

**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 II**

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 2005

## SPIS TREŚCI

1.Podstawa i zakres pracy.	3
2.Analiza danych klimatycznych i regionalnych uzyskanych po zakończeniu I etap.	4
3.Analiza danych uzyskanych z badań terenowych w I etapie.	27
4.Wstępne opracowanie modeli sezonowych na podstawie uzyskanych danych.	30
5.Kontynuacja badań terenowych zgodnie z opracowanym programem badań.	42
6.Kontrola pomiarów prowadzonych w terenie na odcinkach testowych.	44
7.Zestawienie i podsumowanie II etapu badań z weryfikacją uzyskanych wyników.	44
8.Literatura	46
Załącznik1-Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych	47
Załącznik2-Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni	79

## *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 miesięcy 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 jest podzielony na trzy roczne etapy z terminem zakończenia w 2006r, w roku.

W bieżącym 2005 roku zrealizowano etap II.

W obecnym II etapie zrealizowano 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:

2. Analiza charakterystyk warunków regionalnych i klimatycznych Polski
3. Opracowanie systemu zbierania i przetwarzania danych
4. Opracowanie programu badań terenowych
5. Wytypowanie odcinków testowych
6. Uruchomienie badań terenowych
7. 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 mechaniczną. 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.

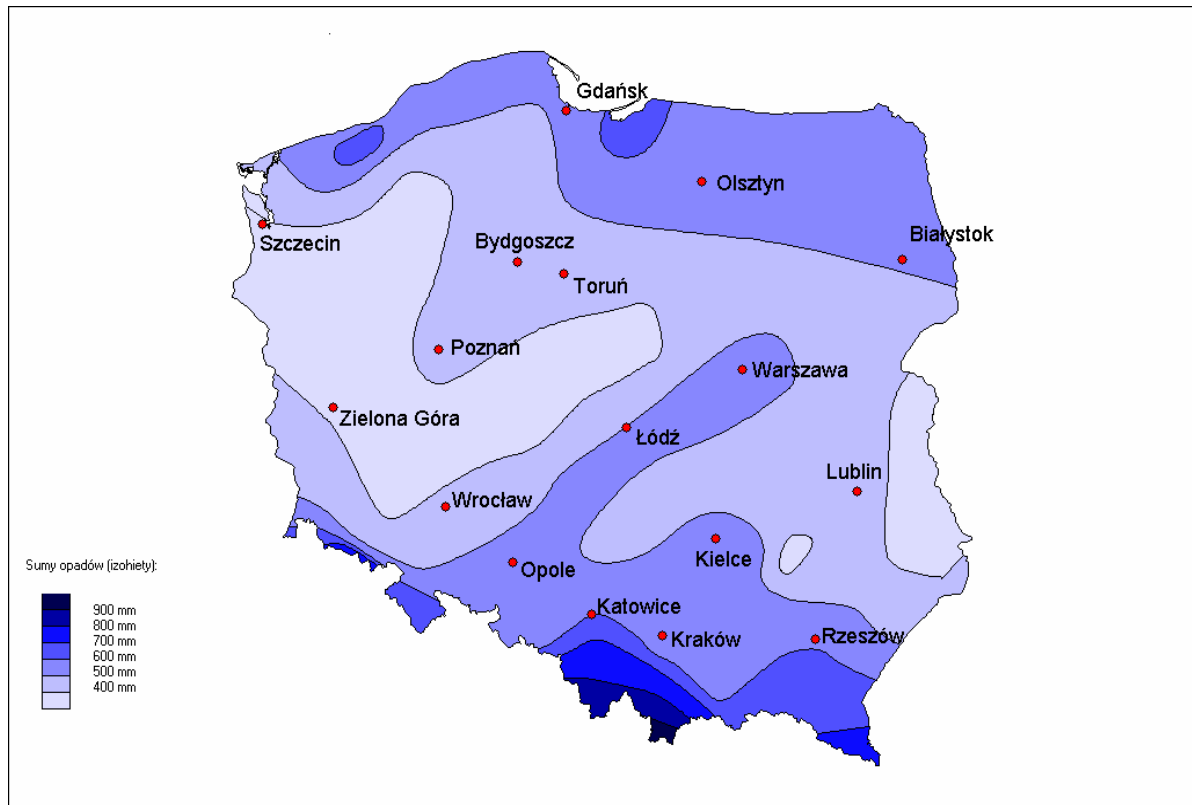
## ***2. Analiza danych klimatycznych i regionalnych uzyskanych po zakończeniu I etapu***

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.

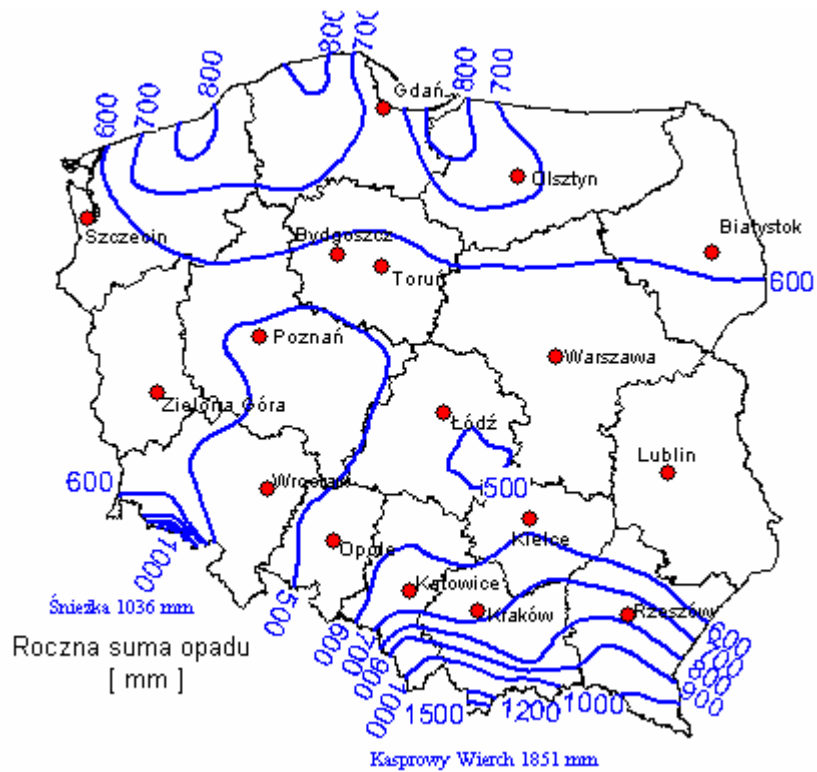
Obecnie przedstawiona zostanie sytuacja klimatyczna dla okresu realizacji I i II etapu pracy.

### Opady atmosferyczne

Rozkład wielkości rocznych opadów atmosferycznych dla lat 2003 i 2004 przedstawiono na rysunkach nr 1 i 2 i w tabeli nr 1.



Rys 1 Wielkość rocznych opadów w 2003r

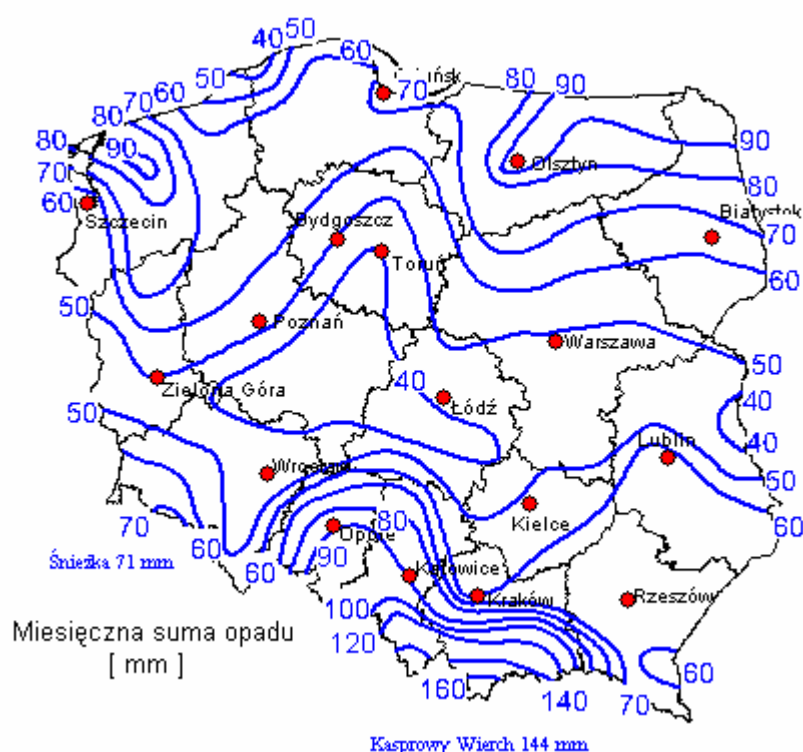


Rys 2 Wielkość rocznych opadów w 2004r

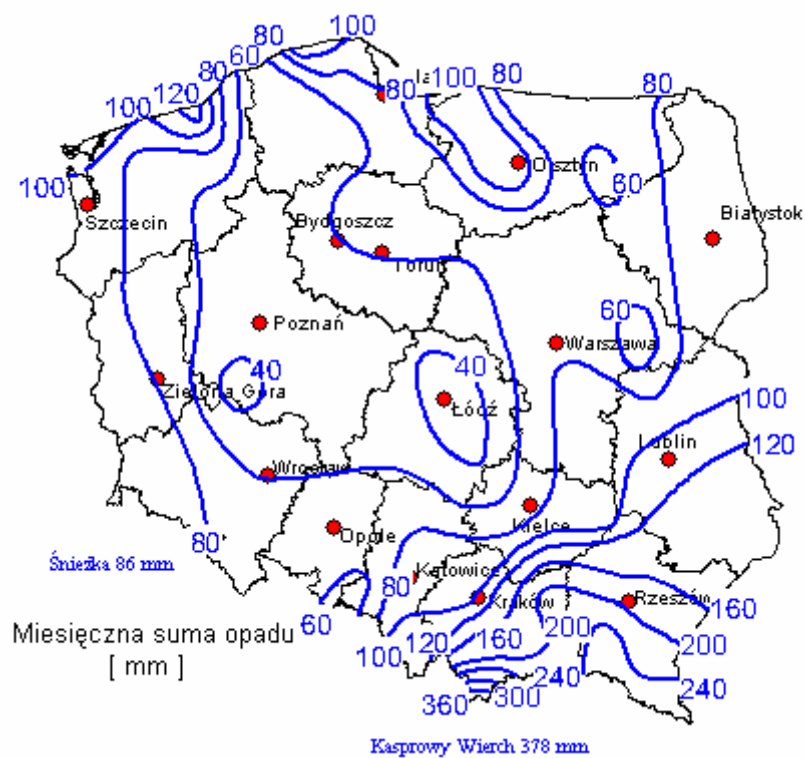
Tabela 1 Zestawienie wielkości rocznych opadów atmosferycznych na terenie Polski.

Opady atmosferyczne w [mm]				
Lp	Rok	Opady maksymalne		Opady minimalne
		Z obszarami górskimi	Bez obszarów górskich	
1	2003	>900	700	300
2	2004	1500	1000	500

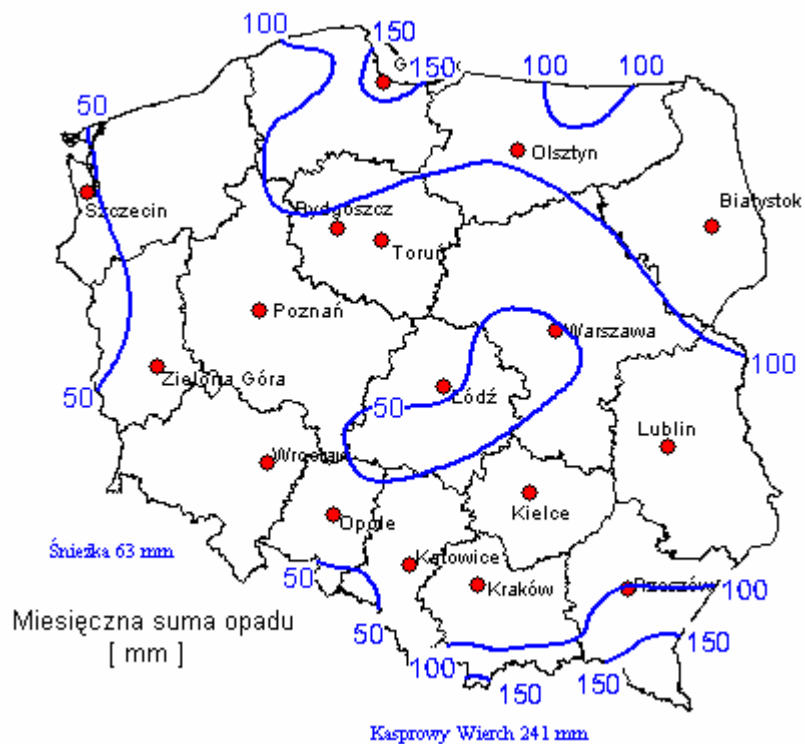
Rozkład wielkości opadów występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004 r do października 2005 r (I i II etap) przedstawiono na rysunkach nr 3 do nr 19 i w tabeli nr 2.



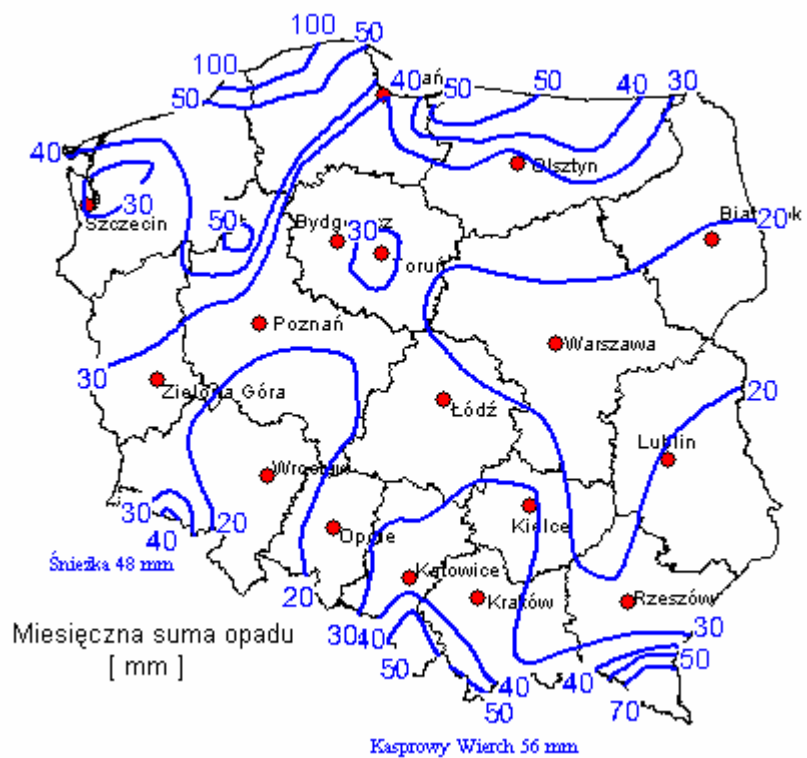
Rys 3 Wielkość opadów w czerwcu 2004r



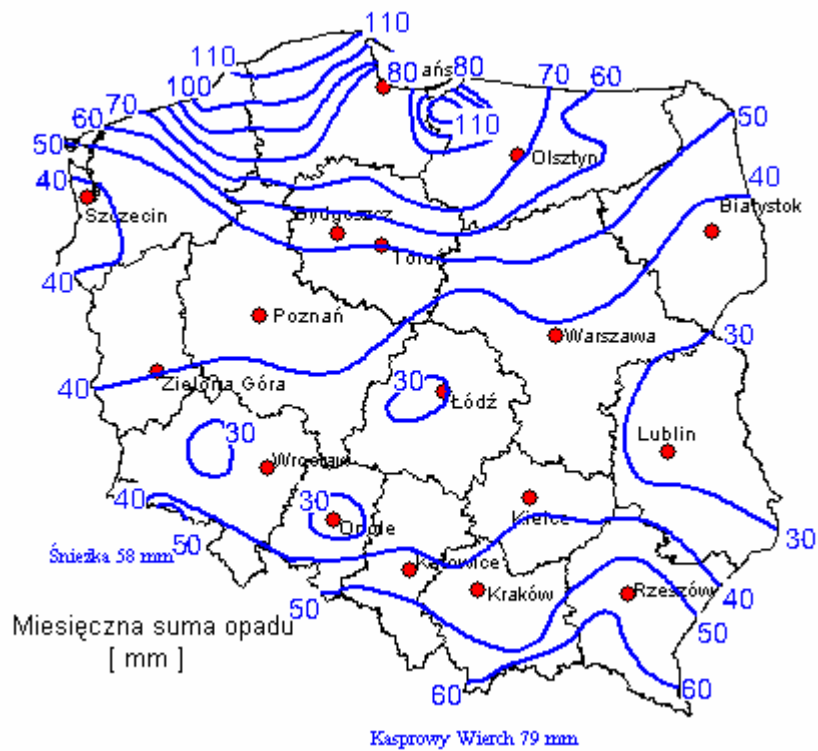
Rys 4 Wielkość opadów w lipcu 2004r



Rys 5 Wielkość opadów w sierpniu 2004r

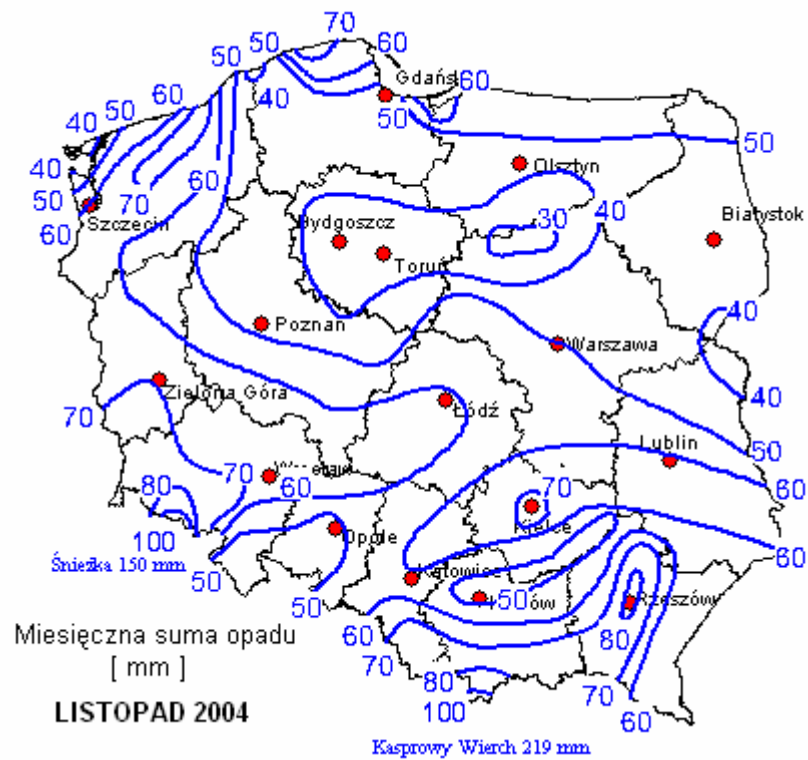


Rys 6 Wielkość opadów we wrześniu 2004r

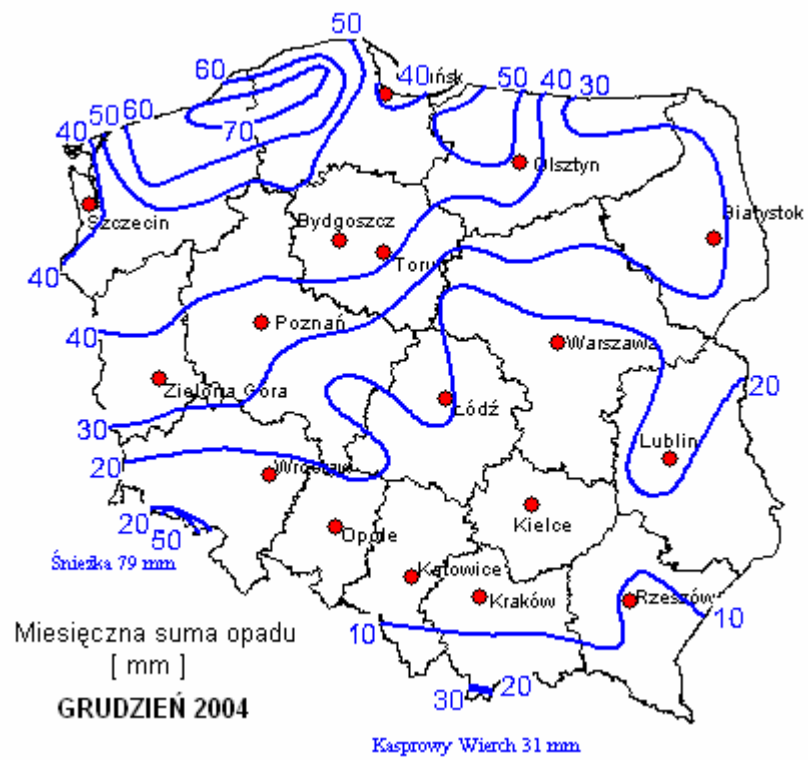


Rys 7 Wielkość opadów w październiku 2004r

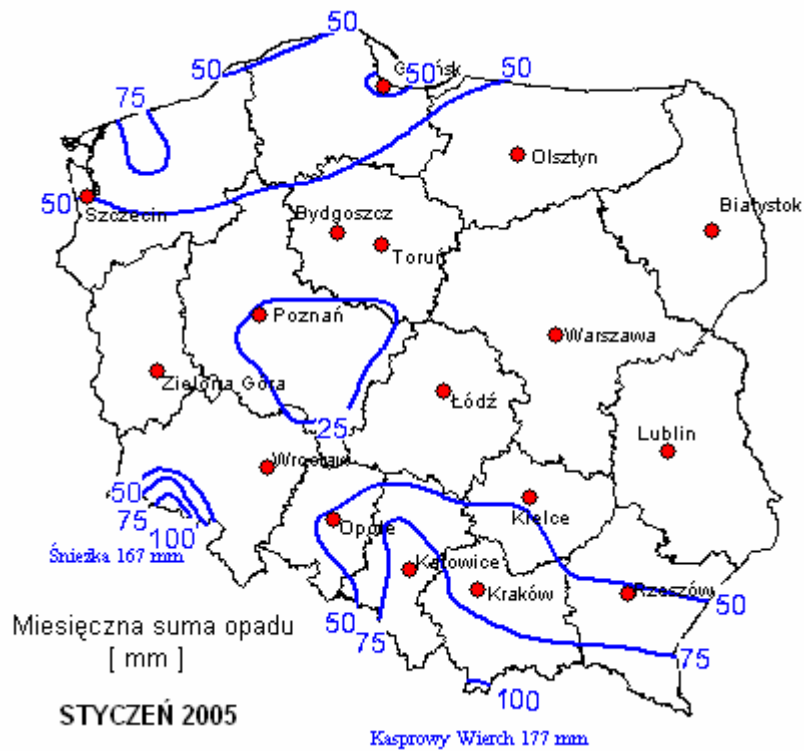




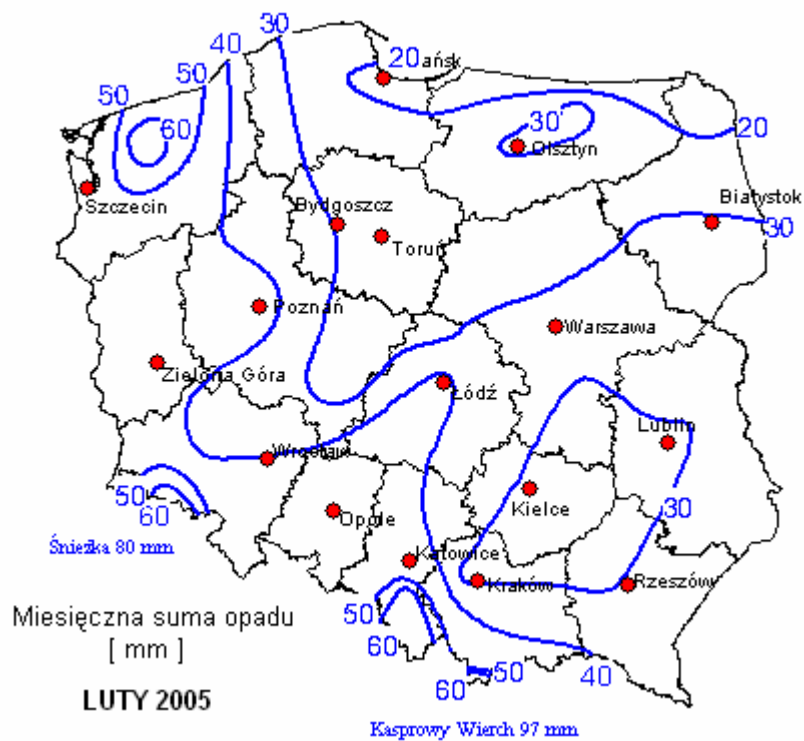
Rys 8 Wielkość opadów w listopadzie 2004r



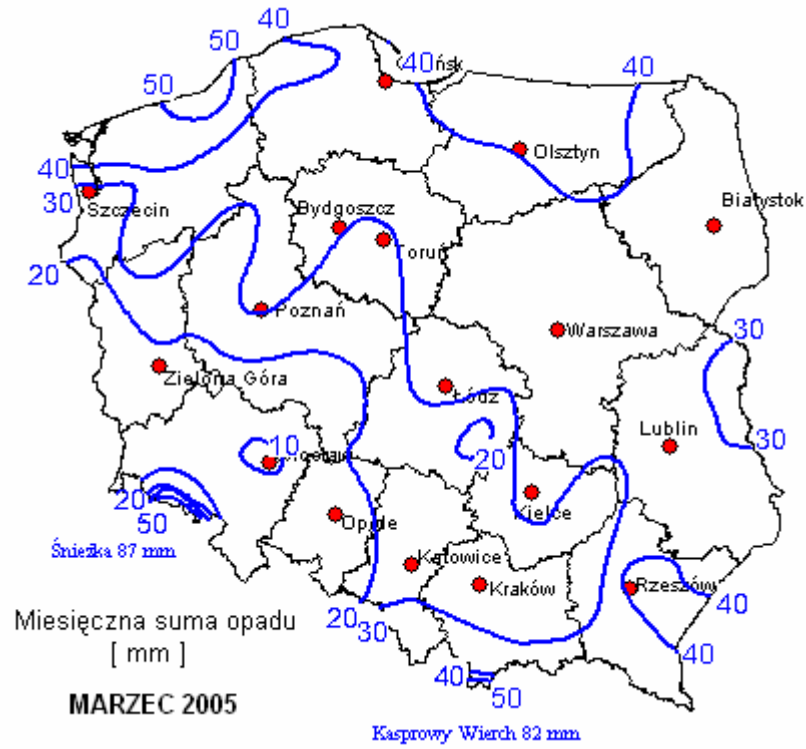
Rys 9 Wielkość opadów w grudniu 2004r



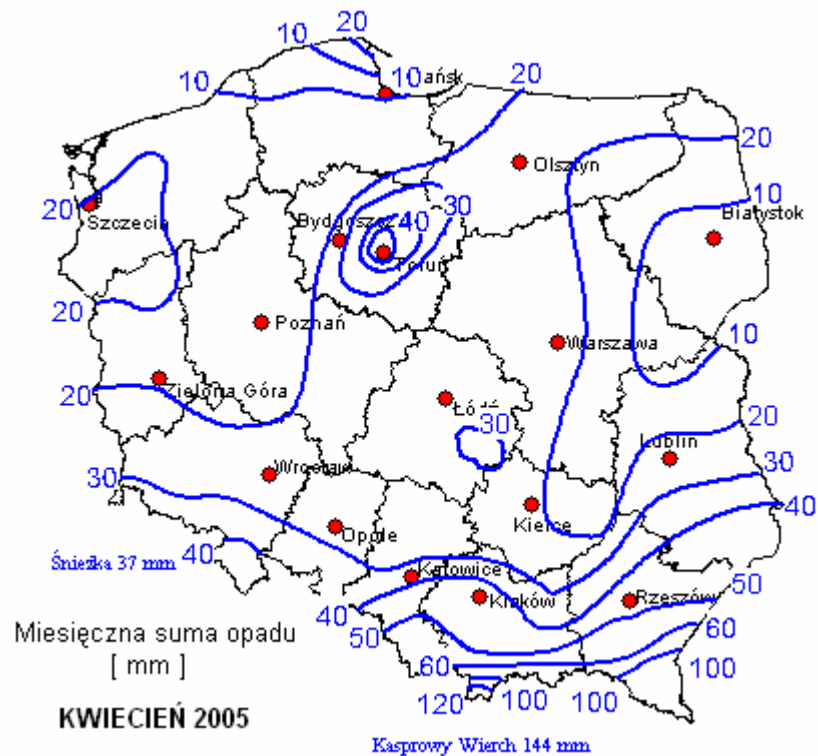
Rys 10 Wielkość opadów w styczniu 2005r



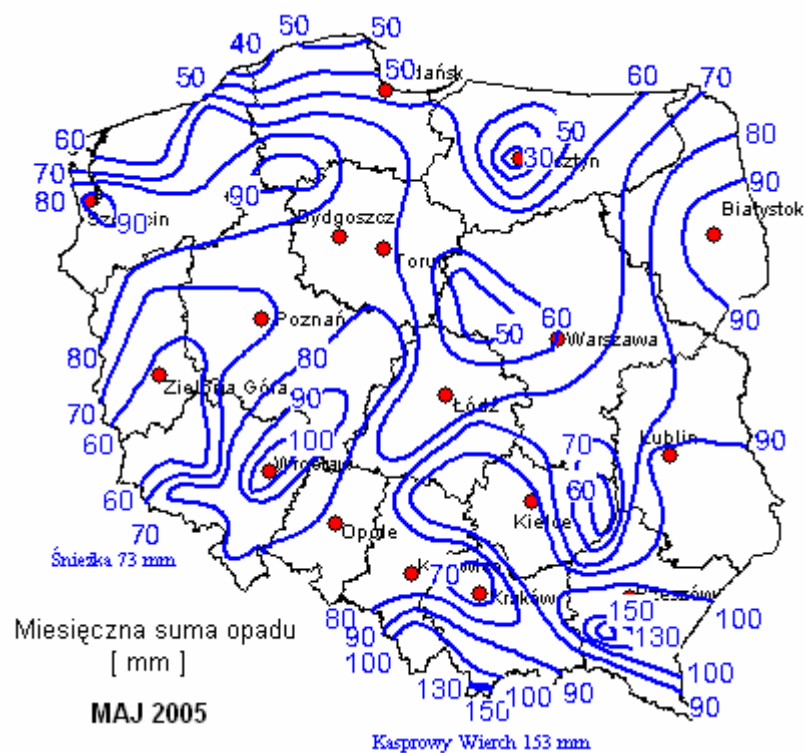
Rys 11 Wielkość opadów w lutym 2005r



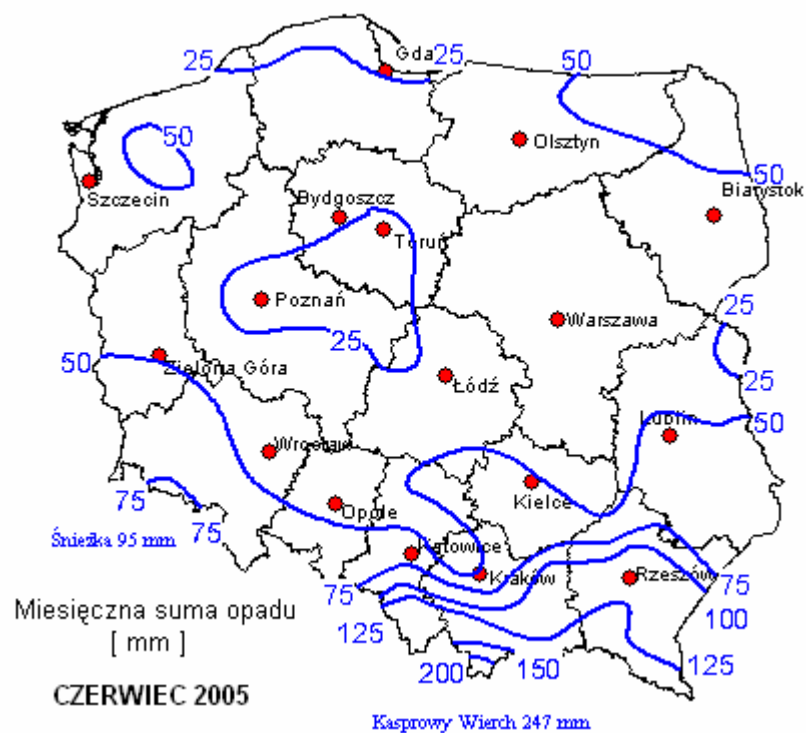
Rys 12 Wielkość opadów w marcu 2005r



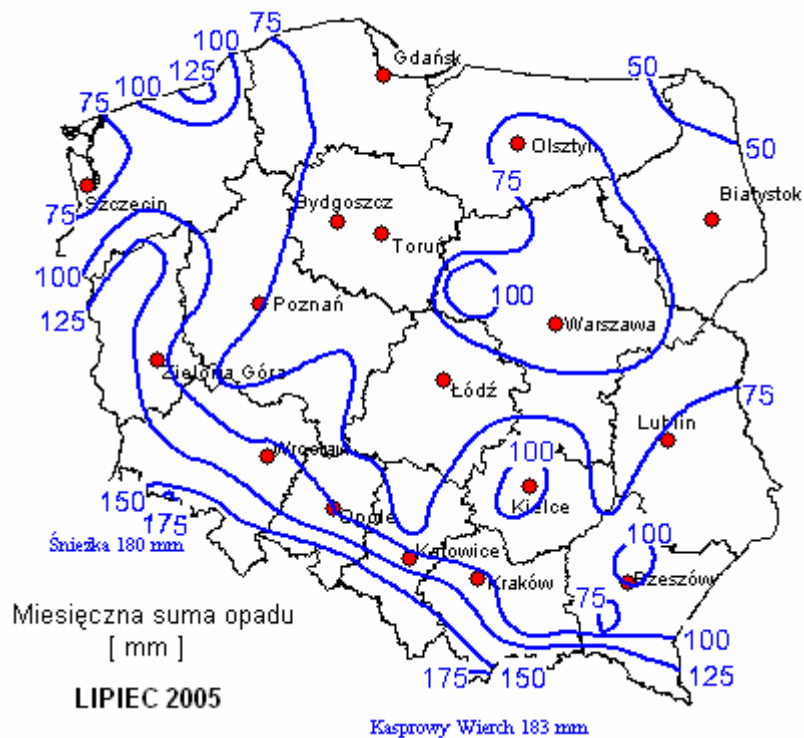
Rys 13 Wielkość opadów w kwietniu 2005r



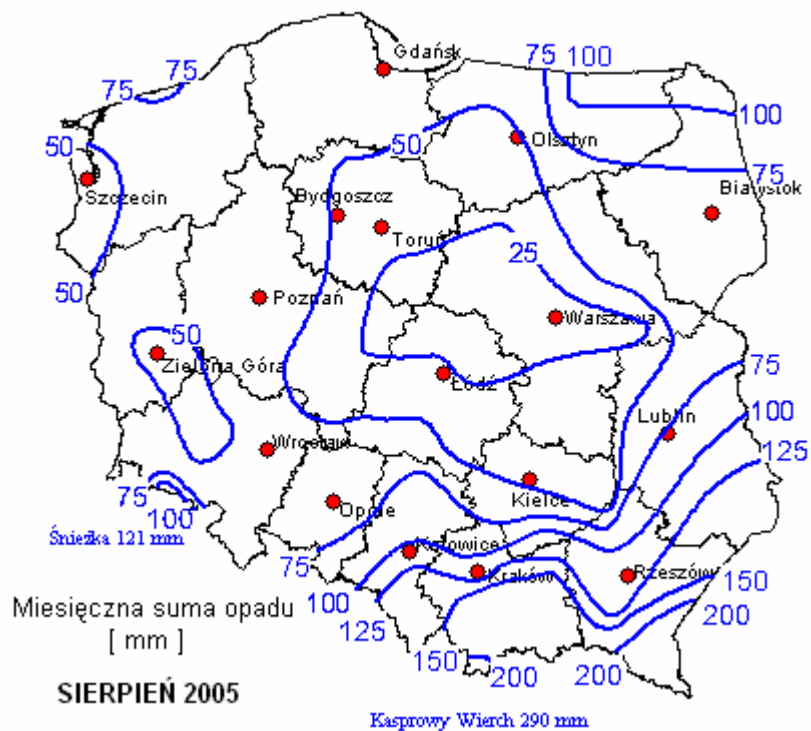
Rys 14 Wielkość opadów w maju 2005r



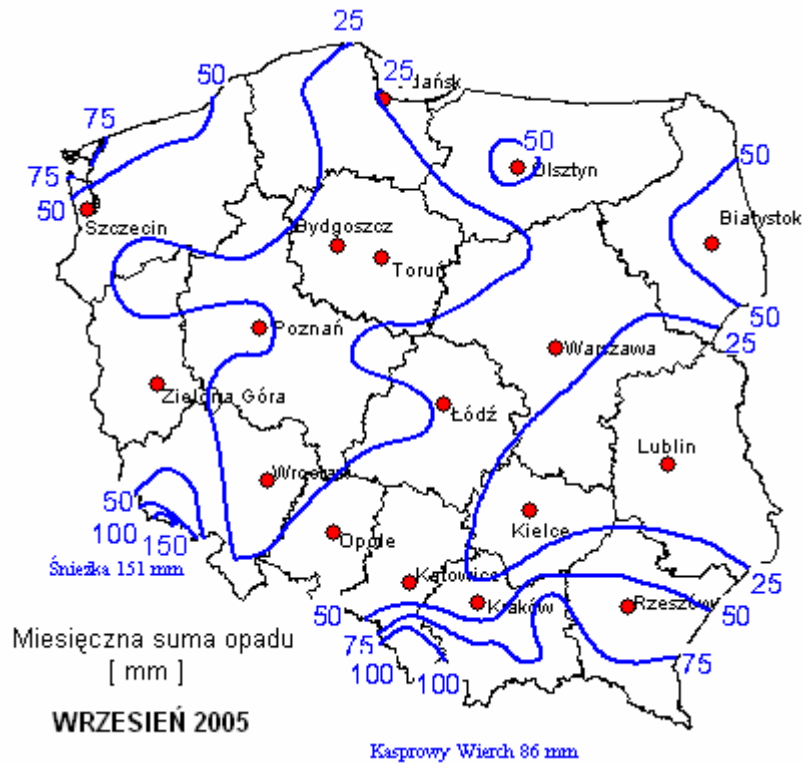
Rys 15 Wielkość opadów w czerwcu 2005r



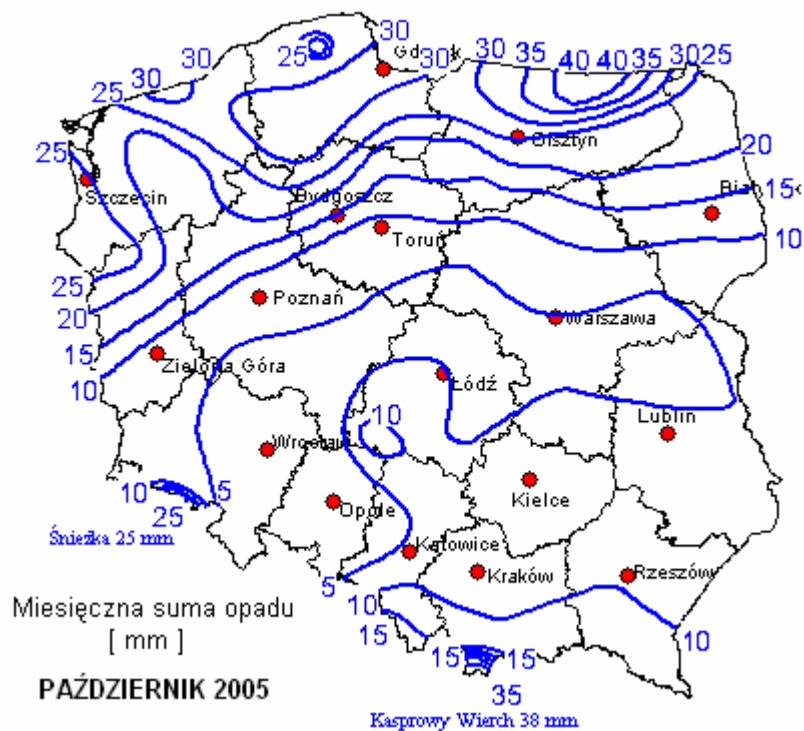
Rys 16 Wielkość opadów w lipcu 2005r



Rys 17 Wielkość opadów w sierpniu 2005r



Rys 18 Wielkość opadów we wrześniu 2005r

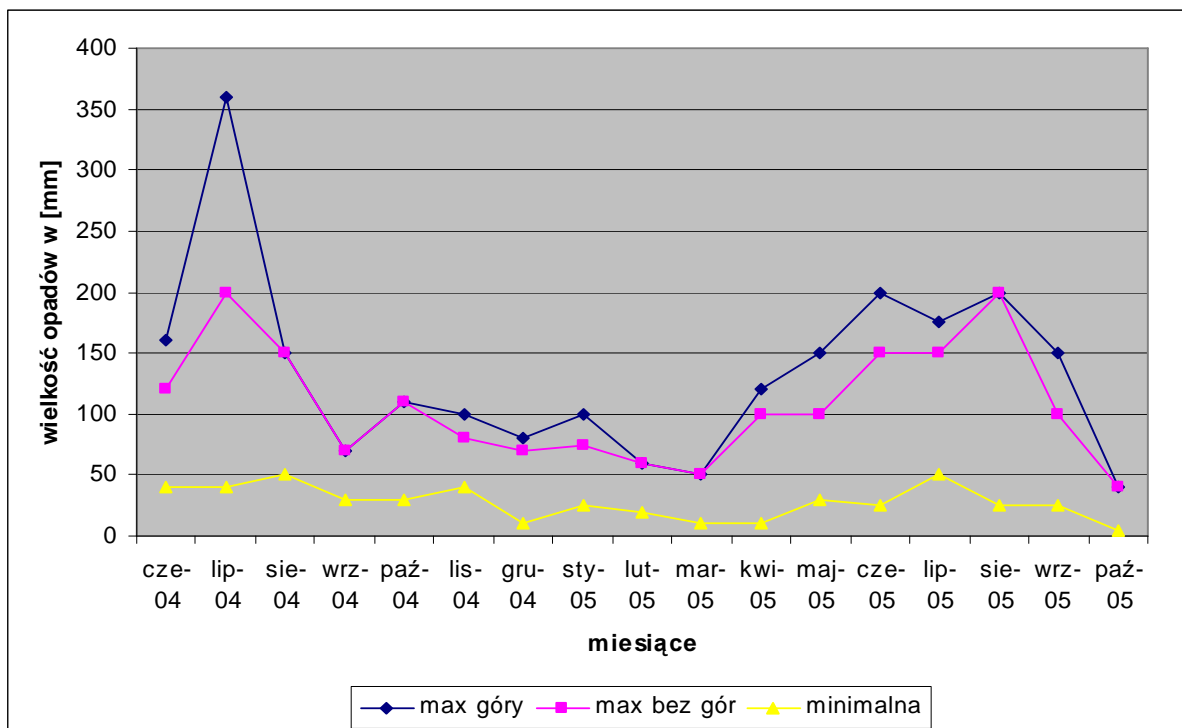


Rys 19 Wielkość opadów w październiku 2005r

Tabela 2 Zestawienie średnich wielkości opadów atmosferycznych na terenie Polski.

Opady atmosferyczne w [mm]				
Lp	Miesiąc	Opady maksymalne		Opady minimalne
		Z obszarami góorskimi	Bez obszarów górskich	
1	Czerwiec 2004	160	120	40
2	Lipiec 2004	360	200	40
3	Sierpień 2004	150	150	50
4	Wrzesień 2004	70	70	30
5	Październik 2004	110	110	30
6	Listopad 2004	100	80	40
7	Grudzień 2004	80	70	10
8	Styczeń 2005	100	75	25
9	Luty 2005	60	60	20
10	Marzec 2005	50	50	10
11	Kwiecień 2005	120	100	10
12	Maj 2005	150	100	30
13	Czerwiec 2005	200	150	25
14	Lipiec 2005	175	150	50
15	Sierpień 2005	200	200	25
16	Wrzesień 2005	150	100	25
17	Październik 2005	40	40	5

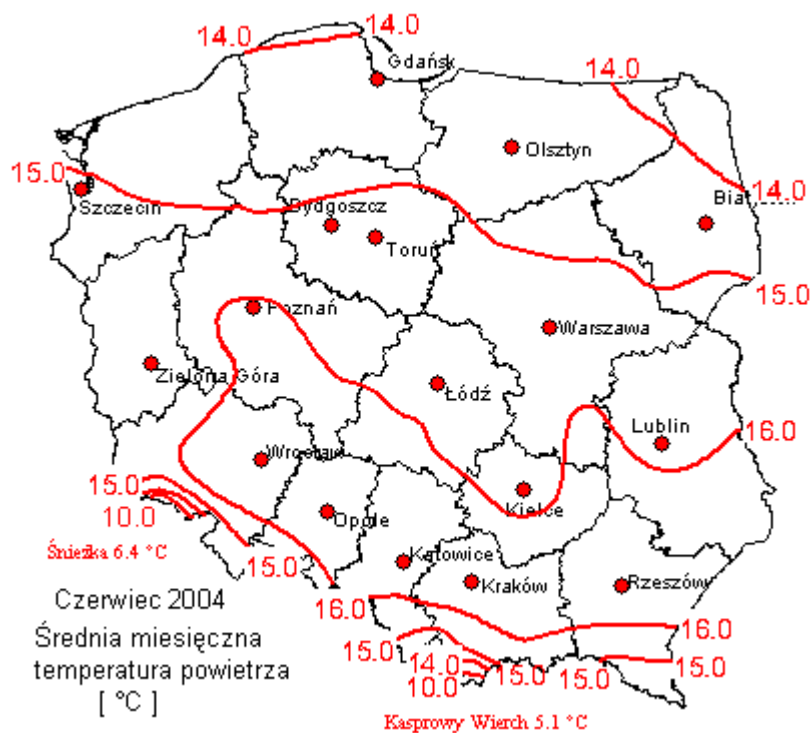
Na rysunku nr 20 przedstawiono zestawienie minimalnych i maksymalnych opadów miesięcznych występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004r do października 2005r.



Rys 20 Zestawienie wielkości miesięcznych opadów atmosferycznych na terenie Polski w okresie od czerwca 2004r do października 2005 r.

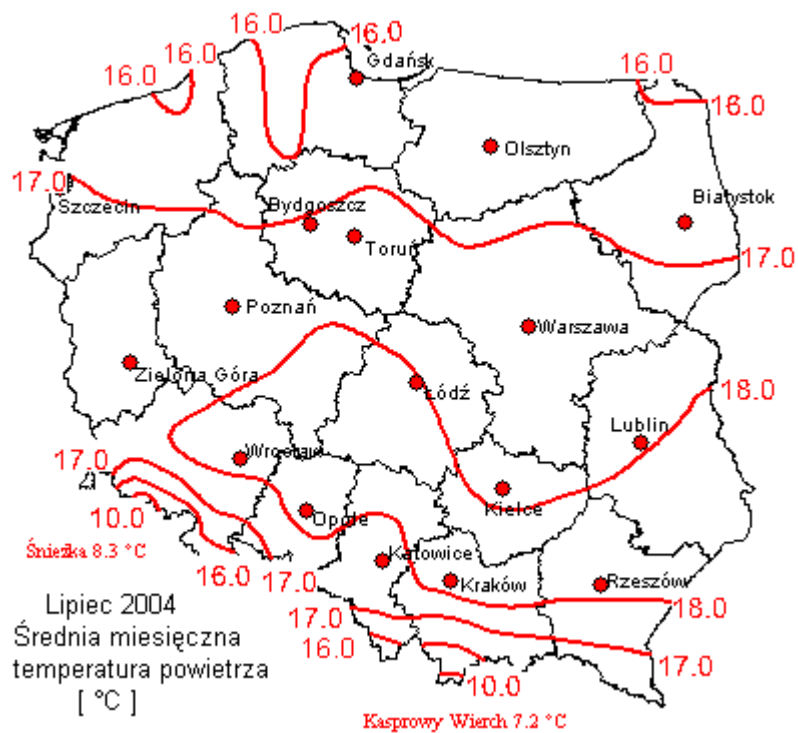
### Temperatury

Rozkład średnich temperatur występujących na terenie Polski w okresie od czerwca 2004 r do października 2005 r (I i II etap) przedstawiono na rysunkach nr 21 do nr 38 i w tabelicy nr 3.

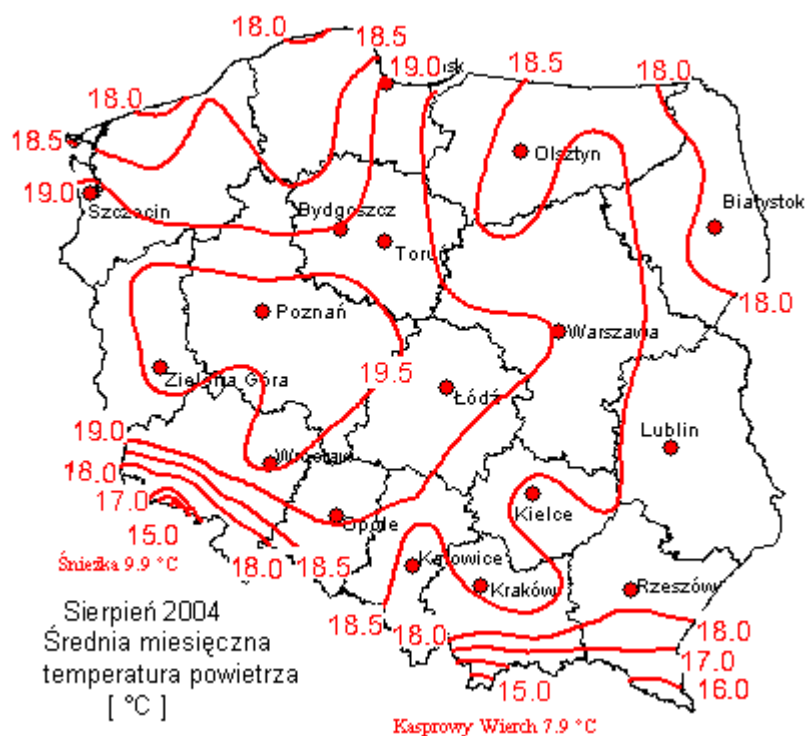


Rys.21 Średnia miesięczna temperatura powietrza w czerwcu 2004 roku w Polsce

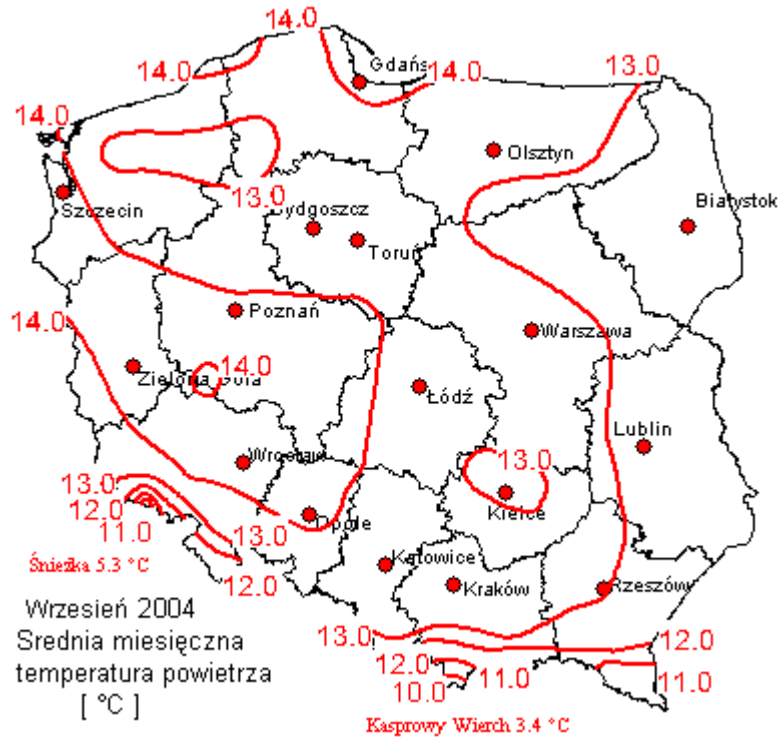




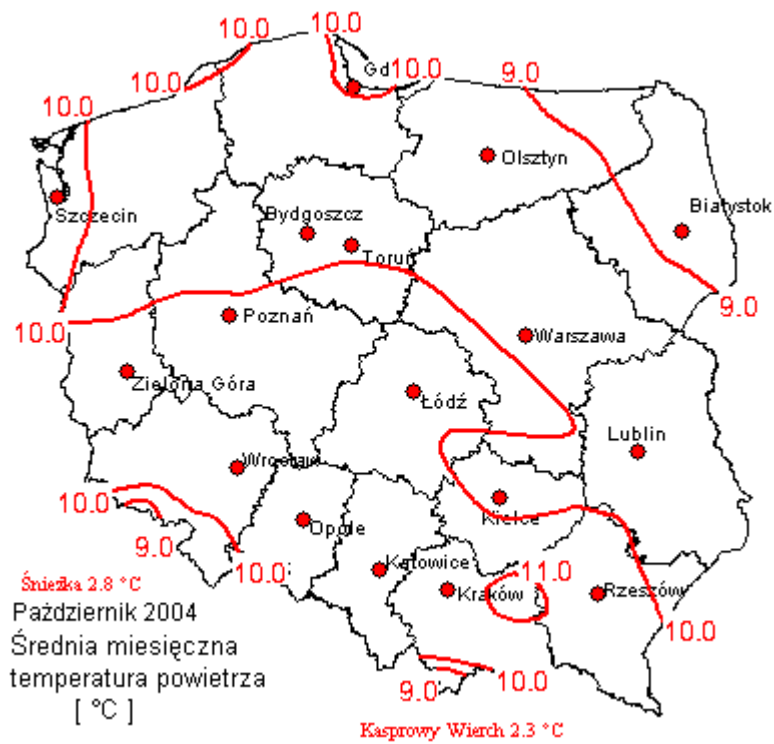
Rys.22 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lipcu 2004 roku w Polsce



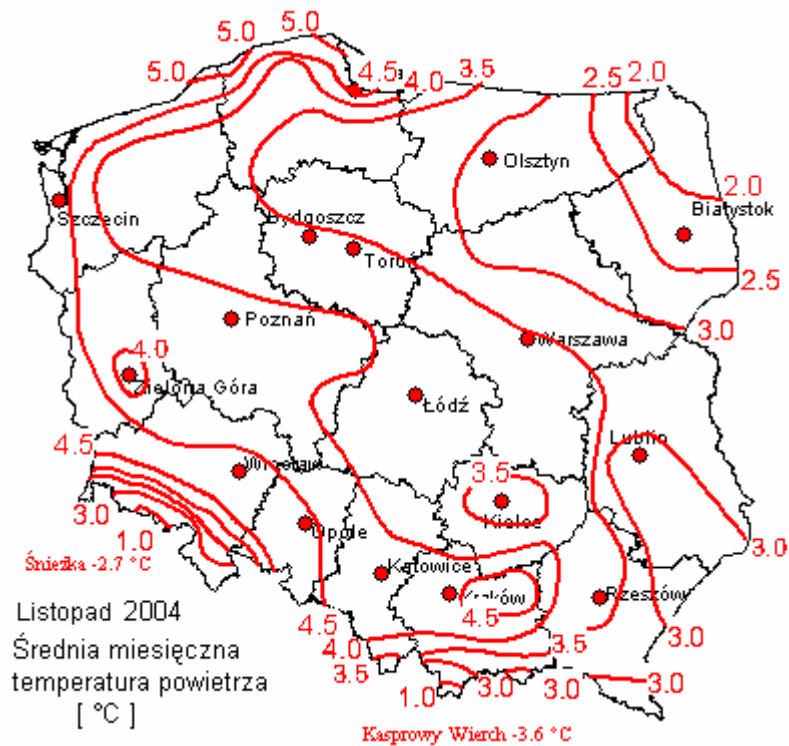
Rys.23 Średnia miesięczna temperatura powietrza w sierpniu 2004 roku w Polsce



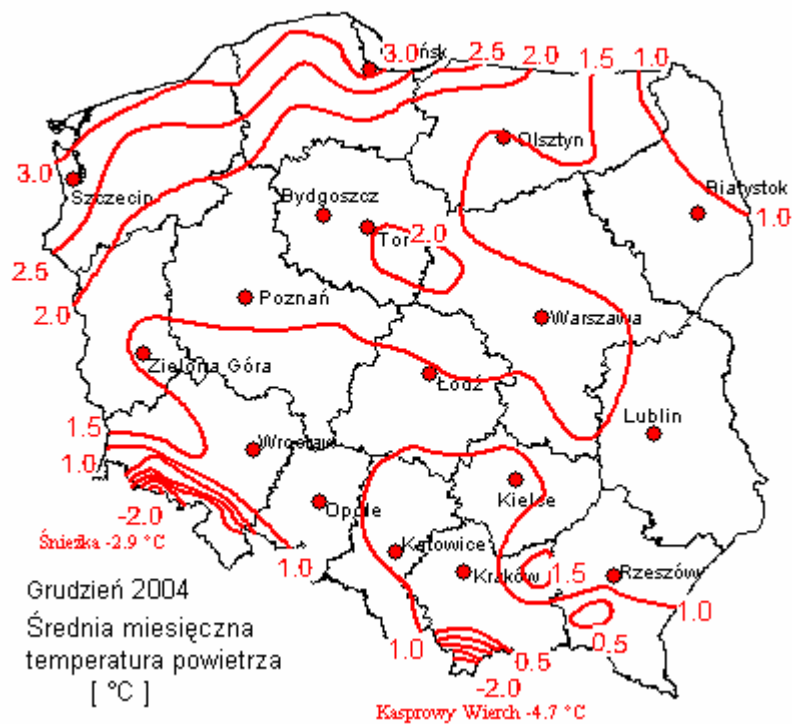
Rys.24 Średnia miesięczna temperatura powietrza we wrześniu 2004 roku w Polsce



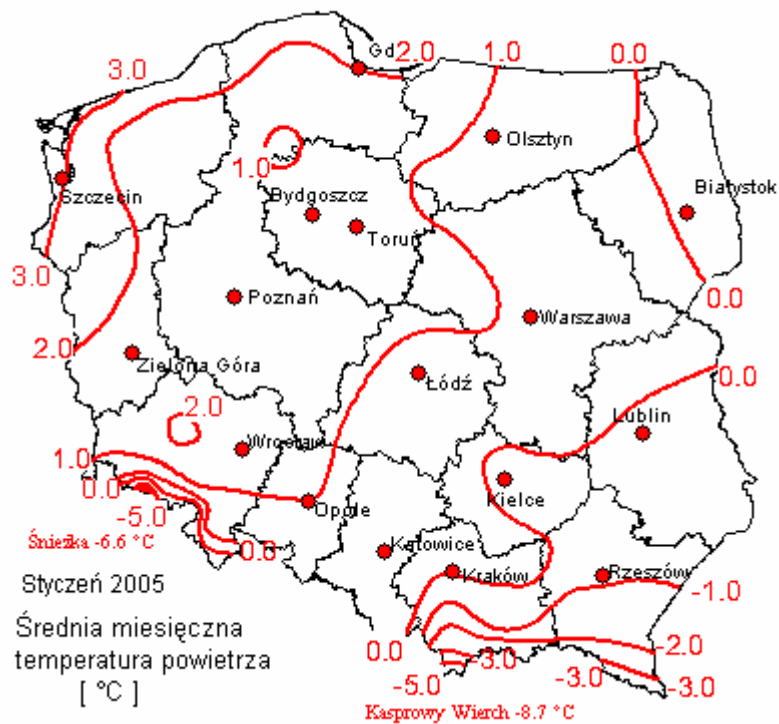
Rys.25 Średnia miesięczna temperatura powietrza w październiku 2004 roku w Polsce



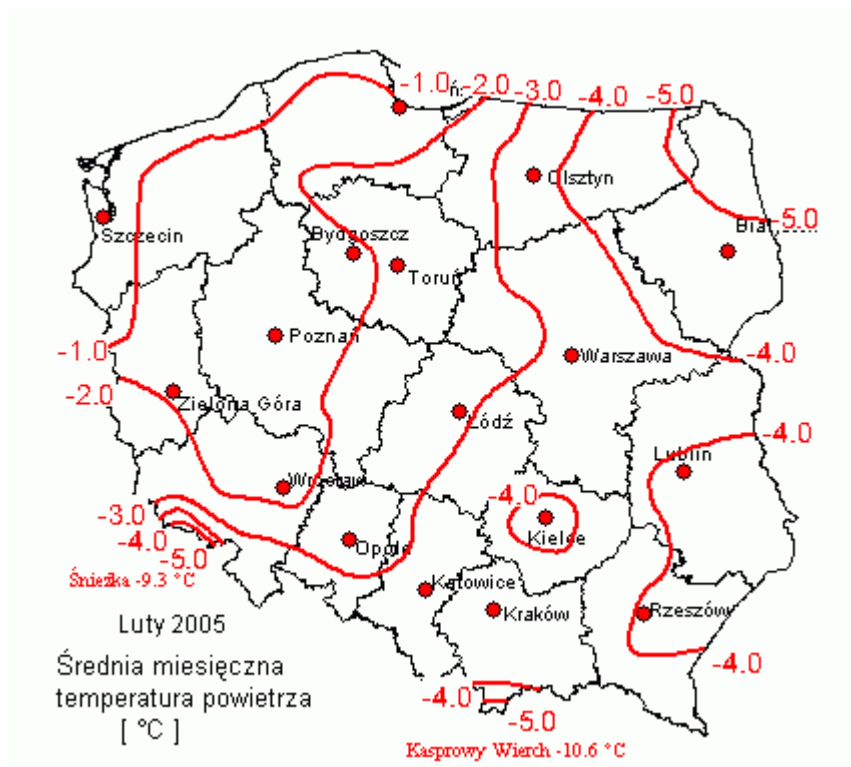
Rys.26 Średnia miesięczna temperatura powietrza w listopadzie 2004 roku w Polsce



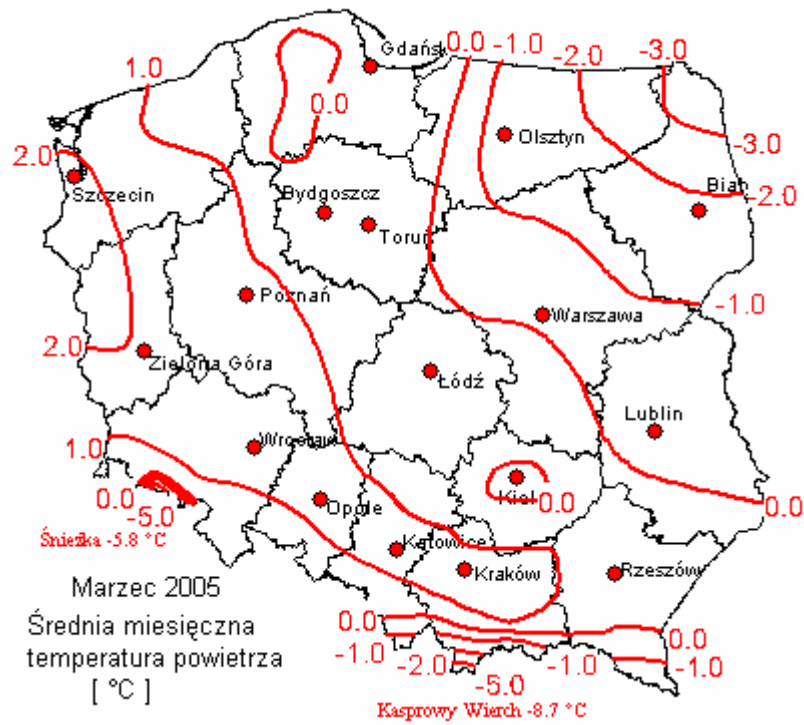
Rys.27 Średnia miesięczna temperatura powietrza w grudniu 2004 roku w Polsce



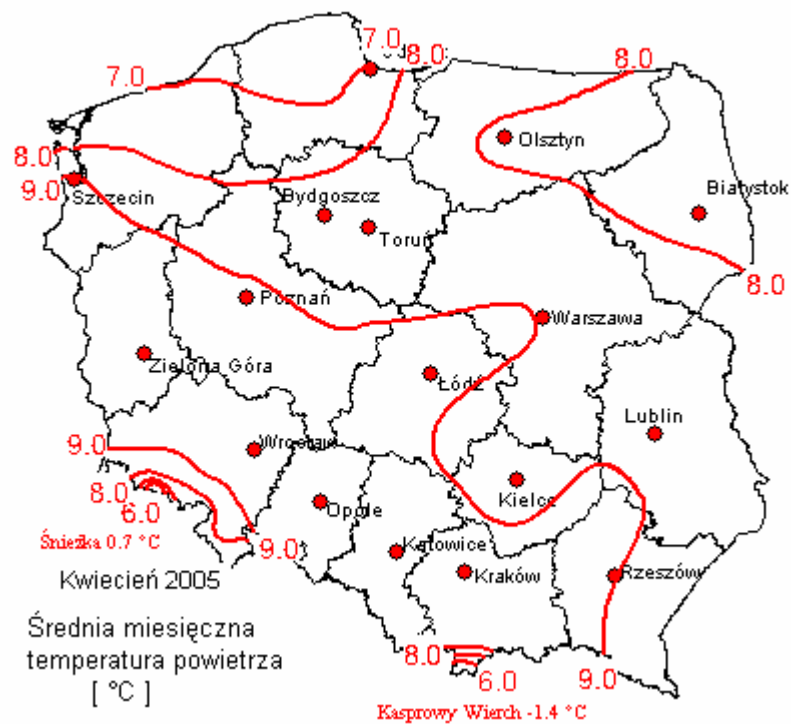
Rys.28 Średnia miesięczna temperatura powietrza w styczniu 2005 roku w Polsce



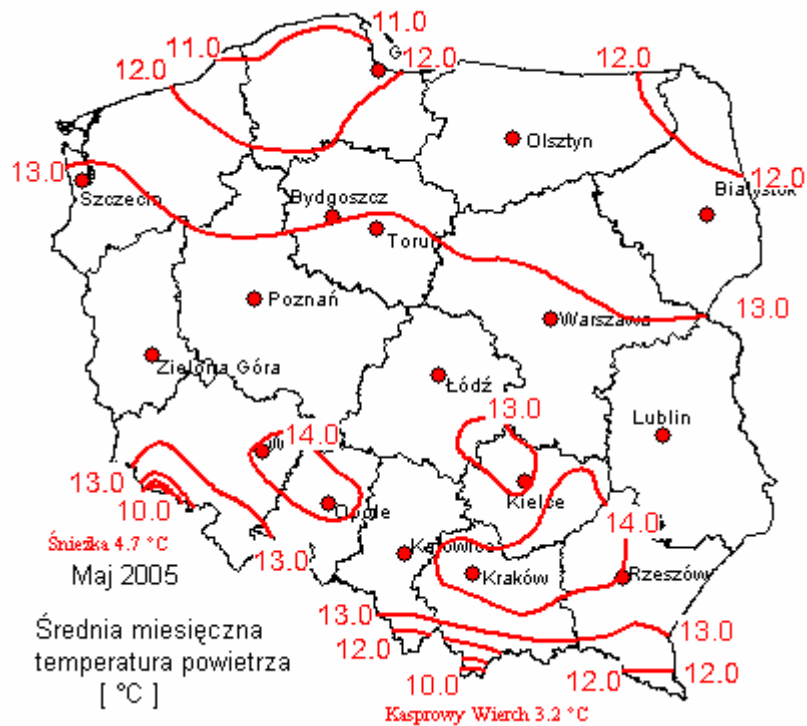
Rys.29 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lutym 2005 roku w Polsce



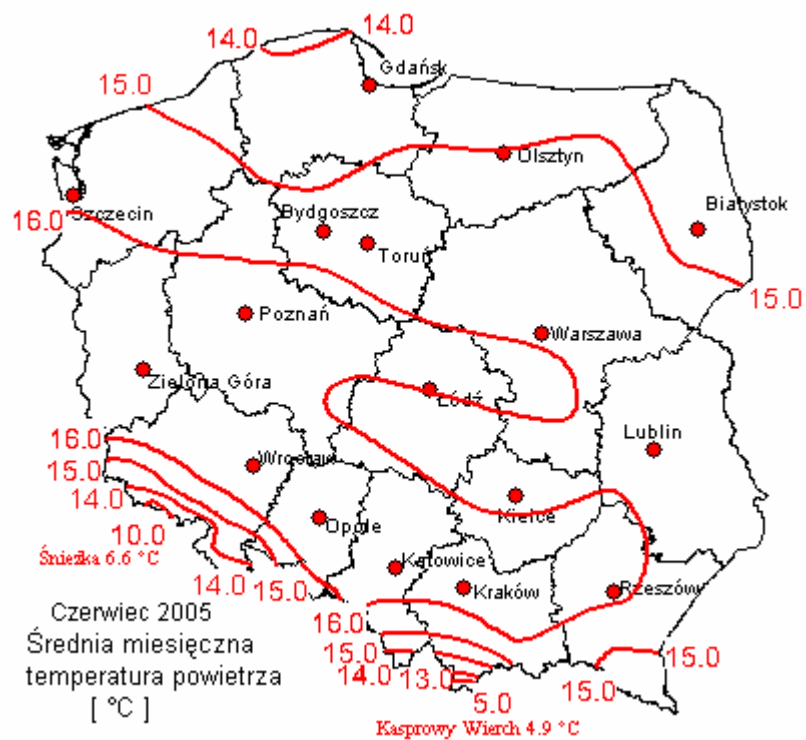
Rys.30 Średnia miesięczna temperatura powietrza w marcu 2005 roku w Polsce



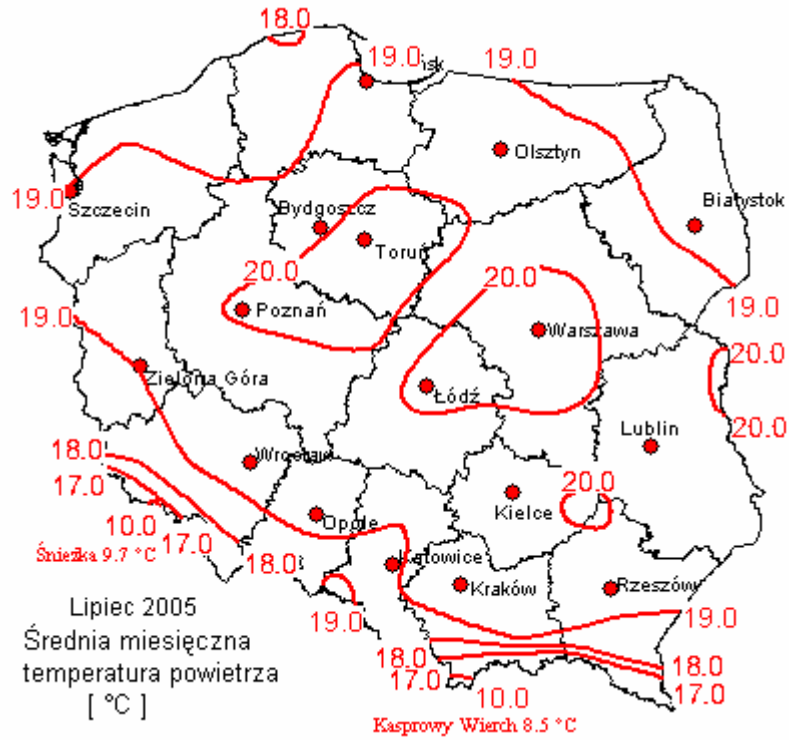
Rys.31 Średnia miesięczna temperatura powietrza w kwietniu 2005 roku w Polsce



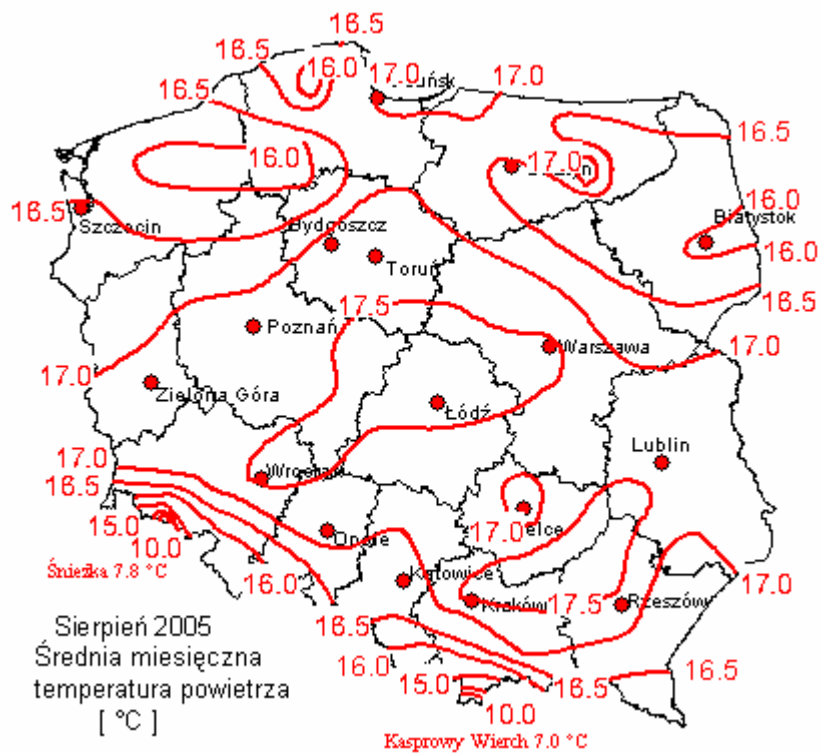
Rys.32 Średnia miesięczna temperatura powietrza w maju 2005 roku w Polsce



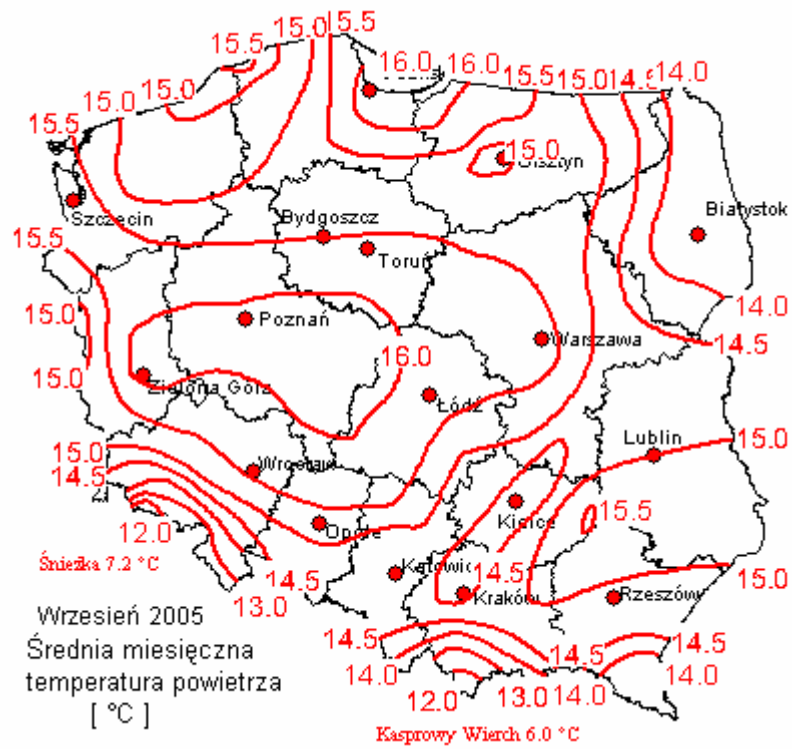
Rys.33 Średnia miesięczna temperatura powietrza w czerwcu 2005 roku w Polsce



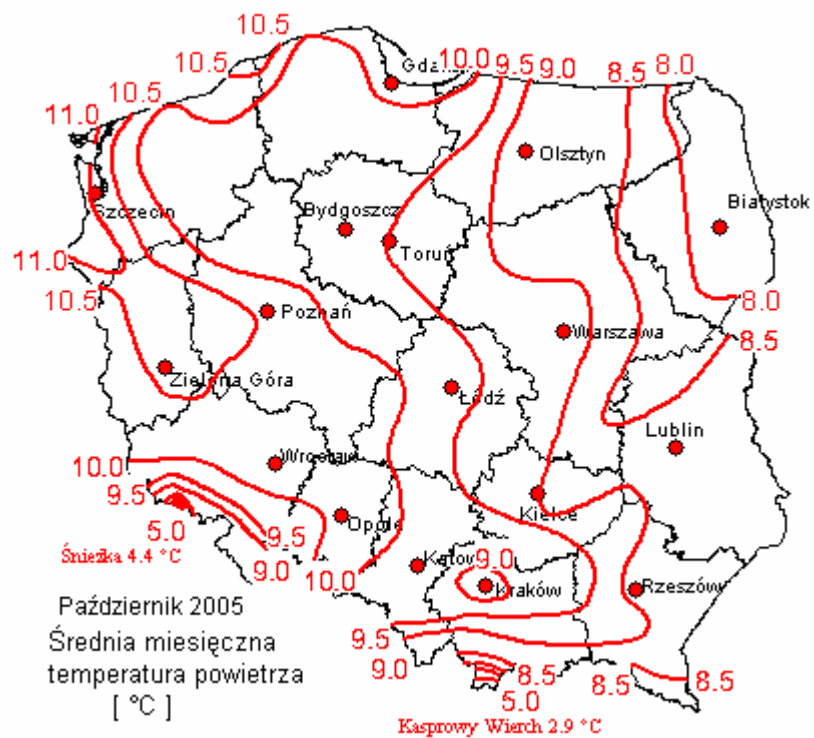
Rys.34 Średnia miesięczna temperatura powietrza w lipcu 2005 roku w Polsce



Rys.35 Średnia miesięczna temperatura powietrza w sierpniu 2005 roku w Polsce



Rys.36 Średnia miesięczna temperatura powietrza we wrześniu 2005 roku w Polsce

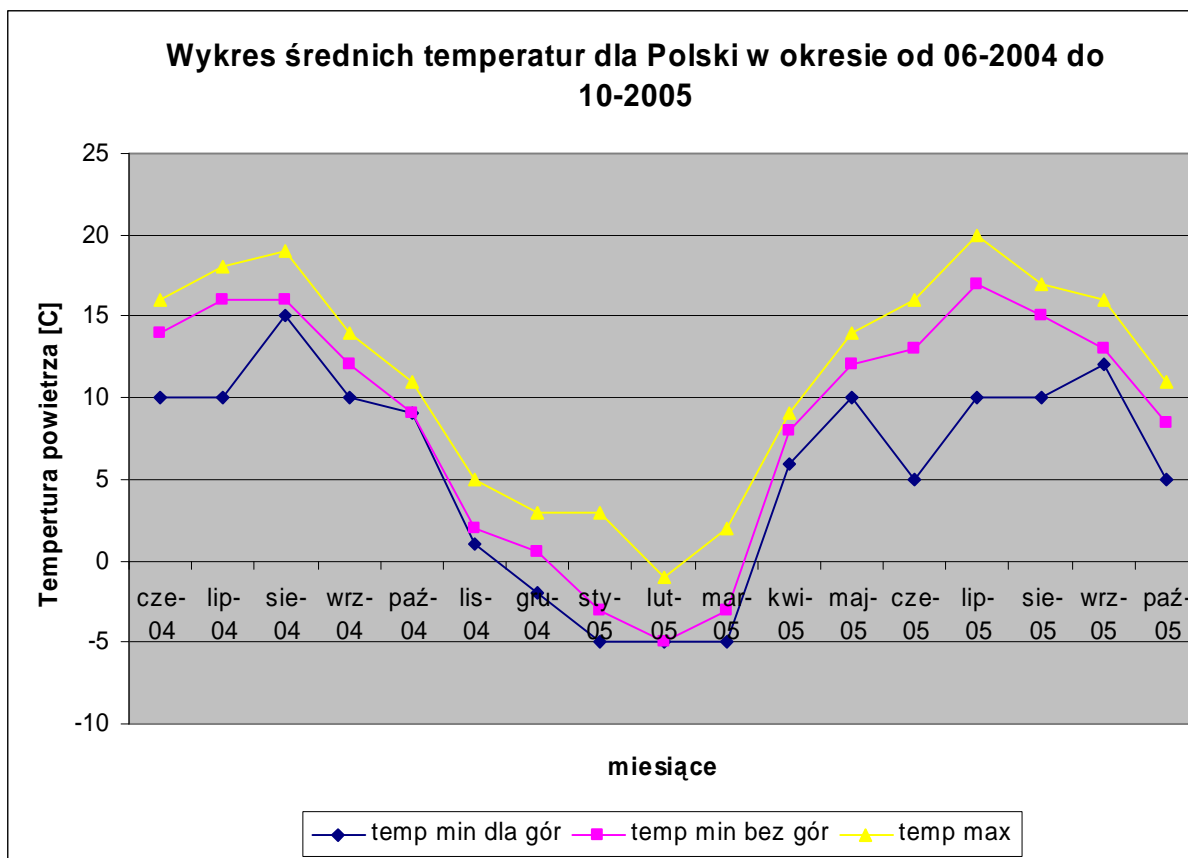


Rys.37 Średnia miesięczna temperatura powietrza w październiku 2005 roku w Polsce



Tabela 3 Zestawienie średnich temperatur powietrza na terenie Polski.

Temperatury powietrza w °C				
Lp	Miesiąc	Temperatura minimalna		Temperatura maksymalna
		Z obszarami gór	Bez obszarów gór	
1	Czerwiec 2004	10	14	16
2	Lipiec 2004	10	16	18
3	Sierpień 2004	15	16	19
4	Wrzesień 2004	10	12	14
5	Październik 2004	9	9	11
6	Listopad 2004	1	2	5
7	Grudzień 2004	-2	0,5	3
8	Styczeń 2005	-5	-3	3
9	Luty 2005	-5	-5	-1
10	Marzec 2005	-5	-3	2
11	Kwiecień 2005	6	8	9
12	Maj 2005	10	12	14
13	Czerwiec 2005	5	13	16
14	Lipiec 2005	10	17	20
15	Sierpień 2005	10	15	17
16	Wrzesień 2005	12	13	16
17	Październik 2005	5	8,5	11



Rys.38 Średnie miesięczne temperatura powietrza w Polsce okresie od czerwca 2004 do października 2005 r

Podsumowanie

Wykonana analiza opadów atmosferycznych i temperatur występujących na terenie kraju w okresie od czerwca 2004r do października 2005r pokazuje wyraźnie dużą zmienność temperatur i opadów na terenie Polski w cyklu rocznym. Duże wahania średnich miesięcznych temperatur (od -5°C do 19°C) i opadów (od 5mm do 200mm) występują, tak w zakresie dla różnych obszarów Polski (wartości maksymalne i minimalne), jak i dla różnych okresów w całym roku. Taka obserwowana zmienność 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).

### **3. Analiza danych uzyskanych z badań terenowych w I etapie.**

Badania terenowe były prowadzone od września 2004r i kontynuowane w 2005r na wytypowanych odcinkach badawczych. Odcinki zlokalizowano na terenie całego kraju ich położenie przedstawiono na rysunku nr39 i tablicy nr4

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 [1],

$$U_i^{\text{sr stand}} = U_i / [(\sum U_i) / n] \quad [1]$$

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)

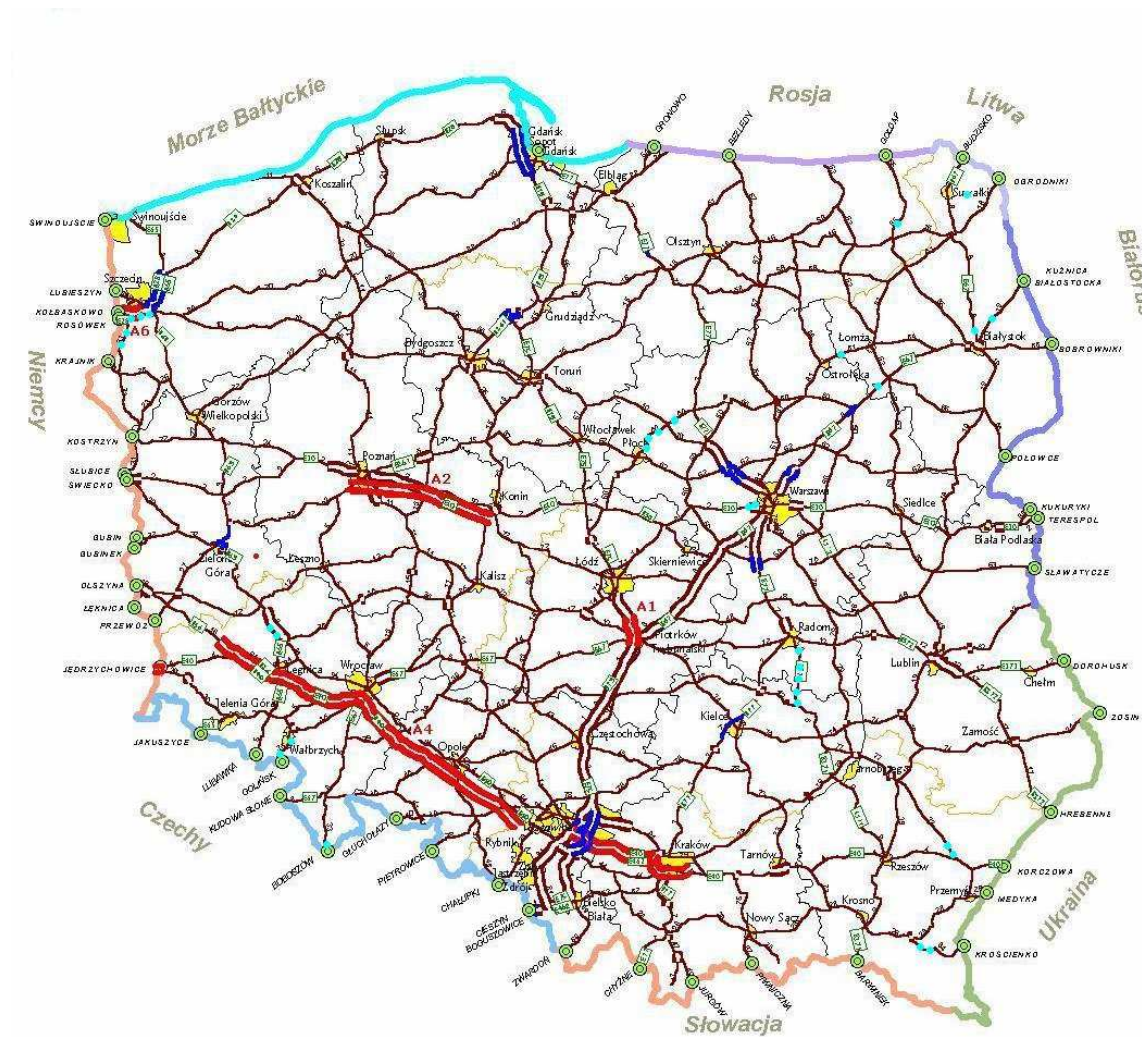
korekta zgodnie z zależnością:

$$\alpha=1+0,02(20-T) \quad [2]$$

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 39 Rozmieszczenie odcinków badawczych na terenie Polski

- – odcinek badawczy pomiaru ugięć sprężystych

**Tabela 4 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. Wstępne opracowanie modeli sezonowych na podstawie uzyskanych danych.**

Wstępne opracowanie 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:

$$U_{\max} = U_{\text{rzecz}} * f_s \quad [3]$$

$$f_s = U_{\max} / U_{\text{rzecz}} \quad [4]$$

Gdzie:

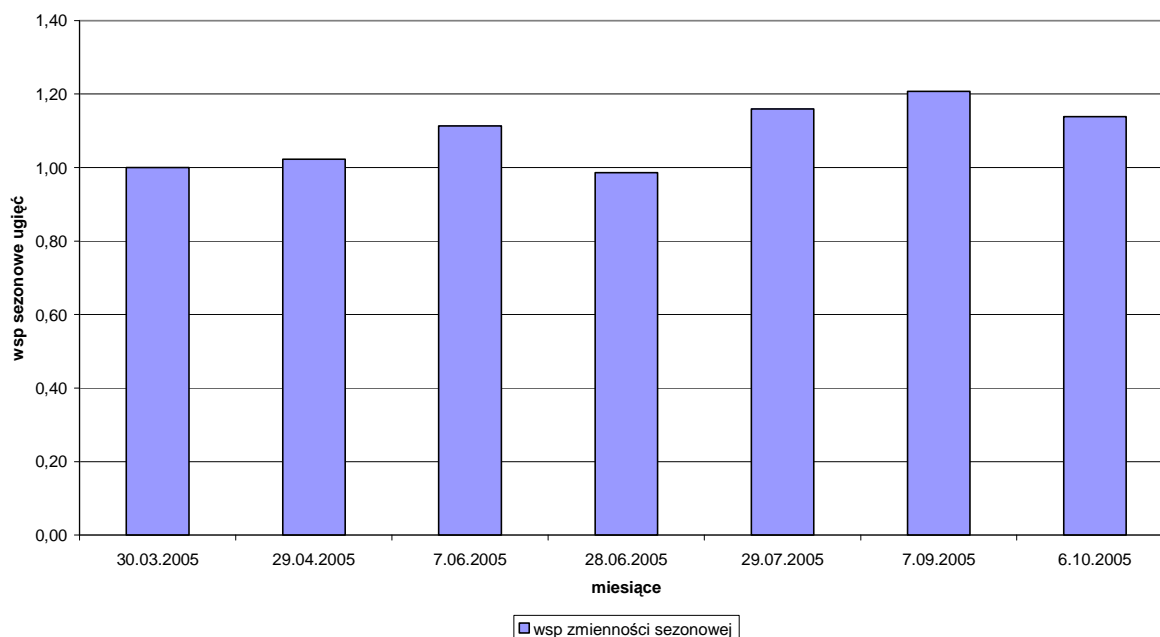
- $U_{\max}$  – największe wartości ugięcia nawierzchni w okresie wiosennym,
- $U_{\text{rzecz}}$  – wartości ugięć nawierzchni dla badań wykonywanych w różnych okresach,
- $f_s$  – współczynnik sezonowy określony dla okresów wiosennych, letnich i jesiennych i sezonowej ilości opadów (wilgotności).

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 nr5 przedstawiono algorytm określania współczynnika sezonowości dla badania ugięć nawierzchni ugięciomierzem belkowym. Na rysunku nr40 zobrazowano zmienność współczynnika sezonowości dla okresu wiosenno-letnio-jesiennego.

Tabela 5 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>						
<b>30.03.2005</b>	<b>29.04.2005</b>	<b>7.06.2005</b>	<b>28.06.2005</b>	<b>29.07.2005</b>	<b>7.09.2005</b>	<b>6.10.2005</b>
<i>Średnie wartości ugięć [mm]</i>						
<b>0,391</b>	<b>0,436</b>	<b>0,475</b>	<b>0,516</b>	<b>0,507</b>	<b>0,398</b>	<b>0,376</b>
<i>Wartości odchylenia standardowego [mm]</i>						
<b>0,142</b>	<b>0,118</b>	<b>0,113</b>	<b>0,082</b>	<b>0,134</b>	<b>0,125</b>	<b>0,124</b>
<i>Temperatura w środku warstw bitumicznych [°C] - T</i>						
<b>6,2</b>	<b>14,1</b>	<b>22,8</b>	<b>21,0</b>	<b>27,6</b>	<b>18,1</b>	<b>11,8</b>
<i>Średnie wartości ugięć [mm] z uwzględnieniem wsp. Temp. [<math>f_T=1+0,02*(20-T)</math>]-<math>S_i</math></i>						
<b>0,499</b>	<b>0,488</b>	<b>0,448</b>	<b>0,506</b>	<b>0,430</b>	<b>0,413</b>	<b>0,438</b>
<i>Wartości średniej standaryzowanej - <math>U_i^{sr stand} = U_i/[(\sum U_i)/n]</math> [<math>\sum U_i/n=0,460mm</math>]</i>						
<b>1,084</b>	<b>1,060</b>	<b>0,973</b>	<b>1,099</b>	<b>0,934</b>	<b>0,898</b>	<b>0,952</b>
<i>Wartości współczynników sezonowości - <math>f_s</math> w odniesieniu do pomiarów z marca</i>						
<b>1,00</b>	<b>1,02</b>	<b>1,11</b>	<b>0,99</b>	<b>1,16</b>	<b>1,21</b>	<b>1,14</b>

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



Rys 40 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 i lipca) do 1,21 (dla września).

W załączniku nr1 przedstawiono wartości średnich standaryzowanych dla wszystkich odcinków badawczych (Załącznik nr 1 – Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych).

Dalsze prace nad modelem statystycznym współczynnika sezonowości będą realizowane poprzez szczegółowe analizy w celu uzyskania uogólnionych wartości  $f_s$  dla różnych okresów przeprowadzania badań ugięć nawierzchni.

### 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 standartowych) 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:

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



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.

### Analiza teoretyczna

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],

$E_2$  – 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,

Lato - 3000 MPa,

$h$  – grubość konstrukcji podatnej (warstwa ściernalna 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,

Lato (przy wilgotności naturalnej  $w_n=6\%$ ) - 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 lato:

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

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 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,

Lato (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 lato:

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

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,

Lato - 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,

Lato (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:

$E_1/E_2 - 10000/12=833$  i  $h/a - 15/15=1,00$ , 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 lato:

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

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:

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

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<sub>1</sub> – 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<sub>2</sub> – moduł sprężystości gruntu podłoża:

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

Lato (przy wilgotności naturalnej w<sub>n</sub>=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<sub>2</sub> – moduł sprężystości gruntu podłoża 12 MPa,

ω<sub>z</sub> – 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:

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

Wariant lato:

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

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



Tabela 6 Teoretyczne ugięcia konstrukcji nawierzchni według modelu Burmistera dla ugięciomierza belkowego.

lp	Rodzaj konstrukcji	Ugięcia [mm]		Współczynnik zmienności (wiosna /lato)
		Pora roku		
		wiosna	lato	
1	Konstrukcja podatna I (KR1)	1,70	0,87	<b>1,95</b>
2	Konstrukcja podatna II (KR6)	0,71	0,49	<b>1,45</b>

Tabela 7 Teoretyczne ugięcia konstrukcji nawierzchni według modelu Burmistera dla urządzenia FWD.

lp	Rodzaj konstrukcji	Ugięcia [mm]		Współczynnik zmienności (wiosna /lato)
		Pora roku		
		wiosna	lato	
1	Konstrukcja podatna I (KR1)	1,24	0,59	<b>2,10</b>
2	Konstrukcja podatna II (KR6)	0,475	0,343	<b>1,38</b>

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

- dla ugięciomierza belkowego od 1,45 dla nawierzchni o konstrukcji podatnej II, odpowiadającej KR6; do 1,95 dla nawierzchni podatnej I, odpowiadającej KR1.
- dla urządzenia FWD od 1,38 dla nawierzchni o konstrukcji podatnej II, odpowiadającej KR6; do 2,10 dla nawierzchni podatnej I, odpowiadającej KR1.

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 5)

Tablica 8 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 Austria 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. Kontynuacja badań terenowych zgodnie z opracowanym programem badań.**

Badania terenowe były kontynuowane w II etapie pracy na wytypowanych odcinkach badawczych. Odcinki zlokalizowano na terenie całego kraju ich położenie przedstawiono na Rys nr39 i tabeli 4 (pkt3)

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 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 [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 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 i II etapu niniejszej pracy w Załączniku nr 1 – Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych,

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 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.

### ***6.Kontrola pomiarów prowadzonych w terenie na odcinkach testowych.***

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.

### ***7.Zestawienie i podsumowanie II etapu badań z weryfikacją uzyskanych wyników.***

W załącznikach zestawiono analizy i wyniki badań wykonanych II etapie pracy:

- Załączniku nr 1 – Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych,
- Załączniku nr 2 - Zestawienie wyników badań ugięć nawierzchni
- Załączniku nr 3 - Wyniki badań ugięć nawierzchni odcinków doświadczalnych – przykładowe karty badań.

Weryfikacja wyników badań była prowadzona na bieżąco w trakcie ich archiwizowania oraz w trakcie prowadzenia analiz danych.

Program pracy II etapu został zrealizowany zgodnie z planem.

Pewnego rodzaju problem stanowią wykonane na kilku odcinkach doświadczalnych remonty nawierzchni. Sytuacja taka wystąpiła, mimo wcześniejszego rozpoznania co do planów remontów w miejscach lokalizacji odcinków badawczych i wyznaczenia takowych w

miejskach gdzie takie przedsięwzięcia nie były planowane. Na tych odcinkach wstrzymano okresowo wykonywanie badań. Dalsze badania będą wykonywane po zakończeniu remontów. W zaistniałej sytuacji w analizie będzie uwzględniana zmiana konstrukcji nawierzchni.

Praca będzie kontynuowana w etapie III.

## **8.Literatura**

- 1) „Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Pólsztynowych” GDDP, Warszawa 1997.
- 2) „Katalog Wzmocnień Nawierzchni Podatnych i Pólsztynowych” GDDP, Warszawa 2001.
- 3) Zarys Geotechniki. Z. Wiłun, WKŁ, Warszawa 2001.
- 4) Modyfikacja metody wyznaczania nośności nawierzchni wielowarstwowych, M. Graczyk, J. Rafa, praca niepublikowana, IBDiM Warszawa 2002.
- 5) Uwzględnienie wpływów sezonowych w badaniu ugięć nawierzchni. St. Szpinek, IBDiM, Warszawa 1993
- 6) Analiza przemarzania gruntów w skali kraju. A. Janowski, GDDKiA, Warszawa 2002, praca niepublikowana.
- 7) Aerodrome Design Manual. Part 3 Pavements, 1983, ICAO.
- 8) Characterisation of seasonal influences on asphalt pavements with the use of falling weight deflectometers Ph.D. Thesis, Delft University of Technology , June 1995
- 9) Transport Research COST 336 – Falling Weight Deflectometr. Final Report of the Action. European Commission.
- 10) OBERBAUVERSTARKUNG VON ASPHALTSTRASSEN. Methodenüberblick und Ableitung von Klimadaten für die analytische Bemessung. M. Wistuba, R Blab, J. Litzka. TU-Wien, 2004.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) The general theory of stresses and displacements in layered systems. D. M. Burmister Journal of Applied Physics Vol. 16 No.1 January 1945.
- 14) 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

## **Załącznik nr 1**

### **Wykresy standaryzowanych ugięć nawierzchni na odcinkach doświadczalnych**