

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 I**

Zleceniodawca: GDDKiA, umowa 684 z dnia 7.04.2004 r

Opracowali:

dr inż. Mirosław GRACZYK

inż. Jacek KRZYSZTOFOWICZ

inż. Adam KOWALSKI

tech. Jacek KUSIAK

tech. Ryszard PLEWCZYŃSKI

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, listopad 2004

SPIS TREŚCI

1. Podstawa i zakres pracy.	3
2. Analiza charakterystyk warunków regionalnych i klimatycznych Polski.	4
3. Opracowanie systemu zbierania i przetwarzania danych.	14
4. Opracowanie programu badań terenowych.	18
5. Wytypowanie odcinków testowych.	20
6. Uruchomienie badań terenowych.	24
7. Analiza i weryfikacja uzyskanych wyników pomiarów.	24
8. Literatura	36

Załącznik 1 - Wybór odcinków jednorodnych.

Załącznik 2 - Dokumentacja odcinków badawczych.

Załącznik 3 - Badania gruntów podłoża nawierzchni z odcinków badawczych.

Załącznik 4 - Wyniki badań ugięć odcinków badawczych – karty badań.

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 2004 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 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. Analiza charakterystyk warunków regionalnych i klimatycznych Polski

Opis klimatu

Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego ze zróżnicowanym wpływem klimatu morskiego a lądowego. Jest to efekt ścierania się mas wilgotnego powietrza znad Atlantyku z suchym powietrzem z głębi kontynentu euroazjatyckiego. W efekcie klimat Polski odznacza się dużą zmiennością pogody i znacznymi wahaniami w przebiegu pór roku w następujących po sobie latach. Zaznacza się to zwłaszcza charakterze zim, które są bądź wilgotne, typu oceanicznego, bądź - rzadziej - pogodne, typu kontynentalnego. Generalnie w Polsce północnej i zachodniej przeważa klimat umiarkowany morski z łagodnymi, wilgotnymi zimami i chłodnymi latami ze sporą ilością opadów, natomiast we wschodniej części kraju zaznacza się kontynentalizm klimatu, z ostrymi zimami oraz gorętszymi i bardziej suchymi latami. Klimat Polski kształtują przede wszystkim rodzaje mas powietrza docierające nad jej terytorium. Wilgotne masy powietrza polarnomorskiego znad północnych rejonów Oceanu Atlantyckiego przynoszą latem wzrost zachmurzenia, opady i ochłodzenia, natomiast w zimie - odwilż i mgłę. Stosunkowo suche powietrze polarno-kontynentalne znad Rosji, które przeważnie dociera nad Polskę zimą, przynosi mrozy, w lecie natomiast powoduje upały. Powietrze arktyczne, które swe źródła bierze na dalekiej północy, bo nad Morzem Arktycznym, przynosi pogodę zmienną i znaczne ochłodzenia, m.in. przymrozki w maju. Z kolei masy powietrza zwrotnikowego przynoszą latem zachmurzenie i deszcz, natomiast zimą odwilże i mgły - są więc podobne do powietrza polarnomorskiego, chociaż nadciągają znad

odległych Wysp Azorskich. Z Afryki bądź też Azji Mniejszej docierają do Polski kolejne masy powietrza zwrotnikowego, tym razem o charakterze kontynentalnym. Dają o sobie znać właściwie tylko latem oraz wczesną jesienią. Oznaczają ciepłą i słoneczną pogodę. Ogólnie można stwierdzić, że do Polski docierają wszystkie typy mas powietrza właściwych dla półkuli północnej. Dlatego też klimat jest tutaj niejednorodny, co wywołuje spore trudności w prognozowaniu pogody. Właściwa dla klimatu Polski jest też duża zmienność pogody w kolejnych latach. Jest to spowodowane zaburzeniami w napływie głównych mas powietrza docierających nad kraj. Niekiedy upalne i suche lato występuje rok po roku, a w następnych jest chłodne i wilgotne. To zjawisko występuje najczęściej cyklicznie, w okresach kilkuletnich. Dla całości polskiego klimatu bardzo ważny jest aspekt nizinnego ukształtowania terenu, które wyraźnie rysuje się w Europie od Francji aż do Ukrainy. Ułatwia on szybkie przemieszczanie się dużych mas powietrza nawet znad Atlantyku lub Morza Północnego. Dużą rolę odgrywa także usytuowanie Polski na kontynencie. Na klimat szczególnie oddziałuje oddalenie od wielkich zbiorników wodnych oraz sąsiedztwo z rozległymi obszarami lądowymi. W przypadku klimatu Polski największe znaczenie ma Ocean Atlantycki, a rozległą przestrzeń stanowi cały kontynent euroazjatycki. Istotny wpływ na klimat mają również morza. Dla Polski północnej jest to Morze Bałtyckie, zaś dla południowej również Morze Śródziemne oraz Morze Czarne.

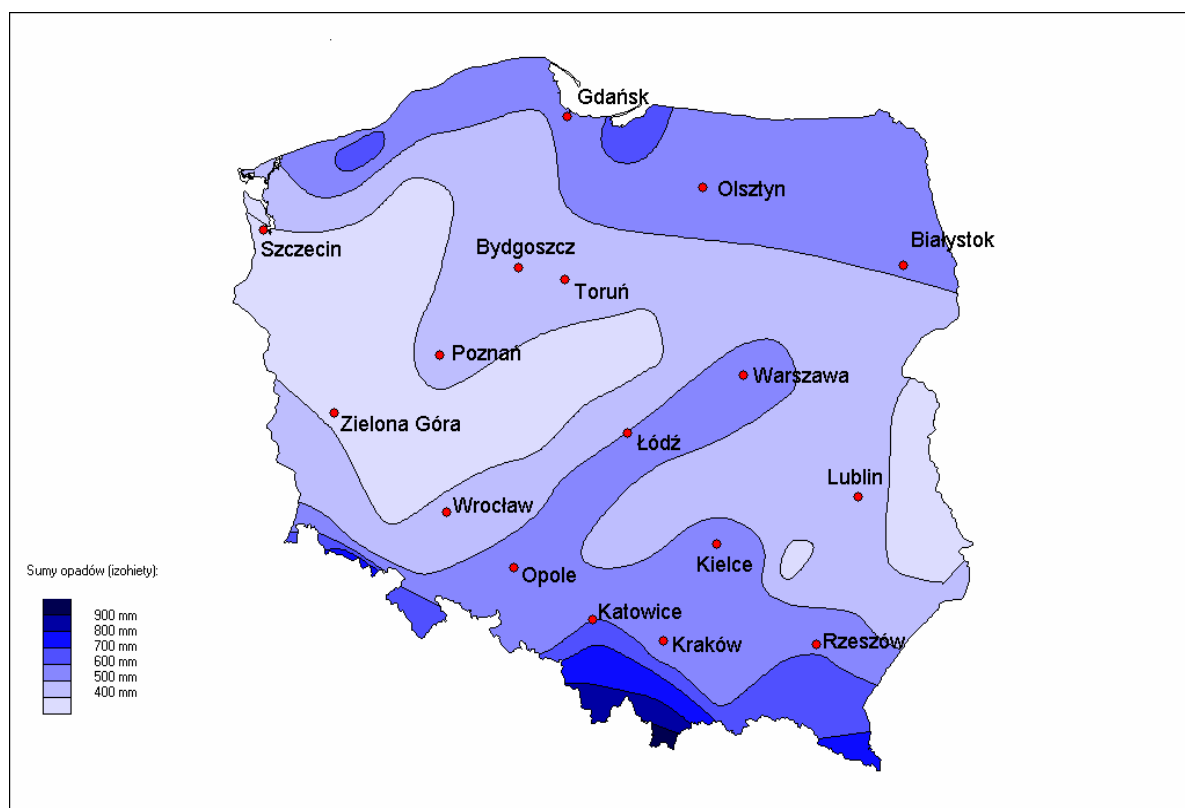
Opady

Widocznymi efektami ścierania się mas powietrza nad Polską jest zachmurzenie. Ilość dni z zachmurzeniami waha się między 60 a 70%, czyli jest dość duże. Zachmurzenie stwarza możliwość wystąpienia opadów. Najwięcej chmur spowija polskie niebo w listopadzie, zaś najmniej w okolicach sierpnia i września. Najintensywniej chmurzy się na pojezierzach północnych i w Sudetach, natomiast najmniej w Wielkopolsce oraz na Nizinie Śląskiej. Średnia liczba dni pochmurnych, czyli takich gdy zachmurzenie jest większe niż 80%, wynosi 120-160 dni w roku, dni pogodnych (zachmurzenie mniejsze niż 20%) jest 30-50. Wielkość opadów zależy nie tylko od tego, skąd napływają masy powietrza, ale też od wysokości obszaru nad poziomem morza oraz kierunku nachylenia zboczy poszczególnych form terenu. Przy przeważających w Polsce wiatrach zachodnich największe opady występują na zachodnich zboczach gór i wzniesień. W Karpatach i Sudetach wynoszą one rocznie 800-1400 mm. Na nizinach i wyżynach roczne opady wahają się od 400 do 750 mm. Podobne wielkości notuje się na Pojezierzu Pomorskim i Pojezierzu Mazurskim. Wynika to z bliskości

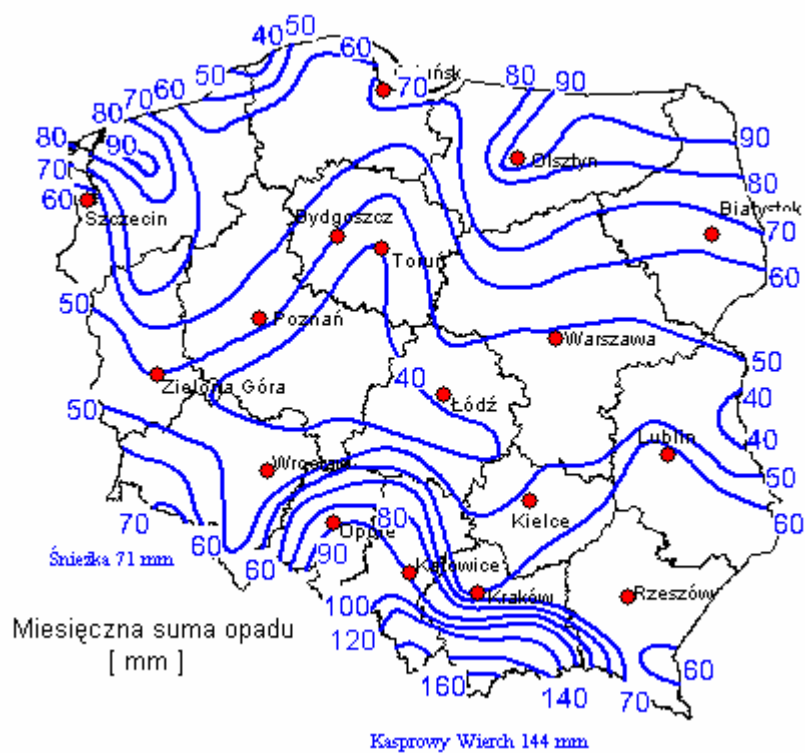
Morza Bałtyckiego, znad którego przesuwają się ku wschodowi masy wilgotnego powietrza morskiego. Najmniej opadów otrzymuje wschodnia część Wielkopolski i Kujawy, leżące w cieniu opadowym Pojezierza Pomorskiego.

Maksimum opadów przypada na miesiące letnie. W tym okresie są one średnio 2-3 razy większe niż w okresach zimowych, a w Karpatach nawet 4 razy większe. Najbardziej wyrównany rozkład opadów występuje na nizinach nadmorskich. Zima nadciąga do Polski od północnego wschodu. Średnia roczna liczba dni z opadami śniegu wynosi w zachodniej i środkowej Polsce 30-40 dni w roku, a ponad 50 dni na północnym wschodzie kraju. W Karkonoszach śnieg pada przez 120 dni, a w Tatrach aż przez 145. Śnieg utrzymuje się najdłużej właśnie w górach (do 200 dni) oraz w północno-zachodniej Polsce (90-120 dni). Najkrócej leży na zachodzie (40-50 dni).

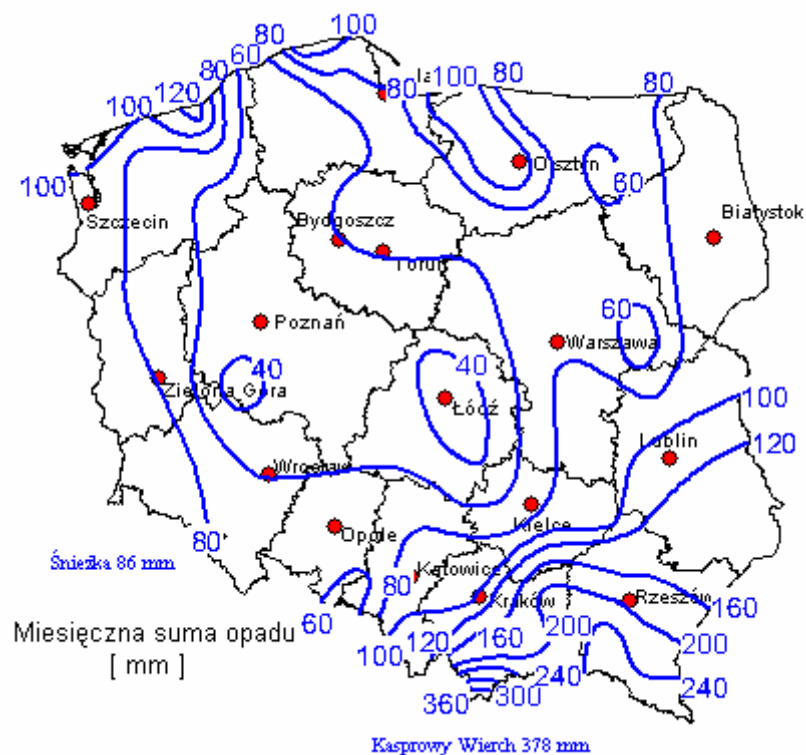
Najbardziej suchym rejonem Polski są Kujawy przede wszystkim dzięki położeniu w cieniu opadowym. W rejonie tym przeważają masy powietrza nadciągające znad północnego zachodu. Zanim dotrą nad Kujawy oraz nad wschodnią część Wielkopolski, tracą wilgoć przechodząc nad wyżej położonym Pojezierzem Pomorskim. Wskazuje się też na inne przyczyny niskich opadów w tym rejonie, jak m.in. równinność terenu oraz znikome zalesienie, bowiem dominują tam pola uprawne, zaś niewielkie lasy można spotkać bardzo rzadko. W okolicach jeziora Gopło spada rocznie nie więcej niż 300 mm wody, co w skali kraju jest wartością najniższą. Zgoła inaczej jest w Tatrach, gdzie częściej niż słońce spotka się opady deszczu, śniegu, a nawet gradu. Tatry są obszarem o największych w Polsce opadach atmosferycznych. Najbardziej widocznie jest to w Dolinie Pięciu Stawów Polskich, gdzie roczna suma opadów przekracza 1800 mm wody. Opady przeważają w półroczu letnim, czyli od kwietnia do października. Najbardziej deszczowy zwykle jest czerwiec, a najmniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia opadów jest w lutym, zaś w wysokich górach we wrześniu. Wartości rocznych opadów dla Polski w 2003 roku przedstawiono na rysunku 1. Na rys 2-6 przedstawiono rozkład opadów w miesiącach od czerwca do października 2004 r.



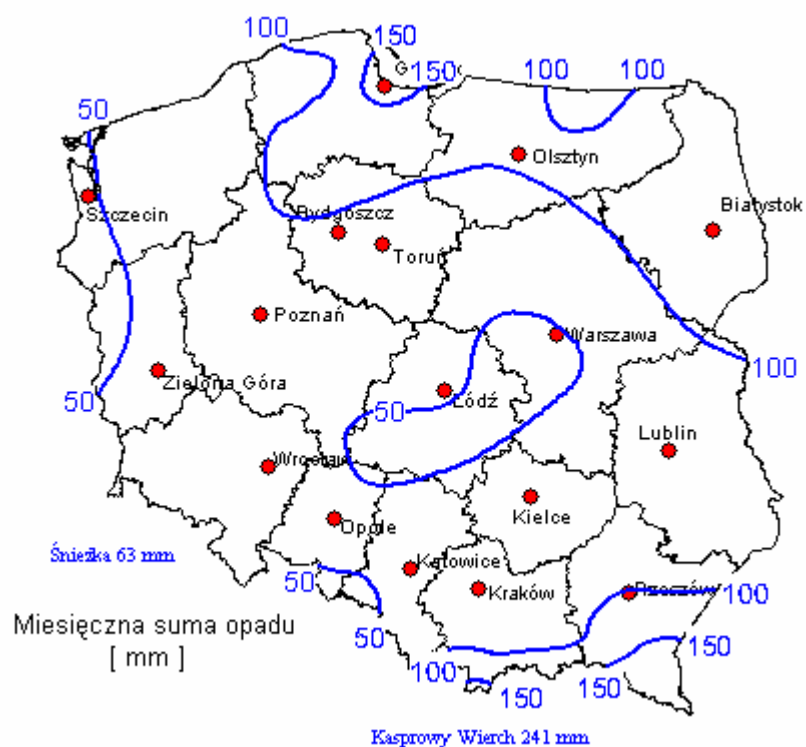
Rys 1 Wielkość rocznych opadów w 2003r



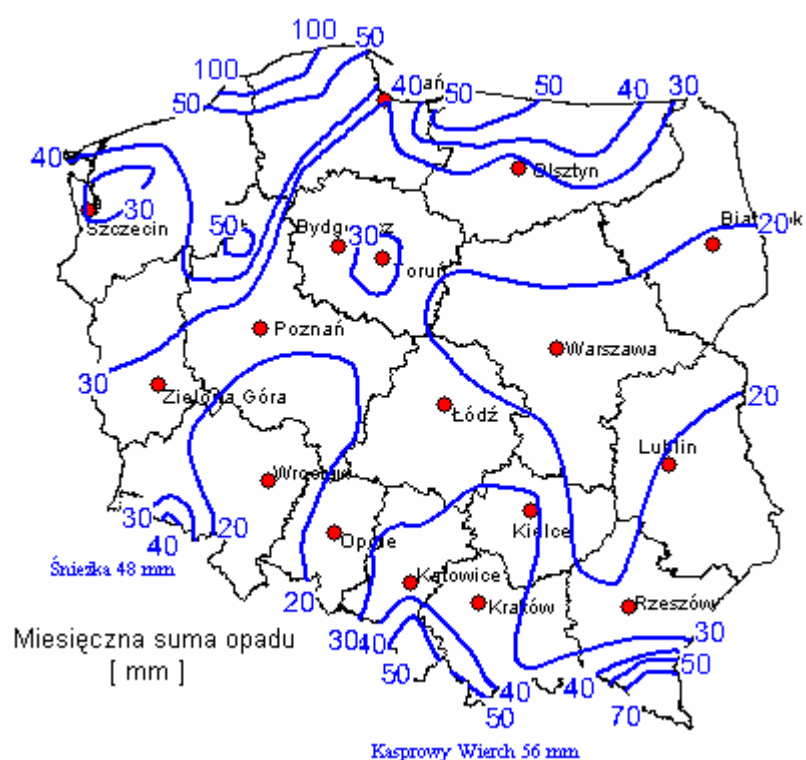
Rys 2 Wielkość opadów w czerwcu 2004r



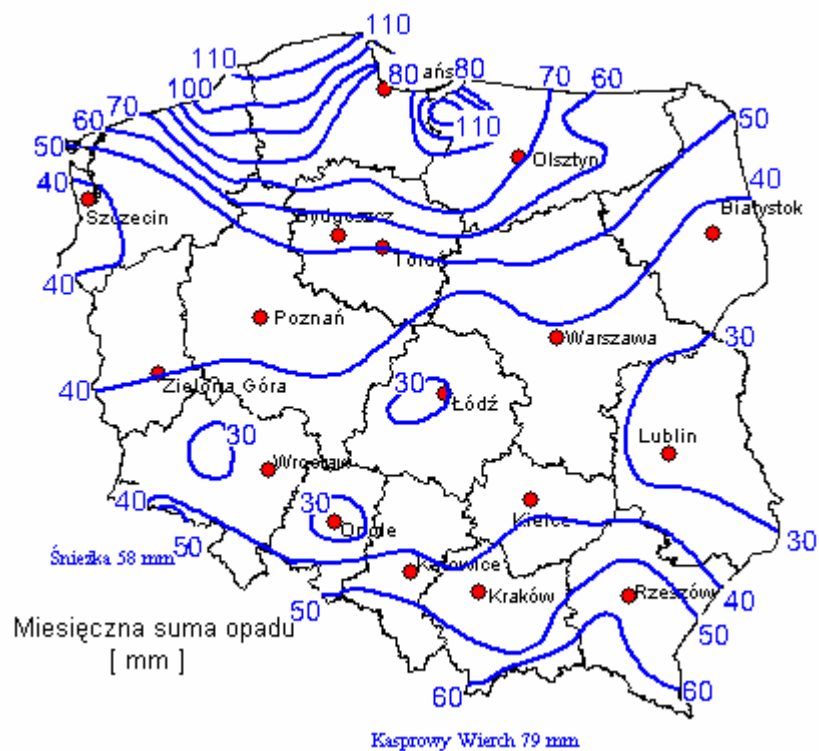
Rys 3 Wielkość opadów w lipcu 2004r



Rys 4 Wielkość opadów w sierpniu 2004r



Rys 5 Wielkość opadów we wrześniu 2004r



Rys 6 Wielkość opadów w październiku 2004r

Temperatura

Średnia roczna temperatura waha się w Polsce od 5-7°C na wzniesieniach Pojezierza Pomorskiego i Pojezierza Mazurskiego oraz na wyżynach, do 8-10°C w pasie kotlin podkarpackich oraz na Nizinie Śląskiej i na Nizinie Wielkopolskiej. Różnice średnich temperatur między poszczególnymi rejonami, z wyjątkiem terenów górskich, są więc nieduże. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec, którego średnia temperatura wynosi 16-19°C. Najchłodniejsze w lipcu są obszary górskie, gdzie temperatura powietrza spada wraz ze wzrostem wysokości (średnio o 0,6°C na 100 m). Chłodniej jest w lipcu także na obszarach Polski przylegających do Morza Bałtyckiego (ok. 16°C), co jest wynikiem ochładzającego wpływu wód morskich. Najcieplej jest w środkowej części Polski, gdzie temperatury przekraczają 18°C. Średnie izotermy lipca mają w zasadzie przebieg równoleżnikowy. Ich wartości maleją z południa na północ, od powyżej 18,5°C na Nizinie Śląskiej, w południowej Wielkopolsce oraz Kotlinie Sandomierskiej, do 16,5°C na Pojezierzu Kaszubskim. Dni gorące, o temperaturze co najmniej 25°C, występują w Polsce od maja do września. Ich liczba wzrasta w miarę oddalania się od morza. Średnio tylko 5 takich dni występuje na Przylądku Rozewie, powyżej 40 - w Kotlinie Sandomierskiej i na Wyżynie Lubelskiej. Najchłodniejszym miesiącem w Polsce jest styczeń. Temperatura powietrza spada z zachodu na wschód, a izotermy mają przebieg niemal południkowy. Łagodniejsze zimy na zachodzie to efekt ocieplającego wpływu powietrza morskiego znad Atlantyku. Im dalej na wschód, tym wpływ ten jest słabszy, a liczba dni mroźnych wzrasta. Wskutek napływającego ze wschodu mroźnego powietrza kontynentalnego wschodnie obszary Polski są w styczniu jednymi z najchłodniejszych regionów kraju. Zima nadciąga do Polski od północnego wschodu. Dni mroźne występują od listopada do marca. Średnia ich liczba wynosi od ok. 25 dni w roku nad dolną Odrą i wzdłuż wybrzeża morskiego, do 65 dni na Pojezierzu Suwalskim. W górach dochodzi do 150 na Kasprowym Wierchu. Liczba dni z przymrozkami, które występują zwykle późną wiosną i wczesną jesienią, waha się na nizinach od 90 (nad morzem) do 130, a w górach przekracza 200.

Najcieplejszym obszarem Polski jest Nizina Śląska, która znajduje się pod przeważającym wpływem powietrza oceanicznego. Wpływ na jej klimat ma też położenie tej krainy w sąsiedztwie obszarów wznoszących się wyżej. Zatrzymują one chmury i wilgoć, dzięki czemu jest tam duże nasłonecznienie. Masy powietrza znad Atlantyku powodują podniesienie temperatur zimą. Średnie temperatury w styczniu są jednymi z wyższych w Polsce i przekraczają -1,5°C. Termiczny okres zimowy trwa zaledwie ok. 60 dni, a zimy są

stosunkowo łagodne. Lata są tam natomiast słoneczne i ciepłe. Trwają ponad 100 dni, a zatem należą do dłuższych w Polsce. Średnia temperatura w lipcu przekracza 18,5°C. Najwyższe wartości temperatur notuje się w pobliżu Wrocławia, na Równinie Wrocławskiej. Jest to jedyny obszar w Polsce, gdzie średnia temperatura w ciągu roku przekracza 8,5°C. Najchłodniejszym obszarem Polski jest Suwalszczyzna, położona w północno-wschodniej części kraju. Wpływ klimatu kontynentalnego jest tam wyraźnie widoczny - zimą występują bardzo niskie temperatury, latem natomiast dość wysokie. Na Suwalszczyźnie notowane są najwyższe amplitudy średnich temperatur, ponad 23°C. Są one nawet wyższe niż na terenach górskich. Średnie temperatury powietrza w najzimniejszym miesiącu, jakim jest styczeń, są najniższymi w Polsce i wynoszą mniej niż -5°C. Latem średnia temperatura powietrza nie spada poniżej 17,5°C. Średnia roczna temperatura powietrza na Pojezierzu Suwalskim nieco przekracza 6°C.

Głębokość przemarzania gruntów

Głębokość przemarzania gruntów na obszarze kraju określona została w normie PN-81/B-3020 - „Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.” Głębokość przemarzania gruntów dla obszaru kraju mieści się w przedziale od 0,8 do 1,4m. W normie zostały wyróżnione cztery następujące strefy umownej głębokości przemarzania gruntów:

- $h_z=0,80\text{m}$ – zachodnia część Polski określona obszarem ograniczonym zachodnią granicą państwa i linią przebiegającą przez miejscowości: Słupsk – Żnin - Nysa z wyjątkiem terenu Sudetów;
- $h_z=1,00\text{m}$ – teren Sudetów oraz obszar kraju określony liniami Słupsk – Żnin - Nysa i Braniewo - Biskupiec – Brańsk z wyjątkiem Karpat i Gór Świętokrzyskich;
- $h_z=1,20\text{m}$ – Karpaty i Góry Świętokrzyskie oraz obszar między liniami Braniewo - Biskupiec – Brańsk i Kętrzyn - Ełk;
- $h_z=1,40\text{m}$ – obszar na północny – wschód od linii: Kętrzyn – Ełk.

Największy obszar jest objęty głębokością przemarzania $h_z=1,00\text{m}$, który to obejmuje ponad 50% terytorium kraju. Drugi w kolejności duży obszar o głębokością przemarzania $h_z=0,80\text{m}$ obejmuje ok. 30% terytorium kraju. Trzeci obszar z głębokością przemarzania $h_z=1,20\text{m}$ obejmuje ok. 15% terytorium kraju. Najmniejszy obszar kraju z głębokością przemarzania $h_z=1,40\text{m}$ to ok. 5% terytorium kraju.

Ostatnie badania nad przemarzaniem gruntów w skali kraju pokazały, że mimo zachodzących ostatnio zmian klimatycznych nie ma podstaw do zmiany normatywnych głębokości przemarzania.

Podział stref obszaru Polski w zależności od głębokości przemarzania gruntów przedstawiono na rys 7.



Rys 7 Głębokość przemarzania gruntów na terenie Polski

Różnice w stosunku do reszty terytorium Europy

Z rocznym przebiegiem średniej dobowej temperatury powietrza wiąże się następstwo termicznych pór roku. W Polsce wyróżnia się aż sześć pór roku. Polska "bogatsza" jest od innych krajów europejskich o przedwiośnie i przedzimie. Pory roku niemal wcale nie pokrywają się z porami kalendarzowymi. W czasie przedwiośnia, które trwa około miesiąca, średnia dobowa temperatura powietrza waha się od 0°C do 5°C. Wiosna trwa w Polsce średnio ok. 60 dni i wkracza do Polski od zachodu. Temperatura dobowa wynosi średnio od 5°C do 15°C. Lato z temperaturami powyżej 20°C, rozpoczyna się w Polsce w maju. Po ok. czterech miesiącach następuje jesień, która obniża średnią temperaturę od 15°C do nawet 5°C. Po czym w listopadzie rozpoczyna się przedzimie. Temperatury spadają poniżej 5°C. Po upływie ok. sześciu tygodni nadchodzi zima. Przedwiośnie zaczyna się na przełomie lutego i marca, i to tylko na Pomorzu oraz w Polsce Zachodniej. W różnych regionach geograficznych czas trwania pór roku jest inny. Np. lato w północnej części Polski trwa ok. 2,5 miesiąca, a w południowo-wschodniej, centralnej i południowo-zachodniej ponad 3 miesiące. Zima trwa z kolei od 2 miesięcy nad morzem i na zachodzie, do 3-4 miesięcy na północnym wschodzie, a w Tatrach aż do 6 miesięcy. Ten "klimatyczny kalendarz" nie jest jednak tak prosty, jak mogłoby się wydawać. Często pojawiają się bowiem różne anomalie. Ten fakt stanowi kolejny wyróżnik polskiego klimatu. Zdarza się, że przedwiośnie zjawia się już na początku lutego. Bywa też tak, że we wrześniu występują przymrozki. W styczniu 1982 r. w ciągu jednej doby temperatura powietrza we Włocławku spadła z 8°C do -20°C. To dotąd największy dobowy spadek temperatury w historii pomiarów na ziemiach polskich.

Charakterystyczne dla obszaru Polski jest występowanie gwałtownych zmian temperatury powietrza, przy wysokiej rocznej amplitudzie- bardzo wysokie temperatury latem do 30°C i niskie zimą poniżej -20°C, oraz częste przejścia przez 0°C w okresie jesienno-zimowym.

Podsumowanie

Przedstawiony opis warunków klimatycznych pokazuje wyraźnie dużą zmienność temperatur i opadów na terenie Polski w cyklu rocznym jak i wieloletnim. Należy sądzić, że ma to wpływ na warunki pracy całej konstrukcji nawierzchni, ze szczególnym oddziaływaniem na grunt

podłoża nawierzchni dróg. Opisana sytuacja klimatyczna ma niewątpliwie istotny wpływ na wyniki badań ugięć nawierzchni poprzez swą zmienność sezonową.

Szczególny wpływ na sezonowość mają następujące czynniki:

- ilości opadów atmosferycznych,
- głębokość przemarzania gruntu,
- rodzaje gruntów podłoża od G1 do G4 (piaski, piaski gliniaste, gliny piaszczyste, gliny), a przede wszystkim ich wrażliwość na zmiany wilgotności,
- zmiany wilgotności w aspekcie własności mechanicznych tych gruntów, a głównie na zmienność wartości modułu odkształcenia E_0 i CBR,
- rodzaje i grubości konstrukcji nawierzchni od KR1 do KR6 wg katalogów „KWiRNP i KTKNPiP”,
- Przebieg niwelety drogi (w terenie, w wykopie, na nasypie),
- Nasłonecznienie (teren wilgotny zalesiony, teren otwarty suchy).

3. *Opracowanie systemu zbierania i przetwarzania danych.*

System zbierania i przetwarzania danych został opracowany w celu dogodnej i szybkiej obsługi. Dane z pomiarów ugięć ugięciomierzem belkowym są zapisywane w formularzach zgodnych z wymaganiami normy według BN-70/8931-06 „Drogi samochodowe. Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym” a następnie przenoszone do specjalnie opracowanej karty badań . Na rys 8 przedstawiono kartę badań do zapisu wyników pomiarów ugięć ugięciomierzem belkowym.

W zapisie danych uwzględniono:

- Opis odcinka,
- Odczyty wartości ugięć sprężystych z dokładnością 0,01mm,
- Kilometraż z dokładnością do 1m,
- Obciążenie nawierzchni od pojazdu badawczego z dokładnością do 0,01 kN,
- Ciśnienie w kołach tylnych pojazdu z dokładnością do 0,01 MPa,
- Temperatura powietrza w °C,
- Temperatura na powierzchni konstrukcji jezdni.

- Temperatura nawierzchni w połowie grubości warstw bitumicznych.

Dane z laboratoriów terenowych są przekazywane w wersji pisemnej i elektronicznej do IBDiM.

Dane z pomiarów ugięć ugięciomierzem FWD są zapisywane zgodnie z wymaganiami programu polowego w odpowiednich folderach. Następnie dane przenoszone do specjalnie opracowanej karty badań odcinków (rys 9) po czym następuje ich opracowanie. Na rys 9 przedstawiono kartę badań do zapisu wyników pomiarów ugięć urządzeniem FWD

Archiwizacja i przetwarzanie danych odbywa się w IBDiM.

4. Opracowanie programu badań terenowych.

Program badań terenowych obejmuje:

Przed przystąpieniem do badań terenowych wyznaczono obszary reprezentatywne dla warunków klimatycznych kraju. Następnie określono, na podstawie danych archiwalnych właściwe, interesujące ze względu na cel pracy odcinki dróg. W tablicy 1 przedstawiono zestawienie wybranych dróg do wyznaczenia odcinków badawczych.

Tablica 1

Zestawienie dróg do wyboru odcinków badawczych

Lp	Nr drogi	Kierunek	Kilometraż
1	2	Bronisze „L”	465+000 ÷ 466+000
2	2	Bronisze „P”	464+400 ÷ 464+600
3	60	Płock ÷ Goślice (m. Goślice)	80+200 ÷ 81+200
4	60	Goślice ÷ Bielsk (m. Ciachcin)	83+200 ÷ 84+200
5	60	Drobin - Ciechanów	116+030 ÷ 117+930
6	60	Drobin - Ciechanów	121+710 ÷ 122+410
7	61	gr. m. Ostrołęka – gr woj. maz	123+900 ÷ 129+620
8	9	Modrzejowice - Iłża	23+500 ÷ 24+400
9	9	Skaryszew - Iłża	26+500 ÷ 27+000
10	9	Skaryszew - Iłża	28+000 ÷ 28+700
11	9	Skaryszew - Iłża	30+300 ÷ 31+200
12	9	Iłża - Brody	42+050 ÷ 43+050
14	8	Ostrów Maz – Zambrów (przed m. Żabikowo)	567+200 – 567+681
15	19	Białystok - Kuźnica	44+884 – 44+331
16	8	Białystok - Augustów	662+071 – 662+783
17	653	Poćkuny – Bereźniki	37+100 ÷ 37+400?
18	65	Olecko - Ełk	54+522 ÷ 55+395
19	77	Wólka Pełkińska - Jarosław	124+400 ÷ 125+000
20	77	Wólka Pełkińska - Jarosław	126+300 ÷ 125+900

21	84	Zagórz - Lesko	10+300 ÷ 10+500
22	84	Zagórz - Lesko	11+600 ÷ 11+800
23	33	Międzylesie – gr. państwa	37+100 ÷ 44+900
24	35	gr. państwa - Mieroszów	0+000 ÷ 4+200
25	35	Mieroszów - Wałbrzych	4+200 ÷ 13+600
26	3	Lubin(Przejście 1)	367+300 ÷ 373+500
27	3	Lubin(Przejście 2)	373+500 ÷ 374+200
28	A-6	Od granicy państwa	1+000 ÷ 2+200
29	A-6	Od granicy państwa - Międzyodrze	7+000 ÷ 8+000
30	A-6	Od granicy państwa	10+000 ÷ 11+000
31	31	Chojna	22+100 ÷ 23+100
32	31	Chojna	24+000 ÷ 25+000

I) Wstępne badania odcinków

Dla wybranych odcinków przeprowadzono następujące badania:

1. Wybór odcinków jednorodnych.

Badanie jednorodności odcinka poprzez pomiar ugięć wykonano urządzeniem FWD. Celem badania było wyznaczenie odcinków o długości 100m o najmniejszej zmienności ugięć w całym badanym wcześniej wytypowanym kilometrażu drogi. Wyniki badań przedstawiono w Załączniku nr 1 - Wybór odcinków jednorodnych.

2. Identyfikacja konstrukcji nawierzchni i podłoża gruntowego:

Dla wyznaczonych 100m odcinków opisano stan powierzchniowy oraz dokonano odwiertów w nawierzchni w celu określenia rodzajów warstw konstrukcyjnych i ich grubości. Zdjęcia z widokiem odcinków oraz odwierconych próbek z nawierzchni, a także przekroje konstrukcyjne, wraz z rodzajem podłoża gruntowego, podano w Załączniku nr 2 - Dokumentacja odcinków badawczych.

3. Badania gruntów:

W miejscach pobrania próbek konstrukcji nawierzchni wykonano również wiercenia podłoża gruntowego do głębokości 2m od powierzchni. Pobrane z odwiertów grunty poddano następującym badaniom:

- rodzaj gruntu,
- dla gruntów spoistych – granica plastyczności i granica płynności,
- dla gruntów sypkich – badania „Proctora”,

-wpływ wilgotności na nośność gruntu - CBR.

Zestawienie badań gruntów przedstawiono w Załączniku nr 3 - Badania gruntów podłoża nawierzchni z odcinków badawczych.

II) Badania podstawowe odcinków

-Badania ugięć sprężystych ugięciomierzem belkowym według BN-70/8931-06 „Drogi samochodowe. Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym”, wykonywane, co miesiąc przez cały rok z wyłączeniem miesięcy zimowych.

Każdorazowo przy badaniu ugięć pobierane są próbki do badania wilgotności gruntu rodzimego.

-Na każdym odcinku badawczym pomiar temperatury nawierzchni i powietrza.

-Badania ugięć urządzeniem FWD, co drugi miesiąc skoordynowane z badaniami ugięciomierzem belkowym.

5. Wytypowanie odcinków testowych

Odcinki badawcze wybrano w taki sposób, aby były reprezentatywne dla warunków polskich, tak w sensie klimatu, konstrukcji nawierzchni jak i podłoża gruntowego.

W planie wyboru odcinków badawczych do pomiaru zmiany wielkości ugięć przyjęto:

I) Lokalizację odcinków w różnych rejonach klimatycznych i strefach przemarzania, reprezentatywnych dla całego obszaru kraju.

Obszary do wytypowania odcinków wybrano w taki sposób, żeby znalazły się w zróżnicowanych rejonach klimatycznych i we wszystkich strefach przemarzania

dla głębokości zamarzania gruntów:

- 0,8m – 7 odcinków,

- 1,0m – 18 odcinków,

- 1,2m - 4 odcinki,

- 1,4m – 2 odcinki.

II) Zróżnicowanie konstrukcji nawierzchni (grubości i rodzaju).

Wybrano podatne i półsztywne konstrukcje nawierzchni o zróżnicowanej grubości warstw bitumicznych i związanych cementem oraz warstw niezwiązanych.

III) Zróżnicowanie poziomów ruchu.

Na typowanych drogach występuje ruch o zróżnicowanej intensywności.

- IV) Zróżnicowanie rodzajów gruntów.
 Grunty podłoża (pospółki, piaski, piaski gliniaste, gliny piaszczyste, gliny),
 V) Zróżnicowanie przebiegu niwelety drogi (w terenie, w wykopie, na nasypie),
 VI) Zmienność nasłonecznienia drogi (teren wilgotny zalesiony, teren otwarty suchy).

Na podstawie analizy przeprowadzonej według planu wyboru odcinków podanego powyżej i wyników badań jednorodności odcinków dokonano wyboru odcinków badawczych o długości 100m każdy.

Zestawienie odcinków badawczych przedstawiono w tablicy nr 2.

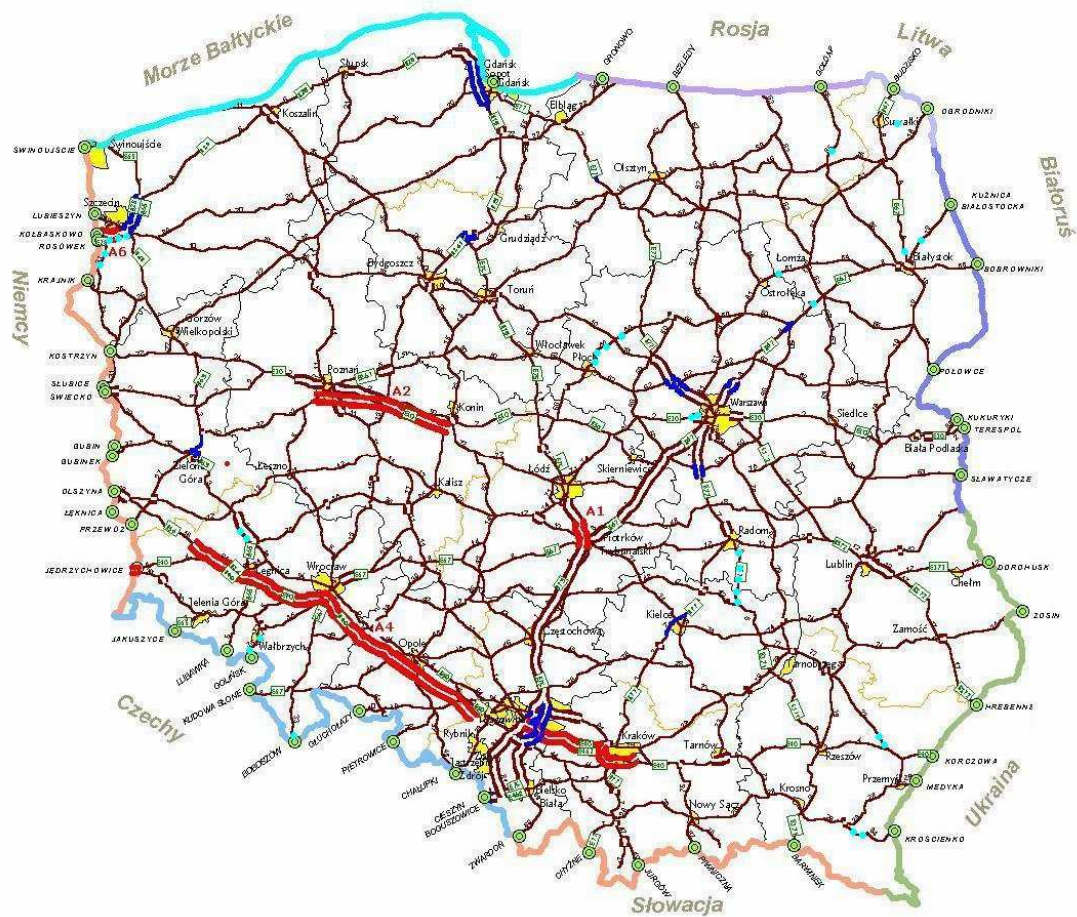
Lokalizację odcinków badawczych na terenie kraju ilustruje rys 10.

W sumie wytypowano 31 odcinków.

Tablica 2 Zestawienie odcinków badawczych do pomiaru ugięć

Lp	Kod odcinka	Nr drogi	Kierunek	Pikietaż odcinka badawczego
GDDKiA WARSZAWA				
1	TDW/01	2	Bronisze „L”	465+600÷465+500
2	TDW/02	2	Bronisze „P”	464+400÷464+500
3	TDW/03	60	Płock÷ Goślice (m. Goślice)	80+380÷80+480
4	TDW/04	60	Goślice ÷ Bielsk (m. Ciachcin)	83+520÷83+620
5	TDW/05	60	Drobin - Ciechanów	117+540÷117+640
6	TDW/06	60	Drobin - Ciechanów	122+100÷122+200
7	TDW/07	61	gr. m. Ostrołęka – gr woj. maz	127+800÷127+900
8	TDW/08	9	Modrzejowice - Iłża	23+540÷23+640
9	TDW/09	9	Skaryszew - Iłża	26+600÷26+700
10	TDW/10	9	Skaryszew - Iłża	28+280÷28+380
11	TDW/11	9	Skaryszew - Iłża	30+600÷30+700
12	TDW/12	9	Iłża - Brody	40+900÷41+000
GDDKiA BIAŁYSTOK				
13	TDB/14	8	Ostrów Maz – Zambrów (przed.m Żabikowo)	567+380÷567+480
14	TDB/16	19	Białystok - Kuźnica	44+600 ÷ 44+500
15	TDB/17	8	Białystok - Augustów	662+340 ÷ 662+440

16	TDB/18	653	Poćkuny – Bereźniki	37+200 ÷ 37+300
17	TDB/19	65	Olecko - Ełk	54+580 ÷ 54+680
GDDKiA RZESZÓW				
18	TDR/20	77	Wólka Pełkińska - Jarosław	124+520÷124+620
19	TDR/21	77	Wólka Pełkińska - Jarosław	126+800÷126+900
20	TDR/22	84	Zagórz - Lesko	10+400÷10+500
21	TDR/23	84	Zagórz - Lesko	11+600÷11+700
GDDKiA WROCŁAW				
22	TDWr/24	33	Międzylesie – gr. państwa	40+400 ÷ 40+500
23	TDWr/25	35	gr. państwa - Mieroszów	2+200 ÷ 2+300
24	TDWr/26	35	Mieroszów - Wałbrzych	11+000 ÷ 11+100
25	TDWr/27	3	Lubin(Przejście 1)	367+400 ÷ 367+500
26	TDWr/28	3	Lubin(Przejście 2)	368+200 ÷ 368+300
GDDKiA SZCZECIN				
27	TDS/29	A-6	Od granicy państwa	1+440 ÷ 1+540
28	TDS/30	A-6	Od granicy państwa - Międzyodrze	7+460 ÷ 7+560
29	TDS/31	A-6	Od granicy państwa	11+120 ÷ 11+220
30	TDS/32	31	Chojna	22+600 ÷ 22+700
31	TDS/33	31	Chojna	24+600 ÷ 24+700



Rys 10 Rozmieszczenie odcinków badawczych na terenie Polski

- – odcinek badawczy pomiaru ugięć sprężystych

6. Uruchomienie badań terenowych

Badania terenowe na odcinkach badawczych rozpoczęto od wyznaczenia odcinków na wcześniej wytypowanych drogach. Z dłuższych odcinków za pomocą badań ugięć FWD wyznaczono 100m odcinki najbardziej jednorodne. W ten sposób po raz pierwszy zostały przebadane wszystkie odcinki we wrześniu tego roku.

W trakcie badań FWD oznakowano odcinki:

Opisując je symbolem identyfikacyjnym – oznaczenie literowe - TD, pierwsza litera nazwy województwa i numer kolejny odcinka badawczego (opis na początku odcinka wymalowany farbą) np.: TDW/01

Cykliczne badania ugięciomierzem belkowym realizowano we współpracy z laboratoriami terenowymi z Wrocławia, Szczecina, Białegostoku, Rzeszowa i Warszawy. Pierwszy cykl badań rozpoczęto w październiku na odcinkach szczecińskich..

W czasie pierwszego cyklu badań wyznaczono punkty pomiarowe co 10m na każdym odcinku badawczym o długości 100m.

W miejscach pomiaru wykonano stałe znaczniki kreskowe farbą.

W trakcie każdego badania ugięć pobierane są próbki gruntu podłoża gruntowego do badań wilgotności naturalnej.

Karty z badań odcinków są zamieszczone w Załączniku nr 4 - Wyniki badań ugięć odcinków badawczych – karty badań.

7. Analiza i weryfikacja uzyskanych wyników pomiarów

Wstępna analiza ugięć nawierzchni została opracowana dla ugięć teoretycznych i uzyskanych z wyników z badań na odcinkach doświadczalnych. Przeprowadzono także analizę doświadczeń, w badaniach sezonowości ugięć nawierzchni, w różnych krajach na podstawie literatury.

Analiza teoretyczna

Analiza teoretyczna wykonana zostanie 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.

Obliczenie teoretycznych ugięć badanych przy użyciu ugięciomierza belkowego

Ugięcia nawierzchni oblicza się według wzoru:

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

gdzie:

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

1,5 – współczynnik dla obciążenia nawierzchni kołem pojazdu,

q – obciążenie nawierzchni w [MPa],

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

E_2 – moduł sprężystości gruntu podłoża w [MPa],

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

Do 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:

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

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,

ω_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

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

E₂ – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

ω_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:

E₁ – 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:

E₂ – 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

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

E₂ – moduł sprężystości gruntu podłoża 12 MPa,

ω_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

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

E₂ – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

ω_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:

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

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],
- E₂ – moduł sprężystości gruntu podłoża w [MPa],
- ω_z – współczynnik zależny od stosunku E₁/E₂ 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:

E₁ – 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,

ω_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 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_2 – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

ω_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,

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:

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

dla:

q – obciążenie nawierzchni płytą sztywną 0,7 MPa,

a – promień płyty obciążającej – 0,15m:

E_2 – moduł sprężystości gruntu podłoża 12 MPa,

ω_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:

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

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_2 – moduł sprężystości gruntu podłoża 65 MPa,

ω_z – 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 tablicach 3 i 4 zestawiono wyniki obliczeń ugięć teoretycznych nawierzchni z granicznymi wartościami ich zmienności dla modelu badań ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD

Tablica 3 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	1,95
2	Konstrukcja podatna II (KR6)	0,71	0,49	1,45

Tablica 4 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	2,10
2	Konstrukcja podatna II (KR6)	0,475	0,343	1,38

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 5 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.

Z przeprowadzonych badań uzyskane wyniki zapisane w formularzach są archiwizowane. Wyniki badań polowych ugięć ugięciomierzem belkowym i urządzeniem FWD są zestawione w Załączniku nr 4 - Wyniki badań ugięć odcinków badawczych – karty badań. Następnie wyniki są analizowane i weryfikowane.

Analiza i weryfikacja uzyskanych wyników badań obejmuje:

A) Analizę zmiany wielkości ugięć w zależności od:

- I) terminu badania (miesiąca),
- II) konstrukcji nawierzchni,
- III) rodzaju i wilgotności podłoża gruntowego,
- IV) temperatury warstw bitumicznych.

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)

Na przykład korekta zgodnie z zależnością:

$$\alpha = 1 + 0,01(20 - T)$$

gdzie:

α - korekta ugięć zależna od temperatury badania,

T- temperatura warstw bitumicznych w trakcie badania.

8. Literatura

- 1) „Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych” GDDP, Warszawa 1997.
- 2) „Katalog Wzmocnień Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych” 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, 6th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Lisbon, Portugal 2002