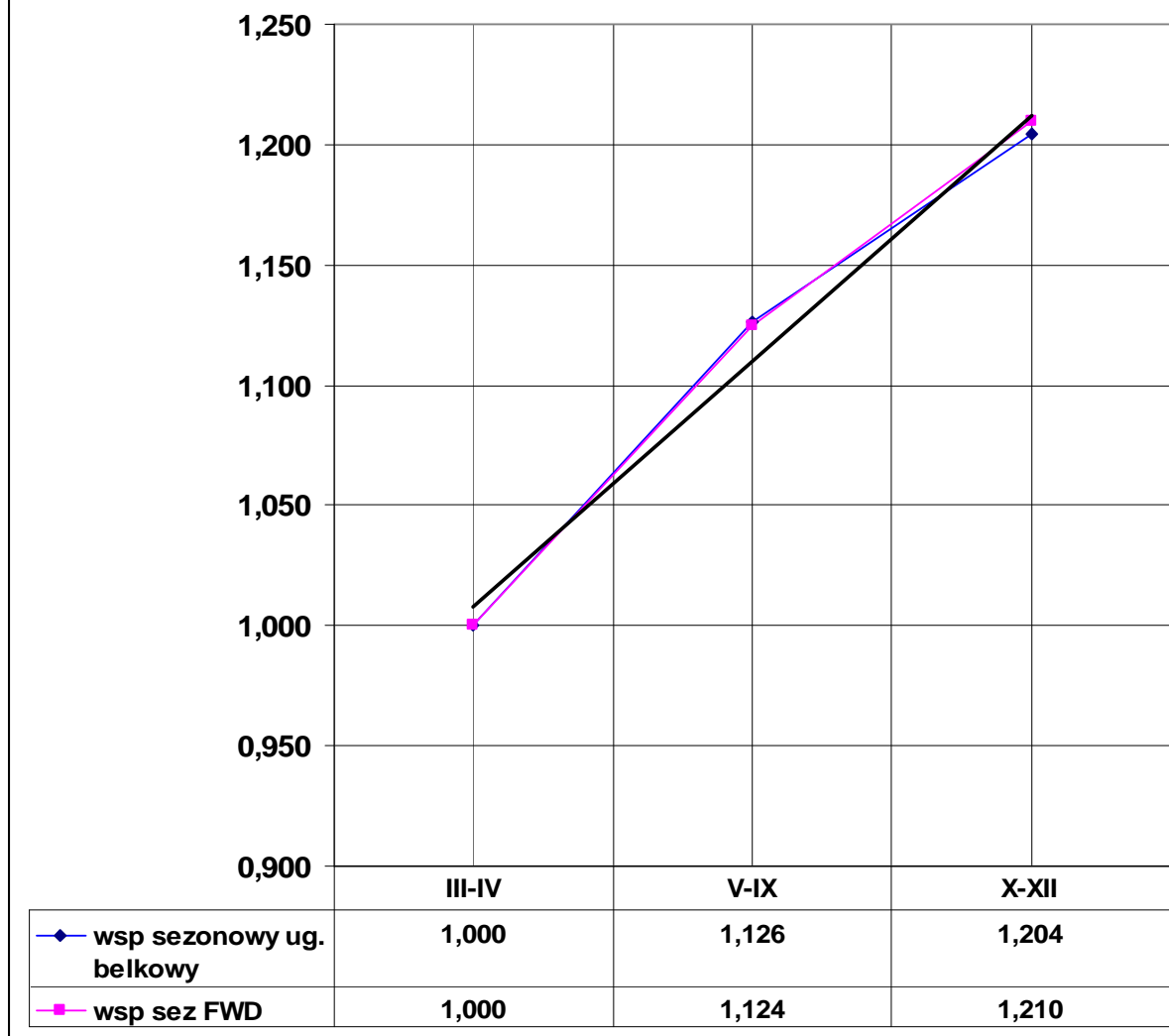


Rys 77 Wartości skorygowanych globalnych współczynników sezonowy dla urządzenia FWD.



Rys 78 Porównanie wartości skorygowanych globalnych współczynników sezonowych dla ugięciomierza belkowego i urządzenia FWD.

### Trendy skorygowanych globalnych sezonowych współczynników dla pomiarów ugięć



Rys 79 Zobrazowanie trendów skorygowanych globalnych współczynników sezonowy dla ugięciomierza belkowego i urządzenia FWD.

Dla wyznaczonych skorygowanych globalnych współczynników sezonowy tak dla ugięciomierza belkowego jak i urządzenia FWD potwierdzono zależność wielkości ugięć od sezonu badań z wyraźną trendem wzrostowym dla:

- Ugięciomierza belkowego:
  - Sezon wczesno - wiosenny (sezon bazowy) –  $f^{sk GL sez} = 1,00$ ,
  - Sezon wiosenno - letni –  $f^{sk GL sez} = 1,126$ ,

- Sezon jesienny –  $f^{sk\ GL\ sez} = 1,204$ ;
- Urządzenia FWD:
  - Sezon wczesno - wiosenny (sezon bazowy) –  $f^{sk\ GL\ sez} = 1,00$ ,
  - Sezon wiosenno – letni –  $f^{sk\ GL\ sez} = 1,124$ ,
  - Sezon jesienny –  $f^{sk\ GL\ sez} = 1,210$ .

Porównanie współczynników sezonowych z obliczeń statystycznych i teoretycznych z doświadczeniami zagranicznymi.

Współczynniki sezonowości obliczone według modelu statystycznego korespondują z wartościami uzyskanymi z obliczeń teoretycznych na poziomie wartości średnich po skorygowaniu.

Dla wartości średnich po skorygowaniu współczynniki sezonowości odpowiednio wynoszą:

Dla pomiarów ugięciemierzem belkowym współczynnik sezonowości wynosi:

- Dla obliczeń teoretycznych – 1,225,
- Dla modelu statystycznego – 1,204.

Dla pomiarów urządzeniem FWD współczynnik sezonowości wynosi:

- Dla obliczeń teoretycznych – 1,190,
- Dla modelu statystycznego – 1,210.

Z analizy doświadczeń zagranicznych wynika, że wartości współczynników sezonowych oscylują w przedziale od 1,00 do 1,6, z dominującym zakresem 1,0 – 1,30.



## Współczynniki sezonowe dla pomiarów ugięć na obszarze Polski

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 tabeli 22.

Tabela 22 Współczynniki sezonowe dla pomiarów ugięć na obszarze Polski

Współczynniki sezonowe				
Lp	pomiar	sezony		
		III-IV	V-IX	X-XII
1	<b>ugięciomierzem belkowym</b>	<b>1,00</b>	<b>1,15</b>	<b>1,25</b>
2	<b>urządzeniem FWD</b>	<b>1,00</b>	<b>1,15</b>	<b>1,25</b>

### **6. Podsumowanie realizacji pracy**

W trakcie realizacji prac w latach 2004 -2006 wykonano w sumie 587 serii pomiarów ugięć na odcinkach badawczych z czego:

- 377 ugięciomierzem belkowym w poszczególnych sezonach:
  - wczesno – wiosennym – 72,
  - wiosenno – letnim – 228,
  - jesiennym – 77;
- 210 urządzeniem FWD.
  - wczesno – wiosennym – 43,
  - wiosenno – letnim – 110,
  - jesiennym – 57.

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.

## **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 (spoisne, sypkie)
- rodzajów i grubości konstrukcji (podatne, półsżytywne; 30-60cm).

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

Suma średnich miesięcznych opadów atmosferycznych w okresie od czerwca 2004r do października 2006 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 – 2 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych -3 – -4 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 20 – 30mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 40 – 50mm. W okresie „zimowym” nie prowadzi się badań ugięć nawierzchni.
- Sezon II „wczesno-wiosenny” obejmujący miesiące marzec i kwiecień – o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych 4 – 8 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych 1 – 6 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych – 30mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 50 – 80mm. W okresie „wczesno-wiosennym” 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 – 18 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych 11 – 16 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 45 – 60mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 100 – 160mm. W okresie „wiosenno - letnim” prowadzi się badania ugięć nawierzchni a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym.
- Sezon „jesienny” obejmujący miesiące październik, listopad i częściowo grudzień – o temperaturach średnich miesięcznych maksymalnych 1,5 – 9 °C, temperaturach średnich miesięcznych minimalnych -2 – 7 °C, wysokości średnich miesięcznych opadów minimalnych 35 – 40mm i wysokości średnich miesięcznych opadów maksymalnych 60 – 80mm. W okresie „jesiennym” prowadzi się badania ugięć nawierzchni do wystąpienia pierwszych mrozów a wyniki powinny być korygowane współczynnikiem sezonowym.

4. Dla przeprowadzonej analizy teoretycznych ugięć konstrukcji nawierzchni dla modelu dwuwarstwowego Burmistera otrzymano zmienność ugięć:

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

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

5. Z analizy doświadczeń zagranicznych wynika, że wartości współczynników sezonowych 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, doświadczeń zagranicznych i analizy statystycznej przyjęto następujące współczynniki sezonowe dla pomiarów ugięć na obszarze Polski:

- Dla sezonu „wczesno-wiosennego” – (marzec i kwiecień) –  $f_s = 1,00$ ,
- Dla sezonu „wiosenno - letniego” – (maj, czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień) –  $f_s = 1,15$ ,
- Dla sezonu „jesiennego” – (październik, listopad i częściowo grudzień) –  $f_s = 1,25$ .

W załącznikach zestawiono analizy i wyniki badań wykonanych pracy:

- Załączniku nr 1 - Przekroje konstrukcji nawierzchni odcinków doświadczalnych,
- Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni,
- Załączniku nr 3 - Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych.,
- Załączniku nr 4 – Wykresy sezonowych współczynników miesięcznych dla odcinków badawczych.

Program III etapu oraz całości pracy został zrealizowany zgodnie z planem.

## **7.Literatura**

- 1) „Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Pólsztynowych” GDDP, Warszawa 1997.
- 2) „Katalog Wzmocnień Nawierzchni Podatnych i Pólsztynowych” GDDP, Warszawa 2001.
- 3) Strona internetowa IMiGW: [www.imgw.pl](http://www.imgw.pl)
- 4) „Atlas Klimatu Polski” – H. Lorenc IMiGW, Warszawa 2005
- 5) Zarys Geotechniki. Z. Wiłun, WKŁ, Warszawa 2001.
- 6) Modyfikacja metody wyznaczania nośności nawierzchni wielowarstwowych, M. Graczyk, J. Rafa, praca niepublikowana, IBDiM Warszawa 2002.
- 7) Uwzględnienie wpływów sezonowych w badaniu ugięć nawierzchni. St. Szpinek, IBDiM, Warszawa 1993
- 8) Analiza przemarzania gruntów w skali kraju. A. Janowski, GDDKiA, Warszawa 2002, praca niepublikowana.
- 9) Aerodrome Design Manual. Part 3 Pavements, 1983, ICAO.
- 10) Characterisation of seasonal influences on asphalt pavements with the use of falling weight deflectometers Ph.D. Thesis, Delft University of Technology , June 1995
- 11) Transport Research COST 336 – Falling Weight Deflectometr. Final Report of the Action. European Commission.
- 12) OBERBAUVERSTARKUNG VON ASPHALTSTRASSEN. Methodenüberblick und Ableitung von Klimadaten für die analytische Bemessung. M. Wistuba, R Blab, J. Litzka. TU-Wien, 2004.
- 13) Seasonal variation of pavements response to falling weight deflectometer. M. Antunes, A. Pinelo, A. Correia. Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields. Norway, Trondheim, 1998.
- 14) Quantification of seasonal variation effects of subgrade soil moisture and pavement temperature on pavement performance using LTPP data. F. Bayomy, Ch. Richter, A. Lopez. Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields. Norway, Trondheim, 1998.
- 15) The general theory of stresses and displacements in layered systems. D. M. Burmister Journal of Applied Physics Vol. 16 No.1 January 1945.
- 16) Method of Estimation of Bearing Capacity of Multi-Layer Pavements with Application of Quasi-Static Tests, M. Graczyk, T. Mechowski, J. Sudyka, M. Chomicki, J. Rafa, 6<sup>th</sup>

International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Lisbon,  
Portugal 2002.