



**WSPÓŁCZESNE PROBLEMY  
INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

**Małgorzata Biniak-Pieróg**

**WPLYW ELEMENTÓW  
AGROMETEOROLOGICZNYCH  
NA ZMIENNOŚĆ ZASOBÓW WODNYCH  
GLEBY W PÓLROCZU ZIMOWYM**

**VII**



**Wrocław 2008**

*Autor*  
Małgorzata Biniak-Pieróg

*Opiniodawca*  
prof. zw. dr hab. Czesław Koźmiński

*Redaktor merytoryczny*  
dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski

*Opracowanie redakcyjne*  
mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz

*Korekta:*  
dr Ewa Jaworska  
Janina Szydłowska

*Łamanie*  
Alina Gebel

*Projekt okładki*  
Krzysztof Wyszatycki

Monografie LVI

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008

ISSN 1898–1151  
ISBN 978–83–60574–29–4

**WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU**

**Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki**  
**ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel. 071 328–12–77**  
**e-mail: wyd@up.wroc.pl**

---

Nakład 100 + 16 egz. Ark. druk. 8,25  
Druk i oprawa: Wydawnictwo Tekst Sp. z o.o.  
ul. Kossaka 72, 85–307 Bydgoszcz

# SPIS TREŚCI

<b>WYKAZ SYMBOLI UŻYTYCH W PRACY.....</b>	<b>5</b>
<b>1. WSTĘP.....</b>	<b>7</b>
<b>2. PRZEGLĄD LITERATURY.....</b>	<b>8</b>
<b>3. METODYKA BADAŃ.....</b>	<b>16</b>
3.1. Cel pracy.....	16
3.2. Zasada działania techniki TDR.....	17
3.3. Metodyka pomiarów i obliczeń.....	18
<b>4. CHARAKTERYSTYKA BADANEGO OBIEKTU.....</b>	<b>22</b>
4.1. Położenie Obserwatorium Agro i Hydrometeorologicznego.....	22
4.2. Charakterystyka gleb na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego.....	23
4.3. Warunki agrometeorologiczne analizowanych okresów zimowych.....	24
4.3.1. Opady atmosferyczne.....	25
4.3.2. Poziom zwierciadła wody gruntowej.....	26
4.3.3. Temperatura powietrza.....	27
4.3.4. Temperatura gleby.....	28
<b>5. ZMIENNOŚĆ ZASOBÓW WODNYCH GLEBY W OKRESACH ZIMOWYCH.....</b>	<b>33</b>
5.1. Okres zimowy 2002/2003.....	33
5.2. Okres zimowy 2003/2004.....	39
5.3. Okres zimowy 2004/2005.....	45
<b>6. ZALEŻNOŚCI MIĘDZY ZASOBAMI WODNYMI GLEBY A ELEMENTAMI AGROMETEOROLOGICZNYMI.....</b>	<b>53</b>
6.1. Zależności dla zróżnicowanych warstw gleby i powierzchni w kolejnych miesiącach okresu zimowego.....	55
6.1.1. Listopad.....	55
6.1.2. Grudzień.....	57
6.1.3. Styczeń.....	59

6.1.4. Luty .....	61
6.1.5. Marzec .....	64
6.1.6. Kwiecień .....	66
6.2. Zależności dla zróżnicowanych warstw gleby i powierzchni w okresie listopad-grudzień .....	68
6.3. Podsumowanie uzyskanych wyników .....	70
<b>7. WERYFIKACJA UZYSKANYCH RÓWNAŃ REGRESJI OPISUJĄCYCH ZASOBY WODNE GLEBY NA MATERIALE NIEZALEŻNYM .....</b>	<b>108</b>
7.1. Analiza błędów względnych oszacowanych zasobów wodnych gleby .....	109
7.2. Analiza estymacji błędów otrzymanych równań regresji .....	115
<b>8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI .....</b>	<b>117</b>
<b>9. LITERATURA .....</b>	<b>119</b>

## WYKAZ SYMBOLI UŻYTYCH W PRACY

- Z – zasoby wodne gleby (mm)
- P – sumy opadów atmosferycznych (mm)
- WG – stany wody gruntowej (cm)
- TP – temperatura powietrza (°C)
- TG1 (TGT1) – temperatura gleby pod powierzchnią nieporośniętą (pokrytą trawą) na głębokości 1÷2 cm (°C)
- TG5 (TGT5) – temperatura gleby pod powierzchnią nieporośniętą (pokrytą trawą) na głębokości 5 cm (°C)
- TG10 (TGT10) – temperatura gleby pod powierzchnią nieporośniętą (pokrytą trawą) na głębokości 10 cm (°C)
- TG20 (TGT20) – temperatura gleby pod powierzchnią nieporośniętą (pokrytą trawą) na głębokości 20 cm (°C)
- TG50 (TGT50) – temperatura gleby pod powierzchnią nieporośniętą (pokrytą trawą) na głębokości 50 cm (°C)
- TG100 (TGT100) – temperatura gleby pod powierzchnią nieporośniętą (pokrytą trawą) na głębokości 100 cm (°C)
- Indeksy od 1 do 15 oznaczają kroki czasowe, za które sumowano lub uśredniano dobowe wartości wybranych elementów agrometeorologicznych
- P15 – sumy opadów atmosferycznych za 15 dni
- TG5 9 – średnia temperatura gleby pod powierzchnią nieporośniętą na głębokości 5 cm za 9 dni
- 2002/2003 (2003/2004, 2004/2005) – okresy zimowe, liczone od 1 listopada do 30 kwietnia roku następnego
- 2002÷2004 (2002÷2005) – okresy łączne, powstałe poprzez połączenie dwóch (trzech) kolejnych okresów zimowych, w celu rozszerzenia przedziału zmienności analizowanych zmiennych
- R – współczynnik korelacji
- $R^2$  – współczynnik determinacji
- $R_p^2$  – poprawiony współczynnik determinacji
- $R_{cz}^2$  – cząstkowy współczynnik determinacji
- SE – standardowy błąd estymacji



## 1. WSTĘP\*

Olbrzymia różnorodność gleb na kuli ziemskiej jest wynikiem działania czynników określanych mianem glebotwórczych. Pośród nich wymienia się klimat, świat roślinny i zwierzęcy, wodę, ukształtowanie terenu oraz czas, jednak o powstaniu gleby decyduje wypadkowa oddziaływania wszystkich tych elementów.

Coraz większą uwagę przywiązuje się do globalnego obiegu wody i roli, jaką wilgotność gleby pełni w relacjach: powierzchnia Ziemi – atmosfera – środowisko. Woda glebowa jako jedna z trzech części składowych gleby jest niezbędna dla jej życia biologicznego. Warunkuje przebieg wielu ważnych procesów, tj. wietrzenie chemiczne, przemywanie prowadzące do przemieszczania się cząstek np. iłu koloidalnego z górnych poziomów do głębszych, bielcowanie, humifikację. Przede wszystkim jednak zapewnia prawidłowy wzrost i rozwój masy roślinnej oraz zwierzęcej [Uggla 1979].

W klimatycznych warunkach Polski w okresie zimowym następuje odtworzenie zużytych podczas wegetacji zasobów wodnych gleby, brak jednak jest informacji dotyczących sposobu i dynamiki ich odtwarzania. Dane na ten temat mają istotne znaczenie nie tylko z punktu widzenia potrzeb wodnych roślin, ale także coraz częściej występujących powodzi wczesnowiosennych. Przy niskich zasobach wodnych gleby w okresie jesienno-wiosennym i stosunkowo niskich opadach, poczynając od jesieni do wiosny, niedobór wody w glebie może być przyczyną posuch glebowych, przeciągających się nierzadko do końca okresu wegetacji.

W celu poznania zagadnień hydrologii glebowej badania wilgotności gleby przeprowadza się na znacznych głębokościach – nawet do 10 metrów, a wiarygodny obraz stosunków wodnych gleby dają wieloletnie badania zmienności jej uwilgotnienia [Rewut 1980]. W literaturze brak jest danych o utracie wody na skutek parowania gleby późną jesienią, a także informacji o ruchu wody w profilu glebowym w okresie zimowym, ze względu na trudności techniczne co do możliwości pozyskiwania wiarygodnych wyników pomiarów wilgotności gleby zimą. Dlatego też wielu autorów podejmuje próby określania i prognozowania pozimowych zasobów wodnych gleby na podstawie wybranych grup elementów agrometeorologicznych [Pasela 1971; Koźmiński 1994; Rozbicki 1997; Szafranski 1997; Żyromski 2001; Biniak 2005]. Bardzo ważną rolę odgrywają również badania mające na celu wykorzystywanie scenariuszy zmian klimatu do określania potencjalnych zmian zasobów wodnych gleby i tworzenie na tej podstawie modeli matematycznych do ich szacowania [Kaczmarek 1994; Iwański 2005]. Pozwalają one na generowanie danych dobowych, cennych choćby ze względu na fakt, że w Polsce wilgotność gleby nie jest objęta standardowymi pomiarami prowadzonymi na stacjach IMGW, a długie i wiarygodne ciągi pomiarowe posiada zaledwie kilka polskich ośrodków badawczych.

---

\* Praca naukowa częściowo finansowana ze środków na naukę w latach 2005 i 2006 jako projekt badawczy nr 2 P06S 009 29.

## 2. PRZEGLĄD LITERATURY

Znajomość zasobów wodnych gleb i umiejętność wpływania na ich przebieg ma kluczowe znaczenie przy racjonalnym gospodarowaniu wodą, która stanowi obecnie ważny problem zarówno dla rolnictwa, jak i przemysłu. Wiedza na temat dynamiki uwilgotnienia gleby jest niezbędna we wszystkich badaniach związanych tematycznie z gospodarką wodną, a zwłaszcza takich, gdzie stopień uwilgotnienia gleby wpływa w decydujący sposób na plonowanie roślin uprawnych.

Istotny element bilansu wodnego stanowi retencja. Jest to ilość wody zgromadzonej i przetrzymywanej w określonym czasie, a w zależności od miejsca jej magazynowania wyróżnia się retencję: leśną, koryt i dolin rzecznych, śnieżną i lodowcową oraz glebowo-gruntową. Właściwości retencyjne gleby zależą od wielkości sił wiązania cząsteczek wody przez glebę. W odniesieniu do rolnictwa szczególne znaczenie spośród właściwości wodnych gleby mają te, które decydują o jej zdolności do zatrzymywania wody, wpływają na ruch wody w kierunku poziomym i pionowym oraz decydują o jej dostępności dla roślin [Uggla 1979]. Źródłem wody glebowej są opady atmosferyczne w różnej postaci, woda podsiekająca z głębszych warstw gleby, woda kondensacyjna, a także woda wprowadzana do gleby w wyniku sztucznych nawodnień. Jej utrata następuje na skutek spływu powierzchniowego, przesiąkania wody w głąb gleby, transpiracji roślin, a także ewaporacji z gleby nieporośniętej lub słabo pokrytej roślinami. Część wody pochodzącej z opadów w ogóle nie dociera do gleby, gdyż jest zatrzymywana przez korony drzew i krzewów. Jednym ze sposobów oceny zasobów wodnych jest klimatyczny bilans wodny, rozumiany jako różnica między opadem a parowaniem [Rojek, Wiercioch 1995; Bac i in. 1999].

W glebie – ośrodku trójfazowym – konfiguracja fazy stałej decyduje o ogólnej porowatości i rozkładzie porów glebowych według ich rozmiarów, zatem warunkuje ona przebieg krzywej retencji gleby, zależnej od wielu czynników, a zwłaszcza tekstury gleby, agregacji, właściwości wierzchniej warstwy gleby oraz zawartości materii organicznej [Walczak 1984; Hillel 1988].

Według Nyca [1994] to właśnie retencja glebowa odgrywa szczególną rolę w bilansie wodnym obszarów rolniczych. Uzyskane wyniki badań świadczą o jej znaczącej roli w bilansie wodnym użytków rolnych, gdzie niedobory opadów wynoszą 150÷250 mm. Poprzez prowadzenie odpowiednich zabiegów agrotechnicznych, agromelioracyjnych i hydrotechnicznych, poprawiających właściwości fizyczno-wodne gleb, można w znaczący sposób zwiększyć wielkość efektywnej retencji użytecznej gleby. Małe urządzenia piętrzące, zlokalizowane na głównych odpływach, mogą korzystnie kształtować zasoby retencji gruntowej, a ich działanie jest najskuteczniejsze na terenach występowania gleb przepuszczalnych organicznych i mineralnych [Nyc, Pokładek 1996].



Miller [1998] opracował oryginalną metodę obliczania wpływu parametrów fizjograficznych na retencjonowanie wody, a otrzymane wartości wag oddziaływań wybranych elementów wskazują na dominujący wpływ użytkowania terenu na potencjalne zdolności retencyjne.

Kostrzewa i współautorzy [2001] prowadzili badania m.in. nad oceną skuteczności zwiększania zapasów wody w glebie poprzez hamowanie odpływów drenarskich. Powstrzymanie odpływu z sieci drenarskiej i oddziaływanie na kształtowanie się retencji glebowej możliwe było w latach o średnio mokrych i mokrych okresach wegetacyjnych (1996, 1997). Natomiast w średnio suchych i suchych okresach (1998, 1999), przy małych i równomiernie rozłożonych opadach, praktycznie możliwość taka nie istniała.

Głównym źródłem uzupełniania wyczerpanych zasobów wodnych gleby są opady atmosferyczne. Długotrwały ich brak oraz towarzysząca im zwykle stosunkowo wysoka temperatura zwiększa parowanie terenowe, co prowadzi w pierwszej kolejności do tzw. suszy atmosferycznej, a w konsekwencji do wysychania gleby – suszy glebowej. Zwiększający się niedostatek wilgoci w warstwie korzeniowej doprowadza do wędnięcia roślin, co skutkuje dużymi stratami w gospodarce, a zwłaszcza w rolnictwie [Dubicki i in. 2002]. Występują również zjawiska diametralnie odmienne, np. na początku wiosny, kiedy to nadmiar wody w profilu glebowym powoduje powodzie, ponieważ naturalny proces, jakim jest parowanie, funkcjonuje w ograniczonym zakresie. Według Koźmińskiego i Michalskiej [1995] coraz częstsze susze glebowe od kwietnia do czerwca powodowane są głównie wyczerpywaniem zapasów wody w glebie w okresie zimowym.

Retencjonowanie wody w okresach nadmiernych opadów zachodzi przede wszystkim w warstwie podornej, której górna część jest zazwyczaj nadmiernie zagęszczona. Może to prowadzić do obniżania zdolności retencyjnej gleby, a w konsekwencji do ograniczania odnawiania się retencji i dostępności wody glebowej dla roślin. W pracy Cieślińskiego i Miatkowskiego [1995] dokonano analizy możliwości kształtowania retencji glebowej i jej dostępności dla roślin za pomocą zabiegów agrotechnicznych, takich jak głębokie spulchnianie i orka melioracyjna. Zabiegi te zmniejszają zagęszczenie w warstwie podornej i poprawiają zdolności retencyjne gleb. Wpływają również na proces odnawiania się retencji i jej dostępność dla roślin.

Problem możliwości odnawiania się zasobów wodnych gleb podjęli Kostrzewa z zespołem [1994]. Badania te obejmowały warunki meteorologiczne, wilgotność gleby do głębokości 100 cm, poziomy wód gruntowych oraz wpływ stanu wody w rzece Odrze na głębokość ich zalegania. Określono także wpływ zasilania opadami atmosferycznymi na wielkość retencji w profilu gleby.

Dynamiką zasobów wodnych gleby sterują przede wszystkim mało zależne od człowieka czynniki agrometeorologiczne, dlatego też od kilkudziesięciu lat podejmowane są w licznych ośrodkach badawczych próby oceny wpływu tych właśnie elementów na kształtowanie się zasobów wodnych gleb. Znajomość dynamiki uwilgotnienia gleby dotyczy głównie okresu wegetacji i roślin uprawnych oraz potrzeb ich nawadniania w różnych fazach rozwojowych. Stanowi to temat wielu prac badawczych [Baranowski i in. 1994; Kędziora i in. 1997; Michalska, Raszka 1999; Koźmiński, Nidzgorzka-Lencewicz 2002; Robock i in. 2005].

Marcilonek [1962] wyróżnił dwa okresy: półrocze letnie, od kwietnia do września włącznie, podczas którego odbywa się głównie wyczerpywanie zasobów wodnych gleby oraz półrocze zimowe, od października do marca, kiedy następuje magazynowanie wilgoci w glebie. Według autora pod koniec półrocza zimowego dochodzi do zrównoważenia rocznego bilansu wodnego. Straty wody glebowej w okresie wegetacji zależne są od ilości i rozkładu opadów atmosferycznych i pośrednio związanego z nimi procesu parowania. Ilość zgromadzonej wody w glebie w okresie zimowym uzależniona jest od rodzaju rośliny w okresie wegetacji i zasobów wodnych gleby jesienią po jej zakończeniu. Chudecki i współautorzy [1971] – aby pokazać istniejące związki pomiędzy opadami atmosferycznymi a zmianami uwilgotnienia gleby lekkiej – dokonali podziału na grupy ich wielkości jako liczbę dni z opadem o określonych wielkościach w przedziałach od 0,1÷2,5 mm do >30,0 mm w okresie od kwietnia do października. W pracy rozpatrywano także kształtowanie się opadów nocnych na tle dobowych w poszczególnych miesiącach. Stwierdzono, że opady dobowe wielkości do 2,5 mm nie powodują istotnego wzrostu wilgotności gleby lekkiej. Dopiero opady atmosferyczne powyżej 7,5 mm przyczyniają się do wyraźnego przyrostu uwilgotnienia badanych gleb na głębokości 30÷50 cm. Jaworski [1970] do oceny zmian uwilgotnienia profilu glebowego bez roślin wykorzystał, oprócz opadów atmosferycznych, temperaturę powietrza oraz niedosyt wilgotności powietrza. Autor podjął się także modelowania zasobów wodnych gleby w strefie aeracji, w którym wykorzystał między innymi parowanie potencjalne oraz skorygowany opad atmosferyczny [Jaworski 1991].

Wyniki badań Paseli [1971] nad wpływem elementów meteorologicznych, takich jak temperatura powietrza, niedosyt wilgotności powietrza, opad atmosferyczny, temperatura gleby, na kształtowanie się wilgotności w glebie pod rośliną uprawną i pod ugorem potwierdzają kompleksowe oddziaływanie tych czynników na dynamikę uwilgotnienia gleby. Wpływ opadów widoczny był w kolejnej dekadzie, jak się okazało, to opad modyfikował oddziaływanie temperatury i niedosytów wilgotności powietrza na dynamikę zapasów wody glebowej, a największe różnice w zapasach wody pod analizowanymi powierzchniami obserwowano w warstwie 25÷50 cm.

Zyromski [1984, 1990] dokonał oceny rzeczywistego przychodu wody z opadów atmosferycznych, a także oceny zmian wilgotności różnych warstw gleby na tle tego czynnika. Okresy o równomiernie rozłożonych opadach powyżej 10 mm za dekadę i małym parowaniu dawały rzeczywisty przychód wody, zależny w znacznym stopniu od nateżenia opadu.

Na terenach bogato urzeźbionych uwilgotnienie wierzchnich warstw gleby uzależnione jest nie tylko od przebiegu warunków meteorologicznych, ale także od położenia profilu w rzeźbie terenu. Ważną rolę w obiegu wody w tych obszarach spełniają sploty powierzchniowe i podpowierzchniowe [Kosturkiewicz, Szafrąński 1984; Szafrąński 1992]. Szafrąński [1997] podczas wieloletnich badań przeprowadził analizę przebiegu warunków meteorologicznych oraz uwilgotnienia gleb w roku suchym, średnim i mokrym dla trzech profili położonych na wierzchołku wzniesienia, na zboczu oraz w rynnie terenowej u jego podnóża.

Badania nad wpływem głębokości zalegania wody gruntowej na kształtowanie się uwilgotnienia wierzchnich warstw gleby stanowią tematykę wielu prac naukowych

[Bohne 1970; Kowalkowski 1977; Bac, Żyromski 1990; Vinnikov i in. 1996; Beldring i in. 1999; Olszewska, Pływaczyk 1999; Żyromski 2001; Łyczko i in. 2002; Orzepowski i in. 2005].

Ze względu na brak sieci pomiarowej wilgotności gleby oraz na pracochłonność pomiarów zaczęto posługiwać się wskaźnikiem wilgotności gruntu. Wąsek [1980] dokonała przeglądu metod obliczania stosowanych dość często w prognozach hydrologicznych wskaźnika opadów uprzednich. Na podstawie uzyskanych współczynników korelacji między rzeczywistymi wartościami wilgotności gleby a obliczonymi wskaźnikami za pomocą różnych metod stwierdzono, że wskaźnik ten lepiej charakteryzuje zasoby wodne gleby pod ugorem niż pod trawnikiem, co związane jest z dodatkowym działaniem pokrywy roślinnej, którego nie uwzględniają przyjęte do obliczeń równania.

Rozbicki [1997, 1998] porównał przydatność wskaźników opadu do oceny wilgotności gleby w różnych warunkach klimatyczno-glebowych. Uwilgotnienie gleb ciężkich lepiej obrazują sumy opadów atmosferycznych, a gleb lekkich – wskaźnik opadów uprzednich.

Czynnikami pozwalającymi dokonać wyboru metody pomiaru wilgotności gleby są m.in. jej selektywność, destruktywność, dokładność, ciągłość i rozdzielczość. Kryterium ciągłości spełniają wszystkie te metody, które pozwalają na prowadzenie pomiarów zawsze w tym samym punkcie profilu gleby w sposób nieprzerwany, a kryterium rozdzielczości pozwala mierzyć rozkład wilgotności w profilu glebowym w warstwach o ściśle określonej miąższości. Trudno jest się ustosunkować do kryterium dokładności ze względu na fakt, że gleby uważane za jednorodne – często wykazują naturalny niejednorodny rozrzut właściwości. Przy doborze metody z pewnością za najważniejsze uznać należy kryterium selektywności, które eliminuje konieczność indywidualnej kalibracji pomiarów.

Znane metody pomiaru wilgotności gleb można ogólnie podzielić na bezpośrednie i pośrednie oraz na niszczące i nieniszczące naturalną strukturę gleby. Malicki (1980) dokonał dokładnego przeglądu sposobów pomiaru wilgotności gleby i ich przydatności, wykorzystując również doświadczenie i wyniki badań zawarte w bogatej literaturze autorstwa innych badaczy tego zagadnienia. Z dotychczas stosowanych bezpośrednich metod grawimetrycznych wymienić należy następujące: suszarkowa, ekspresowa, termostatowa, alkoholowa, imersyjna i prasowana, spośród których najpowszechniej stosowana była metoda suszarkowa. Jest ona pracochłonna, ale nieskomplikowana i wymagająca niewielkich nakładów, powszechnie uważana za metodę wzorcową w stosunku do pozostałych. Jednak konieczność pobierania próbek w coraz to innym miejscu wpływa w znacznym stopniu na zróżnicowanie wilgotności gleby, spowodowane zmianami jej tekstury. Ponadto stosowanie tej metody w okresie zimowym jest mało wiarygodne i sprawia trudności już przy samym poborze próbek z przemarzniętej na znaczne głębokości gleby.

Pośrednie metody, wykorzystujące związek pomiędzy wilgotnością a dowolną fizyczną właściwością gleby lub niewodnego ekstraktu gleby, uważa się za niszczące wtedy, gdy pomiar wymaga pobrania próbki. W pośrednich nieniszczących metodach pomiaru wilgotności gleb czujniki pomiaru wprowadza się do gleby na stałe (stacjonarne) lub tylko na czas wykonywania pomiaru (niestacjonarne). Ważną grupę stanowią metody

radiometryczne, których zasada działania oparta jest na oddziaływaniu energii promieniowania fal elektromagnetycznych oraz energii promieniowania korpuskularnego i wilgotnej gleby.

Dane dotyczące wilgotności gleby pochodzą zazwyczaj z pomiarów punktowych i są reprezentatywne tylko dla bardzo małych obszarów. Poznanie jej przestrzennego rozkładu ma istotne znaczenie dla meteorologii, hydrologii i rolnictwa [Molga 1969]. Wykorzystuje się w tym celu techniki radarowe [Overmeeren i in. 1997; Meade i in. 1999; Moeremans, Dautrebande 2000; Stoffregen i in. 2002; Zribi, Dechambre 2002] oraz satelitarne [Barański, Mrugalski 1988; Dąbrowska-Zielińska 1991; Seyfried 1998; Prigent i in. 2005]. Prowadzone są również badania mające na celu wykorzystanie modeli pozwalających na szacowanie wilgotności gleby w skali wielkoobszarowej. Polegają one na przewidywaniu wilgotności gleby na podstawie danych klimatycznych, właściwości fizycznych gleby, topografii terenu, pokrywy roślinnej oraz ewapotranspiracji. Takie badania prowadziło wielu naukowców [m.in. Robock i in. 1995; Hanson i in. 1998; Evans i in. 1999; Muttiah, Wurbs 2002; Pellenq i in. 2003; Starks i in. 2003]. Z wykorzystanych w pracach modeli należy wymienić RZWQM (Root Zone Water Quality Model), SSiB (Soil Simple Biosphere), SWAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer), SWBCM (Soil Water Balance Capacity Model).

Srinivasan i współautorzy [2000] podjęli próbę szacowania wilgotności gleby, stosując porównawczo sześć poprawionych modeli AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project I), a symulowane wartości porównywano z równoległe prowadzonymi bezpośrednimi pomiarami wilgotności gleby. Nie zaobserwowano polepszenia poprawności szacowania wilgotności gleby, a ponadto większość modeli wykazywała silną tendencję do „przesuszenia” gleby w miesiącach letnich – globalnie i regionalnie.

Jedną z nowocześniejszych metod jest pomiar wilgotności gleby z zastosowaniem reflektometrii domenowo-czasowej (Time Domain Reflectometry). Metoda ta należy do grupy metod elektrycznych, a próby elektrycznego pomiaru wilgotności gleby są nieustannie podejmowane od końca XIX w. [Arble, Shaw 1959; Thomas 1966; Chernyak 1967; Malicki 1980, 1990; Dean i in. 1987; Malicki, Skierucha 1989, 2002]. Okazywały się one jednak nieselektywne. W latach 20. ubiegłego stulecia zaczęła powstawać reflektometria domenowo-czasowa, nazywana często „radarem kablowym”. Pozwalała ona na lokalizację uszkodzeń linii telekomunikacyjnych, energetycznych i innych, ponieważ wykrywała wszelkie nieciągłości danego układu [Oliver, Cage 1971].

Zasada działania TDR polega na wymuszaniu impulsu fali elektromagnetycznej, która na wejściu do badanego ośrodka ulega odbiciu, oraz na rejestracji momentu powrotu osłabionego impulsu odbitego. Wartość osłabienia odbitej fali, która powróciła, uzależniona jest przede wszystkim od zawartości wody w glebie, jak również od stężenia elektrolitów i zawartości części ilastych [Topp i in. 1980].

Pierwsza udana próba zastosowania TDR do pomiaru wilgotności gleby miała miejsce na początku lat 70. [Davis, Chudobiak 1975]. Podobne badania prowadzone przez ośrodki naukowe krajowe i zagraniczne pociągnęły za sobą wzrost zainteresowania tą metodą do pomiaru wilgotności gleb [Topp i in. 1982; Dasberg, Dalton 1985; Malicki i in. 1992; Malicki, Skierucha 2001, 2002; Roth i in. 1992; Walczak i in. 1993; Malicki 1999; Skierucha, Malicki 2004; Witkowska-Walczak i in. 2004]. Znajduje ona zastosowanie nie tylko w przypadku gleb mineralnych. Według Oleszczuk z zespołem

[1998] – umożliwia ona ciągły i niedestruktywny pomiar wilgotności gleby torfowo-murszowej, wymaga jednak każdorazowo wykonania krzywej kalibracji, podczas gdy dla gleb mineralnych jako uniwersalną krzywą przyjmuje się równanie Topp'a i współautorów [1980]. Próbę statystycznego porównania wiarygodności wyników wilgotności gleby uzyskanych metodą grawimetryczną oraz TDR podjęto w pracy Baranowskiego i współautorów [1994], a także Łyczki i współautorów [2000]. Naukowcy uzyskali w swych badaniach satysfakcjonującą zgodność wyników uzyskanych obiema metodami. Różnice w uzyskanych wartościach wilgotności gleby metodą suszarkowo-wagową oraz z zastosowaniem techniki TDR nie przekraczały kilku procent i zdaniem autorów mogły być spowodowane dokładnością urządzenia pomiarowego, zmianami właściwości fizycznych gleb w czasie suszenia (kurczenia) i in. Natomiast sama sonda TDR może być stosowana powszechnie w celu określania aktualnego uwilgotnienia gleby. Liczne prace potwierdzają szeroką funkcjonalność tej metody [Lundberg 1997; Stein i in. 1997; Malicki, Kotliński 1998a, 1998b; Mastroilli i in. 1998; Thomsen i in. 2000; Baruah, Hasegava 2001; Sparks i in. 2001; Janik 2004, 2005; Skierucha, Walczak 2005; Wraith i in. 2005]. Może mieć ona zastosowanie do oznaczania wilgotności, zasolenia oraz temperatury tej samej próbki gleby, wilgotności zbóż i drewna, a także innych materiałów o teksturze porowatej, do szacowania opadu efektywnego i spływu powierzchniowego oraz określania ewapotranspiracji, ponadto do oceny zawartości wody w śniegu, określania ilości wody pochodzącej z roztopów i zagrożenia lawinowego.

Niewiele natomiast wiadomo na temat dynamiki odnawiania się zasobów wodnych gleby w okresie zimowym, ponieważ brak bezpośrednich pomiarów wilgotności gleb. Wynika to z trudności technicznych, na jakie napotyka się podczas prowadzenia badań oraz ograniczeń wynikających ze stosowania głównie znanych metod pomiaru.

Wiedza o wiosennych zasobach wodnych gleby jest szczególnie istotna przy ocenie stadium początkowego wegetacji roślin [Molga 1969]. W celu uniknięcia pracochłonnych oraz trudnych w interpretacji przestrzennej badań punktowych w okresie zimowym i wczesnowiosennym – prowadzone są badania nad oceną zasobów wodnych gleby zimą i wiosną metodami pośrednimi. Polegają one na uzależnianiu zasobów wodnych gleby od elementów agrometeorologicznych pochodzących z okresów poprzedzających terminy prognoz. Wyniki badań dotyczących tego problemu znajdują swoje odzwierciedlenie w wielu publikacjach naukowych [Molga 1969; Duda, Friedrich 1976; Koźmiński 1994; Atlas ... 1995; Żyromski 1996, 2001, 2003; Biniak i in. 2003; Koźmiński, Michalska 2005a, 2005b]. Autorzy prac oparli swoje poszukiwania na pomiarach wilgotności gleby z różnych warstw i powierzchni. Prognozy sporządzano dla odmiennych kroków czasowych (dekada i miesiąc). Do analiz, jako zmienne opisujące zasoby wodne, wykorzystywano m.in. elementy agrometeorologiczne w postaci sum opadów atmosferycznych, liczby dni z opadem w określonych przedziałach, usłonecznienia, niedosytu wilgotności powietrza, temperatury powietrza, stanów wody gruntuwej i temperatury gleby. Duża zmienność miesięcznych sum opadów jesienią i zimą była, oprócz temperatury gleby i powietrza, główną przyczyną znacznych różnic poziomych zapasów wody w glebie na koniec marca, zwłaszcza w warstwie do głębokości 50 cm. Dobre prognozy zapasów wody użytecznej w warstwach gleby lekkiej do głębokości 50, 70 i 100 cm uzyskano na koniec lutego, dostateczne na koniec stycznia,

a w latach ekstremalnych – orientacyjne. Najczęściej powtarzającymi się okresami, dla których otrzymano najwyższe współczynniki korelacji między częstościami sum dobowych opadów atmosferycznych i zasobami wodnymi gleby, były kolejno: styczeń, grudzień, marzec.

Nidzgorska-Lencewicz [2005], podjęła próbę wytypowania kompleksu głównych czynników meteorologicznych, pozwalających określać poziomowe zasoby wody w glebie nieporośniętej. Według autorki wielkość i zmienność zimowej retencji wody w glebie najsilniej determinują warunki termiczne powietrza i gleby, a poziomowe zasoby można określać za pomocą standardowych danych meteorologicznych z okresów dekadowych, jak i okresów dłuższych, co najmniej trzydekadowych.

Bac i Żyromski [2005], jako materiał wyjściowy do oceny zasobów wodnych gleby w dorzeczu nizinnej rzeki Widawy w kwietniu i w maju, wykorzystali zasoby wodne gleby w warstwie 0÷100 cm z tych miesięcy oraz opady atmosferyczne i stany wód gruntowych z okresu zimowego, liczonego od 1 listopada roku poprzedniego do kwietnia roku następnego. Autorzy wskazują na możliwość wykorzystania sum miesięcznych opadów atmosferycznych i średnich miesięcznych stanów wód gruntowych z kolejnych miesięcy okresu zimowego. Alternatywnym rozwiązaniem jest wykorzystanie sum opadów atmosferycznych i średnich stanów wód gruntowych wyliczanych narastająco, od początku przyjętego okresu zimowego do pośredniego wyznaczenia zasobów wodnych gleby na wiosnę pod powierzchnią nieporośniętą i trawnikiem.

Innym łatwo dostępnym elementem meteorologicznym, przydatnym do prognozowania zasobów wodnych gleby na wiosnę, może być temperatura powietrza, nie tylko w klasycznej postaci średniej, ale również jako sumy lub częstości w zadanych przedziałach wartości. Biniak i współautorzy [2005, 2007] wykazali, w oparciu o uzyskane równania regresji wielokrotnej, że parametr ten, w postaci liczby dni w dekadzie z określonym przedziałem temperatur powietrza, najlepiej opisuje zasoby wodne gleby wiosną. Uwzględnienie wszystkich trzech form temperatury, jako danych wejściowych do generowania równań regresji, pozwala na uzyskanie zależności zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą oraz trawnikiem od temperatury powietrza o wartościach współczynników determinacji powyżej 50%.

Biniak [2004] przeprowadziła ocenę zmienności zasobów wodnych gleby dla warstw 0÷5, 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm w okresie zimowym 2002/2003 pod powierzchnią nieporośniętą i trawnikiem, w oparciu o opady atmosferyczne i temperaturę gleby na głębokości 1÷2 cm, dla trzech kroków czasowych: doby, pentady, dekady. W tym celu wykorzystano dobowe wartości wilgotności gleby, mierzonej z zastosowaniem techniki TDR, która według Rydén'a [1986] daje możliwość wiarygodnego pomiaru wilgotności gleby w okresie zimy. Dla większości analizowanych warstw pod powierzchnią nieporośniętą zarówno dla opadu, jak i temperatury gleby najwyższe wartości współczynników determinacji uzyskano za okres dekady. Podobnie dla trawnika, z wyjątkiem powierzchniowej warstwy gleby (0÷5 cm), najwyższe zależności między zasobami wodnymi gleby a jej temperaturą na głębokości 1÷2 cm obliczono dla dekady. W przypadku opadu dla warstw 0÷5, 0÷20 i 0÷60 cm najlepsze wyniki uzyskano dla okresu pentady, dla warstw 0÷40 i 0÷80 – dekady, a dla warstwy 0÷100 cm – doby.

Iwański [2005] ocenił możliwość wykorzystania lokalnych scenariuszy zmian klimatu do określenia potencjalnych zmian w zasobach wodnych gleb aluwialnych lekkich, szacowanych na początek wiosny do roku 2050. Dzięki zastosowaniu modeli symulacyjnych możliwe było szacowanie zasobów wodnych gleby na wiosnę dla lat suchych i mokrych, co w naturalnych warunkach jest bardzo trudne do przeprowadzenia.

Powyższy przegląd literatury nie wyczerpuje w pełni tematyki podjętej w pracy. Problem oceny zasobów wodnych gleby, mimo że podejmowany jest nieprzerwanie od kilkudziesięciu lat, wciąż pozostaje aktualny. Znajomość zdolności retencyjnych gleb, trendów czasowych czy okresowości zmian retencji stanowi ważny składnik kompleksowego monitoringu środowiska i ma znaczenie nie tylko poznawcze, ale przede wszystkim użytkowe.

## 3. METODYKA BADAŃ

### 3.1. Cel pracy

Badania przeprowadzono, aby ocenić zmienność zasobów wodnych gleby w okresie zimowym na podstawie wybranej grupy elementów agrometeorologicznych pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą, dla sześciu warstw gleby, przy zróżnicowanych krokach czasowych.

Dla uzyskania powyższego celu postawiono następujące hipotezy robocze:

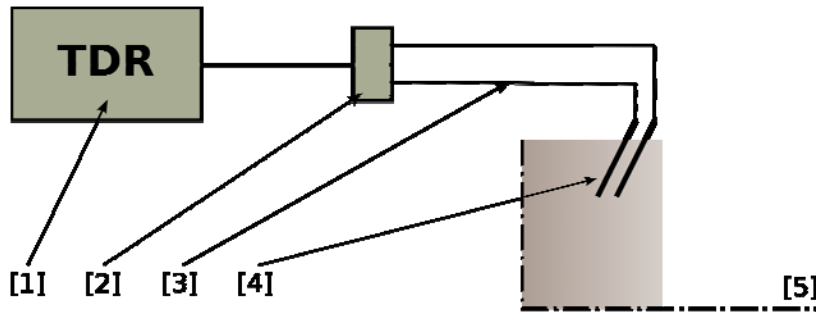
1. Czy możliwe jest wykorzystanie wybranej grupy elementów agrometeorologicznych do opisu zasobów wodnych gleby w okresie zimowym, biorąc pod uwagę zróżnicowanie użytkowania powierzchni, warstw gleby i kroków czasowych?
2. W jakim stopniu zróżnicowanie pokrycia powierzchni i zwiększanie miąższości warstwy gleby wpływa na dobór zmiennych i jakość opisu zasobów wodnych gleby?
3. W jakim stopniu dane agrometeorologiczne, pochodzące z poszczególnych miesięcy i całych okresów zimowych, różnicują możliwość oceny zasobów wodnych gleby?
4. Które z czynników agrometeorologicznych odgrywają dominującą rolę i z jakiego okresu pochodzą?

Dla zrealizowania założonego w pracy celu wykorzystano wyniki codziennych pomiarów wilgotności gleby z zastosowaniem techniki TDR, wykonywanych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu-Swojcu. Pomiary wilgotności gleby prowadzono pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą, które w agrometeorologii przyjęto jako standardowe [Janiszewski 1988]. W przypadku powierzchni nieporośniętej można z dużym prawdopodobieństwem zakładać, że zasoby wodne gleby w zdecydowany sposób zależą od czynników agrometeorologicznych, co stanowi tematykę badawczą wielu prac [Bac, Żyromski 1984; Aslyng, Hansen 1985; Tansey i in. 1999; Nidzgorska-Lencewicz 2004; Biniak 2005]. Ze względu na dużą ilość użytków zielonych wielu autorów prowadziło także badania nad zasobami wodnymi dla powierzchni pokrytej trawą [Jaworski 1970; Pasela 1971; Żyromski 1990, 2001, 2003; Biniak 2004].



### 3.2. Zasada działania techniki TDR

Zasadą działania tej metody jest pomiar prędkości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej o częstotliwości powyżej 50 MHz. Prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej wzbudzonej przez TDR zależy od stałej dielektrycznej ( $K_a$ ) rozpatrywanego ośrodka. Wartość tej stałej zależy od jego struktury molekularnej i dla wody wynosi ona 81, dla fazy stałej gleby 3÷8, a dla powietrza 1. Woda, ze względu na fakt, że ma największą wartość  $K_a$ , wpływa decydująco na wielkość stałej dielektrycznej badanej gleby. Zasadę reflektometrycznego pomiaru prędkości impulsu elektromagnetycznego w glebie ilustruje rys. 1.



**Rys. 1.** Zasada reflektometrycznego pomiaru prędkości impulsu elektromagnetycznego w glebie: 1 – miernik TDR, 2 – walec mocujący, 3 – para przewodów, 4 – elektrody, 5 – gleba

**Fig. 1.** The rule of reflectometric measurement of electromagnetic impulse velocity: 1 – TDR device, 2 – connector, 3 – coax cable, 4 – sensor – parallel waveguides, 5 – soil

Do gleby wprowadza się czujniki (sondy), które wykonane są z dwóch równoległych, niez izolowanych metalowych prętów. Czujnik przesyłowy połączony jest z jednostką pomiarową TDR (1) za pomocą kabla koncentrycznego. Generator, znajdujący się w jednostce pomiarowej, wytwarza i wysyła impulsy fali elektromagnetycznej, która przechodząc przez walec mocujący (2), doznaje wzrostu napięcia na skutek różnicy między wartościami stałych dielektrycznych kabla i walca mocującego. Następnie fala przemieszcza się wzdłuż zrównoważonej pary przewodów (3) aż do wejścia w glebę. Tu następuje odbicie dużej porcji sygnału w kierunku generatora, co widoczne jest poprzez spadek napięcia. Pozostała część fali przemieszcza się w głąb rozpatrywanej gleby wzdłuż elektrod (4). Po osiągnięciu przez falę końca elektrod następuje zasadnicze jej odbicie i powrót do generatora [Cassel i in. 1994; Malicki 1999]. Wartość osłabienia odbitej fali zależy od zawartości wody w glebie, a także od stężenia elektrolitów i zawartości części ilastych. Szczegółowe zasady instalacji i metod pomiarowych zawiera instrukcja [Easy test 2000] opracowana przez Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie.

### 3.3. Metodyka pomiarów i obliczeń

Sondy zostały zainstalowane na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego na stałe pod dwiema powierzchniami (nieporośniętą i pokrytą trawą), na sześciu głębokościach profilu glebowego: 5, 20, 40, 60, 80 i 100 cm. Zainstalowane sondy nie niszczą tekstury gleby oraz nie zaburzają ruchu wody i ciepła w glebie. Badania nad wilgotnością gleby prowadzono w ciągu trzech okresów zimowych: 2002/2003, 2003/2004 oraz 2004/2005. Wyniki pomiarów z dwóch miesięcy zimowych: listopad i grudzień okresu zimowego 2005/2006 posłużyły do weryfikacji wyprowadzonych równań regresji.

Istnieje wiele sposobów klasyfikacji pór roku [Woś 1999; Piotrowicz 2000; Piotrowicz 2000/2001; Kejna, Uscka 2003]. Piotrowicz [2000] badała złożoność klasyfikacji okresu zimowego. Stwierdziła, że jej przeprowadzanie w odniesieniu do jednego tylko kryterium jest niewystarczające. Dlatego jako okres zimowy potraktowano całe półroczcie zimowe, liczone od początku roku hydrologicznego, to jest od 1 listopada do 30 kwietnia roku następnego.

Pomiary wilgotności gleby prowadzono codziennie podczas porannej obserwacji, w trzech powtórzeniach, za pomocą miernika TDR przyłączanego każdorazowo do sond. Na podstawie codziennych pomiarów obliczano zasoby wody w glebie dla sześciu warstw: 0÷5 cm, 0÷20 cm, 0÷40 cm, 0÷60 cm, 0÷80 cm oraz 0÷100 cm pod obiema analizowanymi powierzchniami wg wzoru:

$$z = \frac{h_0 \cdot W_0}{10} \text{ [mm]}$$

gdzie:

- $Z$  – zapas wody w warstwie gleby [mm],
- $h_0$  – miąższość warstwy [cm],
- $W_0$  – wilgotność (TDR) [%].

Równoległe do badań nad wilgotnością gleby na terenie Obserwatorium prowadzono pomiary wybranych elementów agrometeorologicznych. Do analiz przyjęto:

- dobowe sumy opadów atmosferycznych (P), mierzone standardowym deszczomierzem Hellmanna, którego powierzchnia wlotowa umieszczona była na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu [Janiszewski 1988];
- średnie dobowe wartości temperatury powietrza (TP), liczone zgodnie z obowiązującym od 1996 r. wzorem [Rozporządzenie Dyrektora IMGW 1995]. Temperaturę powietrza mierzono w standardowej klatce meteorologicznej, na wysokości 2 m przy użyciu termometru rtęciowego [Janiszewski 1988];
- średnie dobowe wartości temperatury gleby na głębokościach 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm ( $TG_1$ ,  $TG_5$ ,  $TG_{10}$ ,  $TG_{20}$ ,  $TG_{50}$ ,  $TG_{100}$ ) pod powierzchnią nieporośniętą oraz pokrytą trawą ( $TGT_1$ ,  $TGT_5$ ,  $TGT_{10}$ ,  $TGT_{20}$ ,  $TGT_{50}$ ,  $TGT_{100}$ ), mierzone na głębokości 50 cm, stosując rtęciowe termometry kolankowe, a na głębokości 100 cm przy użyciu termometru wyciągowego [Janiszewski 1988];
- poziom zwierciadła wody gruntowej (WG), mierzony w studziencie obserwacyjnej podczas porannej obserwacji.

Ze względu na sporadyczność występowania pokrywy śnieżnej w okresie prowadzenia badań (2002/2003 – 42 dni, 2003/2004 – 35 dni, 2004/2005 – 44 dni) oraz tylko trzyletni okres ich trwania – w pracy nie uwzględniano tego czynnika meteorologicznego. Na rys. 2a i 2b przedstawiono przykłady różnorodności okresów zimowych. Przeprowadzona przez Żyromskiego i współautorów [2005] analiza tendencji zmian pokrywy śnieżnej dla 39 lat (1965/1966 – 2003/2004) we Wrocławiu – Swojcu udowodniła spadek wielkości pokrywy śnieżnej na przestrzeni lat objętych badaniem zarówno w kolejnych miesiącach, jak i w całym okresie zimowym. Analiza liczby dni z pokrywą śnieżną za pomocą trendów czasowych wykazała, że tylko w listopadzie i kwietniu jest tendencja rosnąca zarówno dla dekad, jak i całych miesięcy. Uzyskane trendy w znakomitej większości przypadków były nieistotne.

**a.**



**b.**



**Rys. 2.** Przykłady różnorodności okresów zimowych (fot. M. Biniak-Pieróg)

**Fig. 2.** Winters' diversity (fot. M. Biniak-Pieróg)

W pracy nie uwzględniano zjawisk związanych z zamarzaniem oraz odwilżami glebowymi. W przyjętej metodyce założono, że temperatura gleby jako czynnik wtórny daje wystarczające informacje o dynamice tych procesów. Ponadto jest ona także wypadkową oddziaływania grubości i długości okresu zalegania pokrywy śnieżnej, przy równoczesnym uwzględnieniu zróżnicowania pokrycia powierzchni.

Na pierwszym etapie przedstawione powyżej elementy agrometeorologiczne uśredniano lub sumowano dla okresów od 1 do 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby. Obliczenia przeprowadzono dla poszczególnych miesięcy okresu zimowego od listopada do kwietnia oraz pełnych okresów zimowych. Analogiczne obliczenia wykonano również dla okresów powstałych poprzez połączenie kolejnych dwóch i trzech okresów zimowych.

Na drugim etapie wyznaczono pojedyncze korelacje pomiędzy zasobami wodnymi gleby, w każdej analizowanej warstwie pod obiema powierzchniami (nieporośniętą oraz pokrytą trawą), a poszczególnymi elementami agrometeorologicznymi, przeliczonymi według sposobu zaprezentowanego w etapie pierwszym. Uzyskane wartości współczynników korelacji dawały informacje o liczbie dni, której dotyczyły sumowane bądź uśredniane dobowe wartości poszczególnych elementów agrometeorologicznych, a która wykazywała istotny związek z zasobami wodnymi gleby. Relacje te wyliczono dla poszczególnych miesięcy oraz okresu od listopada do kwietnia łącznie. Wykonywano je również dla danych wejściowych pochodzących z dwóch i trzech kolejnych okresów zimowych łącznie.

Na trzecim etapie dla każdej warstwy wybrano tylko te zmienne opisujące zasoby wodne gleby, dla których uzyskano istotne korelacje. Ze względu na dużą liczebność zmiennych jednorodnych przeprowadzono dalszą, pośrednią ich selekcję, wykorzystując w tym celu analizę regresji wielokrotnej. Do realizacji tego zadania wykorzystywano program komputerowy STATISTICA [StatSoft 1997].

W trakcie prowadzonej selekcji nie eliminowano istotnych interakcji pomiędzy zmiennymi opisującymi, np. pomiędzy temperaturą powietrza i gleby, temperaturą gleby na różnych głębokościach bądź stanami wody gruntowej i sumami opadów atmosferycznych. Podyktowane to było faktem, że badania nie dotyczyły wyizolowanych warstw gleby, ale całego profilu z narastającą miąższością analizowanej warstwy gleby. Na skutek tego w wielu przypadkach uwzględniane elementy agrometeorologiczne dotyczące poszczególnych warstw stanowiły wypadkową warunków panujących powyżej i poniżej.

Na czwartym etapie w oparciu o tak stworzoną bazę, posługując się analizą regresji wielokrotnej, wyprowadzono równania regresji i wyłoniono ostateczne zbiory zmiennych niezależnych, w najlepszy sposób opisujące zasoby wodne gleby w poszczególnych warstwach: 0÷5 cm, 0÷20 cm, 0÷40 cm, 0÷60 cm, 0÷80 cm i 0÷100 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą. Aby ocenić wartości uzyskanych końcowych równań, wyliczono poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , uwzględniające fakt, że  $R_p^2$  jest obliczone z określonej próby, a nie z całej populacji i jest zawsze mniejsze od współczynników determinacji  $R^2$ . Tak wyliczone współczynniki pozwalają na ocenę, w jakim stopniu wyprowadzone równania regresji byłyby dopasowane do innej próby z tej samej populacji [Stanisz 2001]. Przyjęto, że liczba zmiennych opisujących zasoby wodne gleby nie powinna przekraczać sześciu. Oszacowano również standardowe błędy

estymacji równań (SE), informujące o stopniu dopasowania uzyskanych modeli do danych empirycznych dla różnych przedziałów czasowych.

Powyższą metodykę zastosowano dla przedziału czasowego: miesiąc (od listopada do kwietnia) i cały okres zimowy (2002/2003, 2003/2004, 2004/2005) oraz dla dwóch i trzech kolejnych okresów zimowych łącznie, analogicznie dla poszczególnych miesięcy i całych półroczy. Chodziło o ocenę, na ile związki zasobów wodnych gleby z wybraną grupą elementów agrometeorologicznych są istotne w poszczególnych miesiącach oraz kolejnych badanych okresach zimowych.

## 4. CHARAKTERYSTYKA BADANEGO OBIEKTU

### 4.1. Położenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego

Badania prowadzone były na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, znajdującym się na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Swojec, które nieprzerwanie funkcjonuje od 1961 roku. Obiekt zlokalizowany jest w północno-wschodniej części miasta (rys. 3).



**Rys. 3.** Lokalizacja Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego we Wrocławiu – Swojcu (fot. M. Biniak-Pieróg)

**Fig. 3.** Location of Agro- and Hydrometeorological Observatory in Wrocław – Swojec (fot. M. Biniak-Pieróg)

Od zabudowy Wrocławia oddzielony jest kompleksem parków i stadionów, jak również kanałem Odry, łąkami i polami. Odległość w linii prostej od brzegu Odry wynosi 2200 m. Obserwatorium na Swojcu położone jest na wysokości 120,7 m n.p.m.; szerokość geograficzna 51°07', długość geograficzna 17°07'.

## 4.2. Charakterystyka gleb na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego

Na terenie Obserwatorium oraz na przyległych polach, ustalonych w roku 1965, została wykonana ekspertyza hydrogeologiczna i gleboznawcza [Mazij i in. 1965]. Na wymienionych polach wyróżniono dwa rodzaje gleb:

- piaski słabogliniaste podścielone gliną,
- piaski słabogliniaste całkowite.

Na polach ustalonych występują przede wszystkim piaski słabogliniaste i piaski gliniaste lekkie. W trakcie wykonywania ekspertyzy w niektórych odkrywkach występowały piaski pylaste (tab. 1).

**Tabela 1**  
**Table 1**

Skład mechaniczny gleb na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego  
Mechanical composition of soils in the area of Agro- and Hydrometeorological Observatory

Głębokość Depth [cm]	Średnica cząstek [mm] Particle Φ [mm]								
	>1,0	1,0- 0,5	0,5- 0,25	0,25- 0,1	0,1- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,006	0,006- 0,002	<0,002
10	1,9	11,0	21,7	34,5	15,8	6,0	3,0	3,0	5,0
30	1,4	11,3	21,2	35,0	14,5	6,0	4,0	2,0	6,0
50	1,7	12,0	18,9	32,2	21,5	9,0	2,0	1,0	3,0
70	2,4	13,0	23,5	30,5	21,0	5,0	2,0	2,0	3,0
90	1,3	13,2	23,3	31,0	22,5	1,0	1,0	1,0	1,0
110	3,8	12,6	29,0	32,6	6,0	1,0	1,0	1,0	8,0

Strop glin układu się na głębokości od 3,3 do 5,0 m. Jest to warstwa nieprzepuszczalna, podścielająca całe pole doświadczalne. Strop tej warstwy odcina się wyraźnie od warstw wyżej leżących. Część pól posiada drugą, płytszą warstwę nieprzepuszczalną na głębokości 1,7 do 1,8 m.

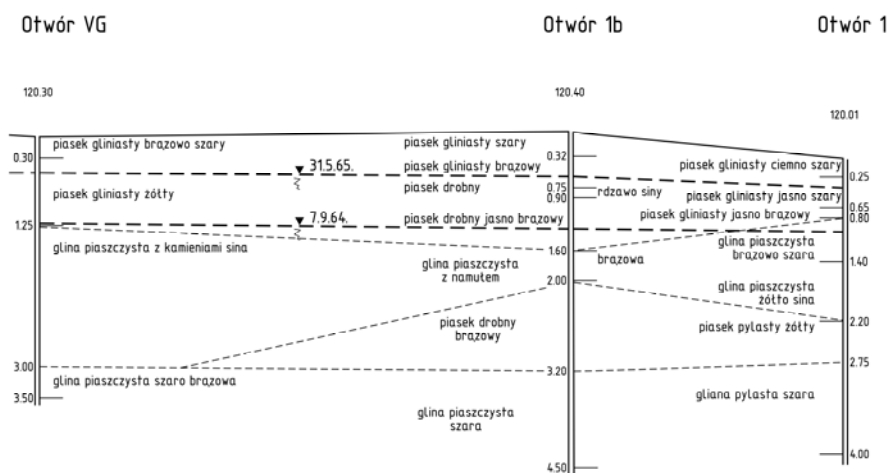
Zgodnie z genetyczną klasyfikacją gleb są to gleby brunatne uprawne, wytworzone z glin zwałowych, wykazujące w wierzchniej warstwie skład mechaniczny piasków słabogliniastych. Do głębokości 1,0 m są na ogół mało zróżnicowane. Pod względem składu mechanicznego są to piaski słabogliniaste, piaski gliniaste mocne, piaski pylaste oraz piaski luźne. Charakterystyczny przekrój hydrogeologiczny pola, na którym prowadzono pomiary wilgotności gleby, przedstawiono na rys. 4.

Pełna pojemność wodna gleb na terenie pól ustalonych waha się w granicach od 306,1 do 339,5 mm dla warstwy gleby o miąższości 100 cm. Średnia wartość dla całego obiektu wynosi 322,7 mm.

Gleby te charakteryzuje duża zdolność zatrzymywania wody. Pojemność polowa wynosi 217,0 mm w warstwie gleby 100 cm. Wyróżniają się one również dużą wysokością kapilarnego podnoszenia wody. Przy wodzie gruntowej na głębokości 1,0 m

powierzchniowe warstwy zawierają około 18% wody w stosunku do objętości. Współczynnik wędnięcia dla roślin wynosi przeciętnie około 5%.

Średnia głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej na terenie Obserwatorium mierzy około 1,0 m.



Rys. 4. Przekrój hydrogeologiczny pola, na którym prowadzono pomiary wilgotności gleby (Mazij i in. 1965)

Fig. 4. Hydrogeological section of the area, where soil moisture was investigated (Mazij et al. 1965)

### 4.3. Warunki agrometeorologiczne analizowanych okresów zimowych

Charakterystykę wybranych elementów agrometeorologicznych przeprowadzono, biorąc pod uwagę ich średnie lub sumy w poszczególnych miesiącach względnie całych okresach zimowych i odniesiono je do sum lub średnich wartości z wielolecia.

Pomiary temperatury powietrza, opadów atmosferycznych oraz stanów wody gruntowej prowadzone są na terenie Obserwatorium nieprzerwanie od 1961 r., natomiast temperatury gleby pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą – od 1966 roku. Ze względu na niejednorodność okresów pomiarowych – dla oceny warunków agrometeorologicznych w analizowanych półroczach zimowych 2002/2003, 2003/2004 i 2004/2005 za okres odniesienia przyjęto wielolecie 1966÷2000, które potraktowano jako normę.

Ocenę odchyłeń sum opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach lub całych okresach zimowych od wartości wieloletnich przeprowadzono w oparciu o klasyfikację opracowaną przez Kaczorowską [1962]. Natomiast oceny odchyłeń średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza dokonano na podstawie normatywów opracowanych przez IMGW [Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny].



### 4.3.1. Opady atmosferyczne

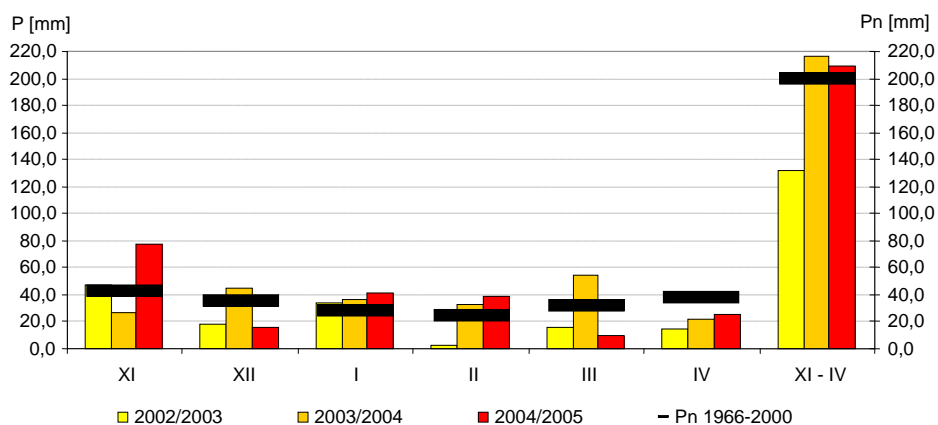
Zróznicowanie warunków opadowych występujące w poszczególnych miesiącach oraz całych okresach zimowych na tle średnich z wielolecia 1966÷2000 przedstawiono na rys. 5. W tab. 2 przedstawiono zmienność miesięcznych sum opadów atmosferycznych w analizowanych miesiącach oraz w całym okresie zimowym w wieloleciu.

**Tabela 2**  
**Table 2**

Średnie i ekstremalne sumy opadów atmosferycznych w mm w wieloleciu 1966÷2000  
Average and extreme precipitation sums in mm in years 1966÷2000

	XI	XII	I	II	III	IV	XI+IV
min.	14,0	3,2	6,5	1,9	2,9	5,7	1,9 (1978)
max.	100,4	78,9	82,7	49,8	86,0	76,6	100,4 (1970)
średnia average	<b>42,1</b>	35,0	28,4	<b>24,3</b>	32,0	37,9	199,7

Według klasyfikacji Kaczorowskiej (1962) listopad w 2002 r. (46,9 mm) zaliczono jako normalny w porównaniu z wieloleciem, w 2003 r. miesiąc ten sklasyfikowany został jako suchy (26,5 mm), natomiast w 2004 r. (77,7 mm) jako bardzo wilgotny. Grudzień w półroczu zimowym 2002/2003 był miesiącem suchym (17,8 mm), luty skrajnie suchym (2,9 mm), marzec i kwiecień bardzo suchym (15,2; 15,0 mm), a styczeń w normie (34,4 mm). Okres zimowy 2003/2004 charakteryzował się najwyższą sumą opadów wynoszącą 216,5 mm.



**Rys. 5.** Zróznicowanie warunków opadowych w poszczególnych miesiącach oraz całych okresach zimowych na tle wielolecia 1966÷2000

**Fig. 5.** Precipitation variability in particular months and the whole winter periods in relation to years 1966÷2000

Bardzo wilgotnym miesiącem był marzec (54,9 mm), grudzień, styczeń i luty sklasyfikowano jako miesiące wilgotne (44,2; 36,6; 32,8 mm), natomiast kwiecień jako suchy (21,5 mm).

Opady półrocza zimowego 2004/2005 były nieco niższe od poprzednich i wyniosły 209,2 mm. W odniesieniu do wielolecia bardzo wilgotny był luty (39,2 mm), wilgotny styczeń (41,7 mm), suchy kwiecień (25,5 mm) i bardzo suchy grudzień oraz marzec (15,8; 9,3 mm).

Podsumowując, półrocze zimowe 2002/2003 sklasyfikowano jako bardzo suche (odchylenie od normy 66%), natomiast okresy 2003/2004 oraz 2004/2005 jako normalne (odchylenie od normy 108%, 105%).

#### 4.3.2. Poziom zwierciadła wody gruntowej

Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej na obiekcie badawczym kształtuje się przeciętnie na poziomie -100 cm. W półroczu zimowym waha się ona średnio od -126 cm w listopadzie do -90 cm w marcu. W tab. 3 przedstawiono zmienność średnich stanów wody gruntowej w poszczególnych miesiącach i w całym okresie zimowym w wieloleciu 1966÷2000.

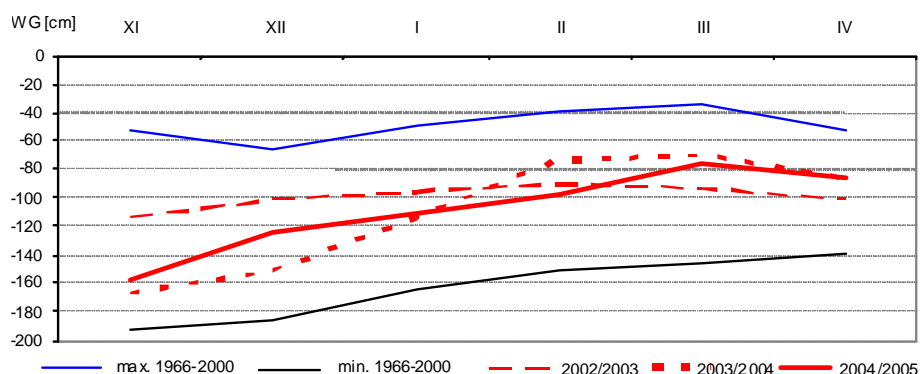
Zwierciadło wody gruntowej w okresie 2002/2003 przyjmowało średnie miesięczne wartości od -113 cm w listopadzie do -91 cm w lutym i z wyjątkiem kwietnia oraz marca stany wody gruntowej były nieco wyższe od średnich wieloletnich. Wyraźnie niższe wartości obserwowano w przypadku listopada, grudnia, a także stycznia w półroczu zimowym 2003/2004 (-168, -151, -115 cm), natomiast w lutym, marcu i kwietniu średni poziom zwierciadła wody gruntowej był znacznie wyższy od przeciętnego (-74, -71, -87 cm). Podobnie w okresie badawczym 2004/2005 stany wody gruntowej w listopadzie i grudniu kształtowały się poniżej przeciętnych.

**Tabela 3**  
**Table 3**

Średnie i ekstremalne stany wody gruntowej mm w wieloleciu 1966÷2000  
Average and extreme ground water levels in years 1966÷2000

	XI	XII	I	II	III	IV	XI÷IV
min.	-193	-185	-164	-151	-146	-139	-193
max.	-54	-67	-48	-41	-35	-52	-35
średnia average	<b>-127</b>	-111	-104	-97	<b>-90</b>	-96	-104

Głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w analizowanych okresach nie przekraczały w żadnym przypadku wartości ekstremalnych, odnotowanych w kolejnych miesiącach półrocza zimowego w przyjętym do analizy porównawczej wieloleciu (rys. 6).



**Rys. 6.** Przebieg średnich miesięcznych stanów wody gruntowej w analizowanych okresach zimowych na tle wartości ekstremalnych w wieloleciu 1966÷2000

**Fig. 6.** Monthly average ground water levels in analyzed winter periods in relation to extreme values in years 1966÷2000

### 4.3.3. Temperatura powietrza

Średnia miesięczna temperatura powietrza w półroczu zimowym we Wrocławiu – Swojcu w wieloleciu 1966÷2000 waha się od  $-1,1^{\circ}\text{C}$  w styczniu do  $8,2^{\circ}\text{C}$  w kwietniu (tab. 4).

**Tabela 4**  
**Table 4**

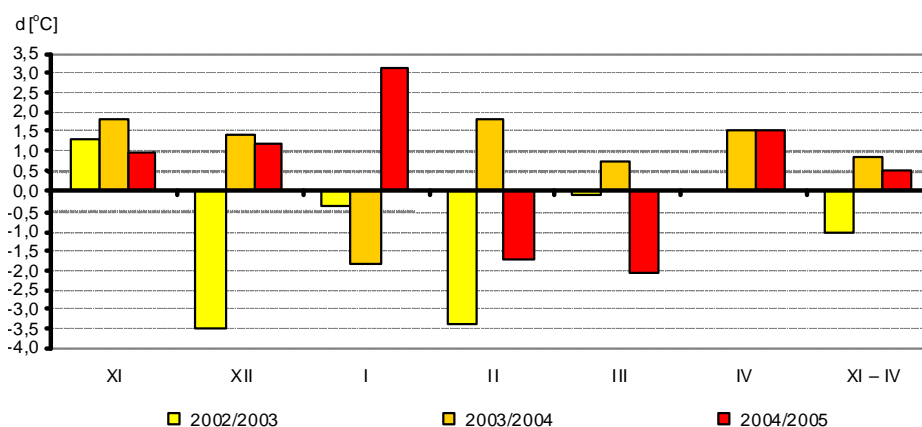
Średnie i ekstremalne wartości temperatury powietrza w wieloleciu 1966÷2000  
Average and extreme air temperature values in years 1966÷2000

	XI	XII	I	II	III	IV	XI÷IV
min.	-0,2	-6,6	-9,6	-8,4	-0,8	6,2	-0,2
max.	7,0	4,0	4,1	5,5	7,7	12,2	12,2
średnia average	3,9	0,5	<b>-1,1</b>	0,2	3,8	<b>8,2</b>	2,6

Charakterystykę temperatury powietrza w analizowanych okresach zimowych przeprowadzono w oparciu o Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny.

Na rys. 7 przedstawiono odchylenia średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza oraz z całych półroczy zimowych od wartości wieloletnich. W okresie badawczym 2002/2003 styczeń, marzec i kwiecień sklasyfikowano jako normalne na podstawie odchylenia od wartości wieloletnich ( $-1,5^{\circ}\text{C}$ ,  $3,7^{\circ}\text{C}$ ,  $8,3^{\circ}\text{C}$ ). Listopad był ciepły, ze średnią temperaturą  $5,2^{\circ}\text{C}$ , natomiast grudzień i luty wyraźnie odbiegały od normy ( $-3,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-3,2^{\circ}\text{C}$ ) i sklasyfikowano je jako miesiące bardzo chłodne. Półrocze zimowe 2003/2004, z wyjątkiem stycznia, który w porównaniu z wieloleciem był miesiącem

chłodnym ( $-2,9^{\circ}\text{C}$ ), cechowało się znacznie wyższymi średnimi miesięcznymi temperaturami powietrza, co pozwoliło zaklasyfikować listopad, grudzień, luty, marzec i kwiecień jako miesiące ciepłe ( $5,7^{\circ}\text{C}$ ,  $1,9^{\circ}\text{C}$ ,  $2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $4,6^{\circ}\text{C}$ ,  $9,8^{\circ}\text{C}$ ).



**Rys. 7.** Odchylenia (d) średnich wartości temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach oraz całych okresach zimowych od średnich z wielolecia 1966÷2000

**Fig. 7.** Average air temperature values' deviation (d) in particular months and the whole winter periods from averages for years 1966÷2000

Wyższe średnie miesięczne temperatury w porównaniu z wieloleciem zaobserwowano dla listopada, grudnia i kwietnia okresu zimowego 2004/2005 ( $4,9^{\circ}\text{C}$ ,  $1,7^{\circ}\text{C}$ ,  $9,8^{\circ}\text{C}$ ), które uznano za miesiące ciepłe oraz stycznia, sklasyfikowanego jako bardzo ciepły ( $2,1^{\circ}\text{C}$ ). Chłodny był natomiast luty ze średnią miesięczną temperaturą  $-1,5^{\circ}\text{C}$  i bardzo chłodny marzec ( $1,7^{\circ}\text{C}$ ).

#### 4.3.4. Temperatura gleby

Ze względu na stosunkowo duże braki w obserwacjach dotyczących pomiarów temperatury gleby pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą na głębokości 1÷2, 50 i 100 cm nie było możliwe, w analogiczny sposób jak dla temperatury gleby z głębokości 5, 10 i 20 cm, odnieść ich wartości do średnich z wielolecia 1966÷2000. Analiza średnich dobowych wartości temperatury gleby z głębokości 50 cm pochodzących z 39 okresów zimowych przeprowadzona przez Żyromskiego i in. (2005) dowodzi, że wykazują one małą zmienność zarówno pod powierzchnią nieporośniętą, jak i pokrytą trawą, bez względu na grubość pokrywy śnieżnej i czas jej zalegania.

W tab. 5 i 6 przedstawiono zmienność temperatury gleby na głębokościach 5, 10, i 20 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w analizowanych miesiącach oraz w całym okresie zimowym w wieloleciu 1966÷2000. Natomiast na rys. 8a, 8b, 8c i 9a, 9b, 9c zestawiono odchylenia średnich miesięcznych wartości temperatury gleby na głębokościach 5, 10 i 20 cm oraz z całych analizowanych okresów zimowych od średnich z wielolecia 1966÷2000, pod obiema powierzchniami.

**Tabela 5**  
**Table 5**

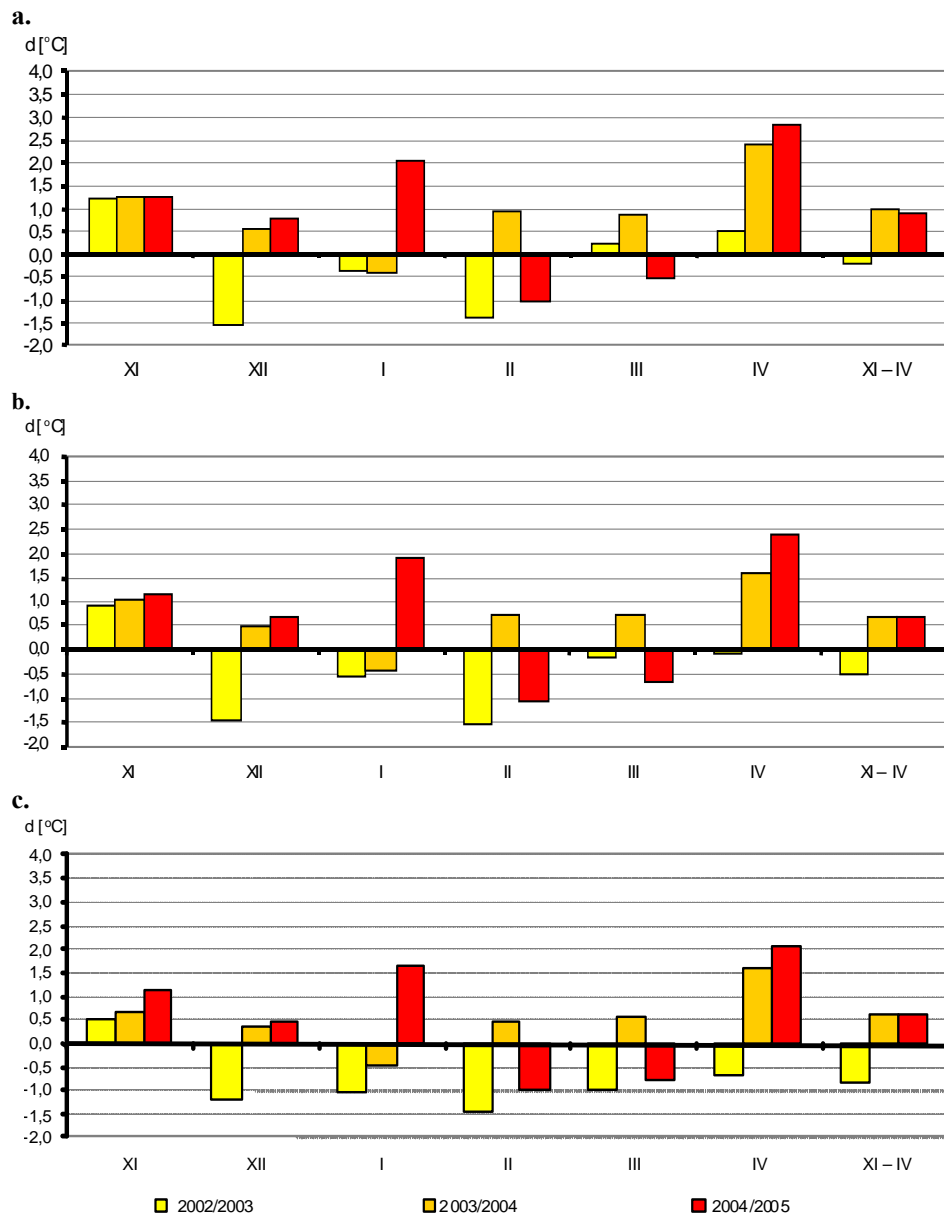
Zmienność temperatury gleby na głębokościach: 5, 10, 20 cm pod powierzchnią nieporośniętą w poszczególnych miesiącach oraz w całym okresie zimowym w wieloleciu 1966÷2000  
Soil temperature variability at depths: 5, 10, 20 cm under bare soil in particular months and the whole winter period in years 1966÷2000

Głębokość Depth cm	Wartość Value	XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
5	min.	1,7	-2,3	-2,8	-2,3	-0,8	6,3	-2,8
	max.	6,7	3,0	2,5	4,2	7,4	13,3	13,3
	średnia average	3,8	0,7	<b>-0,1</b>	0,6	3,7	<b>8,9</b>	2,9
10	min.	2,1	-2,2	-2,8	-2,0	-0,3	6,5	-2,8
	max.	6,9	3,6	2,9	3,9	7,1	12,7	12,7
	średnia average	4,1	1,0	<b>0,2</b>	0,7	3,7	<b>8,9</b>	3,1
20	min.	2,6	-0,6	-2,1	-1,4	-0,4	6,1	-2,1
	max.	7,2	3,6	3,0	3,9	6,5	11,6	11,6
	średnia average	4,5	1,5	<b>0,5</b>	0,8	3,4	<b>8,2</b>	3,1

**Tabela 6**  
**Table 6**

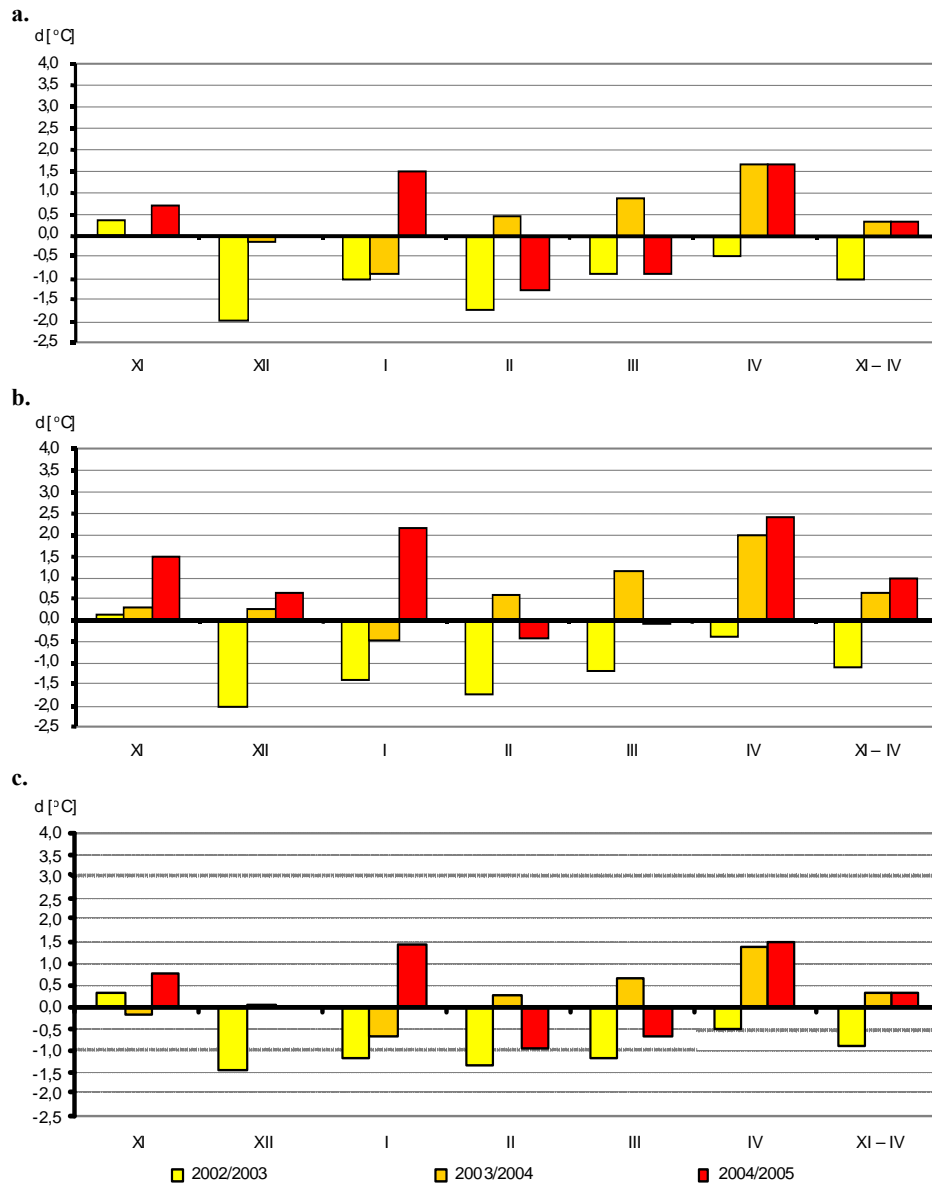
Zmienność temperatury gleby na głębokościach: 5, 10, 20 cm pod powierzchnią pokrytą trawą w poszczególnych miesiącach oraz w całym okresie zimowym w wieloleciu 1966÷2000  
Soil temperature variability at depths: 5, 10, 20 cm under grassy land in particular months and the whole winter period in years 1966÷2000

Głębokość Depth cm	Wartość Value	XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
5	min.	3,2	-0,2	-1,9	-1,3	-0,3	6,2	-1,9
	max.	7,8	4,0	3,3	3,9	6,7	11,0	11,0
	średnia average	5,4	2,0	<b>0,7</b>	0,9	3,3	<b>8,1</b>	3,4
10	min.	3,5	0,2	-1,7	-1,3	-0,4	5,8	-1,7
	max.	7,9	4,1	3,4	3,8	6,5	10,7	10,7
	średnia average	5,6	2,3	<b>0,9</b>	1,0	3,2	<b>7,8</b>	3,5
20	min.	4,0	1,0	-1,6	-1,2	-0,4	5,4	-1,6
	max.	8,3	4,6	3,6	4,1	6,3	10,1	10,1
	średnia average	6,0	2,7	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	3,1	<b>7,4</b>	3,6



**Rys. 8.** Odchylenia (d) średnich wartości temperatury gleby na głębokościach: **a.** 5 cm, **b.** 10 cm, **c.** 20 cm pod powierzchnią nieporośniętą w poszczególnych miesiącach oraz w całym okresie zimowym od średnich z wielolecia 1966÷2000

**Fig. 8.** Average soil temperature values' deviation (d) at depths: **a.** 5 cm, **b.** 10 cm, **c.** 20 cm under bare soil in particular months and the whole winter period from averages for years 1966÷2000



**Rys. 9.** Odchylenia (d) średnich wartości temperatury gleby na głębokościach: **a.** 5 cm, **b.** 10 cm, **c.** 20 cm pod powierzchnią pokrytą trawą w poszczególnych miesiącach oraz w całym okresie zimowym od średnich z wielolecia 1966÷2000

**Fig. 9.** Average soil temperature values' deviation (d) at depths: **a.** 5 cm, **b.** 10 cm, **c.** 20 cm under grassy land in particular months and the whole winter period from averages for years 1966÷2000

Ujemna średnia miesięczna temperatura gleby pod obiema analizowanymi powierzchniami na głębokości 1÷2 cm podczas półrocza zimowego 2002/2003 wystąpiła w grudniu, styczniu i lutym. Temperatura gleby wahała się od  $-1,6^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $8,9^{\circ}\text{C}$  w kwietniu pod powierzchnią nieporośniętą oraz od  $-1,1^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $9,2^{\circ}\text{C}$  w kwietniu pod powierzchnią pokrytą trawą. W okresie zimowym 2003/2004 najniższą średnią miesięczną temperaturę na tej głębokości, pod obiema powierzchniami, odnotowano w styczniu ( $-0,9^{\circ}\text{C}$ ,  $-1,1^{\circ}\text{C}$ ), a w 2004/2005 – w lutym ( $-0,8^{\circ}\text{C}$ ,  $-0,7^{\circ}\text{C}$ ).

Średnia miesięczna temperatura gleby nieporośniętej na głębokości 5 cm była niższa od średniej wieloletniej w grudniu, styczniu i lutym w okresie zimowym 2002/2003 ( $0,8^{\circ}\text{C}$ ,  $-0,4^{\circ}\text{C}$ ,  $-0,8^{\circ}\text{C}$ ), w styczniu w 2003/2004 ( $-0,5^{\circ}\text{C}$ ) oraz w lutym i marcu w 2004/2005 ( $-0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $3,1^{\circ}\text{C}$ ). Pod powierzchnią pokrytą trawą temperatura gleby przyjmowała podobne ujemne wartości średnie w tych miesiącach i wahała się w okresie zimowym 2002/2003 od  $-0,8^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $7,6^{\circ}\text{C}$  w kwietniu, w 2003/2004 od  $-0,2^{\circ}\text{C}$  w styczniu do  $9,7^{\circ}\text{C}$  w kwietniu oraz w 2004/2005 od  $-0,4^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $9,7^{\circ}\text{C}$  w kwietniu. Średnie wieloletnie temperatury gleby na głębokościach 10, 20, 50 oraz 100 cm, w każdym przypadku, przyjmowały wartości dodatnie pod obiema analizowanymi powierzchniami. Pod ugiem niższe temperatury zaobserwowano na głębokości 10 cm w grudniu ( $-0,5^{\circ}\text{C}$ ), styczniu ( $-0,4^{\circ}\text{C}$ ) oraz lutym ( $-0,8^{\circ}\text{C}$ ) w okresie badawczym 2002/2003, w styczniu ( $-0,3^{\circ}\text{C}$ ) w 2003/2004 oraz lutym ( $-0,3^{\circ}\text{C}$ ) w 2004/2005. Natomiast pod powierzchnią pokrytą trawą średnia miesięczna temperatura była ujemna w styczniu ( $-0,5^{\circ}\text{C}$ ) oraz lutym ( $-0,7^{\circ}\text{C}$ ) tylko w półroczu zimowym 2002/2003.

Z wyjątkiem listopada średnia temperatura gleby na głębokości 20 cm, pod obiema powierzchniami, w okresie badawczym 2002/2003 układała się poniżej średniej wieloletniej dla tych miesięcy. Ujemne średnie miesięczne wartości zanotowano dla stycznia i lutego ( $-0,6^{\circ}\text{C}$ ) w przypadku ugiem oraz w lutym ( $-0,2^{\circ}\text{C}$ ) pod powierzchnią pokrytą trawą. W okresie zimowym 2003/2004 średnie miesięczne wartości temperatury gleby na głębokości 20 cm pod powierzchnią nieporośniętą wahały się od  $0,0^{\circ}\text{C}$  w styczniu do  $9,8^{\circ}\text{C}$  w kwietniu i, z wyjątkiem stycznia, były nieco wyższe od średnich wartości z wielolecia 1966÷2000. W okresie zimowym 2004/2005 średnia miesięczna temperatura wahała się od  $-0,2^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $10,3$  w kwietniu i w odniesieniu do wielolecia była wyższa w przypadku listopada, grudnia, stycznia oraz kwietnia ( $5,7^{\circ}\text{C}$ ,  $1,9^{\circ}\text{C}$ ,  $2,2^{\circ}\text{C}$ ,  $10,3^{\circ}\text{C}$ ). Pod powierzchnią pokrytą trawą wyraźnie wyższą temperaturę gleby na głębokości 20 cm zaobserwowano w styczniu 2004/2005 ( $2,6^{\circ}\text{C}$ ) oraz w kwietniu 2003/2004 i 2004/2005 ( $8,8^{\circ}\text{C}$ ,  $8,9^{\circ}\text{C}$ ).

Na głębokości 50 cm ujemna średnia miesięczna temperatura wystąpiła tylko w przypadku powierzchni nieporośniętej w styczniu i lutym w okresie zimowym 2002/2003 i wynosiła odpowiednio  $-0,1^{\circ}\text{C}$  i  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . Średnia miesięczna temperatura gleby na głębokości 100 cm w półroczu zimowym 2002/2003 była najniższą spośród analizowanych okresów badawczych i wahała się od  $1,5^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $7,9$  w listopadzie pod powierzchnią nieporośniętą oraz od  $2,5^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $9,0^{\circ}\text{C}$  w listopadzie pod trawnikiem. W okresach 2003/2004 oraz 2004/2005 wpływ zróżnicowania pokrycia powierzchni na temperaturę gleby był nieznaczny, a różnice średnich miesięcznych wartości nie przekraczały  $0,7^{\circ}\text{C}$ .



## **5. ZMIENNOŚĆ ZASOBÓW WODNYCH GLEBY W OKRESACH ZIMOWYCH**

Dynamikę zasobów wodnych gleby w warstwach 0÷5, 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod dwiema powierzchniami: nieporośniętą i pokrytą trawą analizowano w poszczególnych miesiącach i całych okresach zimowych na podstawie ich dobowych wartości. Celem była kompleksowa ocena ich zmienności w poszczególnych warstwach gleby na przestrzeni okresów badawczych 2002/2003, 2003/2004 oraz 2004/2005, w powiązaniu z analizowanymi elementami agrometeorologicznymi, tj. narastające sumy opadów atmosferycznych, temperatura powietrza i gleby na głębokościach 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm oraz stany wody gruntowej. Informacje o wartościach ekstremalnych zasobów wodnych gleby pod obiema powierzchniami w poszczególnych miesiącach oraz całych okresach zimowych zawarto w tab. 7, 8 i 9. Dobowe przebiegi zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą oraz poddanych analizie elementów agrometeorologicznych przedstawiono na rys. 10, 11, 12, 13, 14 i 15.

### **5.1. Okres zimowy 2002/2003**

W półroczu zimowym 2002/2003 zaobserwowano ujemną tendencję zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą, wyraźną zwłaszcza w przypadku warstw 0÷40 cm, 0÷60 cm, 0÷80 cm. Analiza poszczególnych miesięcy wskazuje, że największe różnice pomiędzy ekstremalnymi wartościami wystąpiły w styczniu w przypadku warstw 0÷5 cm oraz 0÷20 cm, natomiast dla warstw o większej miąższości – w lutym. Małą zmienność wartości odnotowano w kwietniu dla wszystkich analizowanych w pracy warstw gleby (tab. 7).

Na podstawie analizy przebiegu dobowych wartości zasobów wodnych gleby stwierdzono ich wzrost w listopadzie i w 1. dekadzie grudnia w warstwach 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm (rys. 10). Równocześnie wystąpiły opady atmosferyczne, których wartość skumulowana na koniec tego okresu wynosiła 49,1 mm oraz obserwowano liniowy wzrost położenia zwierciadła wody gruntowej z -121 do -88 cm oraz dodatnie średnie dobowe wartości temperatury powietrza i gleby na wszystkich analizowanych głębokościach. Jednak tendencja zasobów w grudniu dla tych warstw była malejąca. Przy niskich wartościach zasobów wodnych w powierzchniowych warstwach gleby, wynoszących około 1,0 mm w warstwie 0÷5 cm oraz około 6,0 mm w warstwie 0÷20 cm, obserwowano ujemne średnie dobowe wartości temperatury powietrza oraz przemarzanie gleby do głębokości 20 cm. W grudniu opady zaobserwowano dopiero pod koniec miesiąca, a ich skumulowana wartość wyniosła 13,7 mm. Stany wody gruntowej wykazywały tendencję

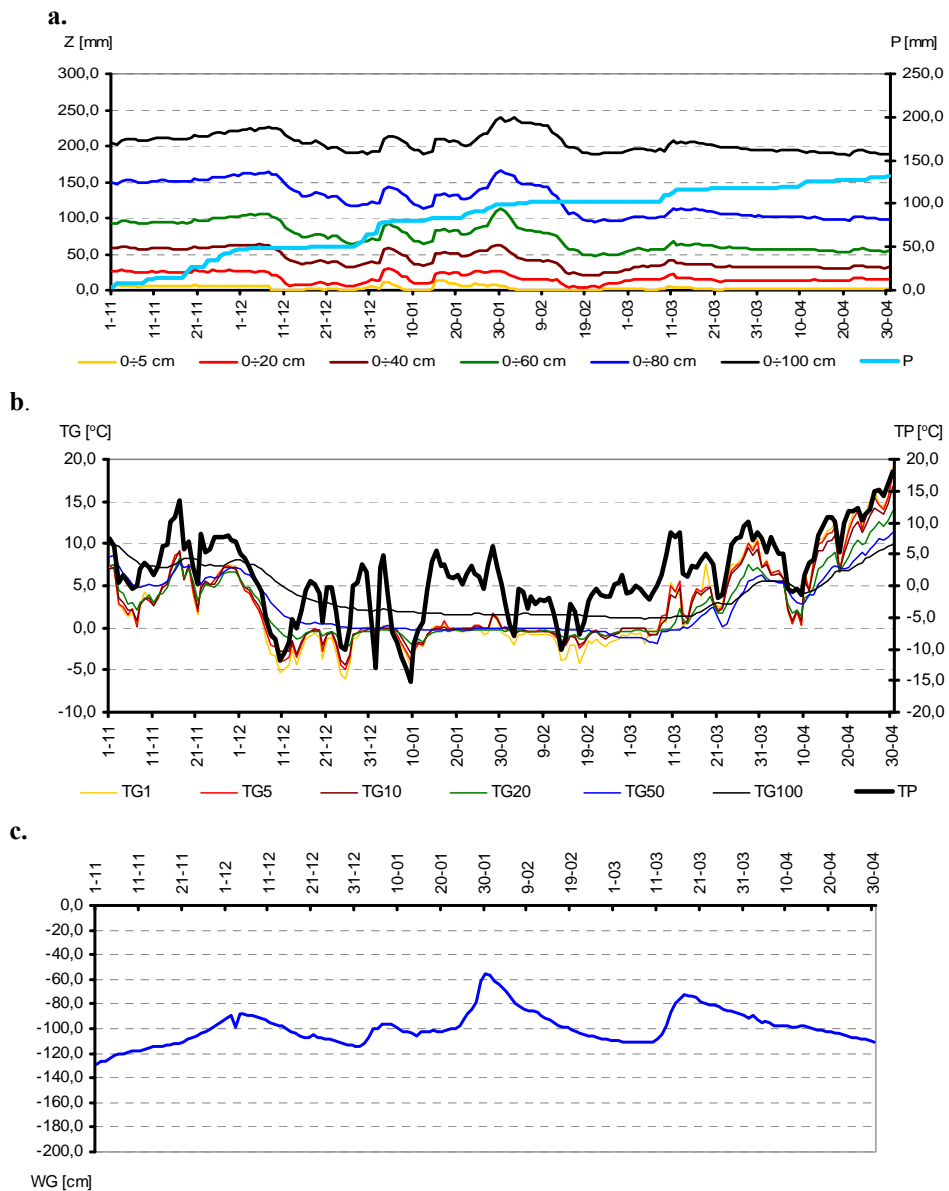
malejącą, osiągając -114 cm na koniec miesiąca. Równocześnie obserwowano wzrost temperatury powietrza i gleby do głębokości 20 cm. Wtedy też nastąpił wzrost uwilgotnienia warstw gleby o miąższości 0÷5 i 0÷20 cm.

**Tabela 7**  
**Table 7**

Ekstremalne wartości zasobów wodnych gleby w mm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w okresie zimowym 2002/2003

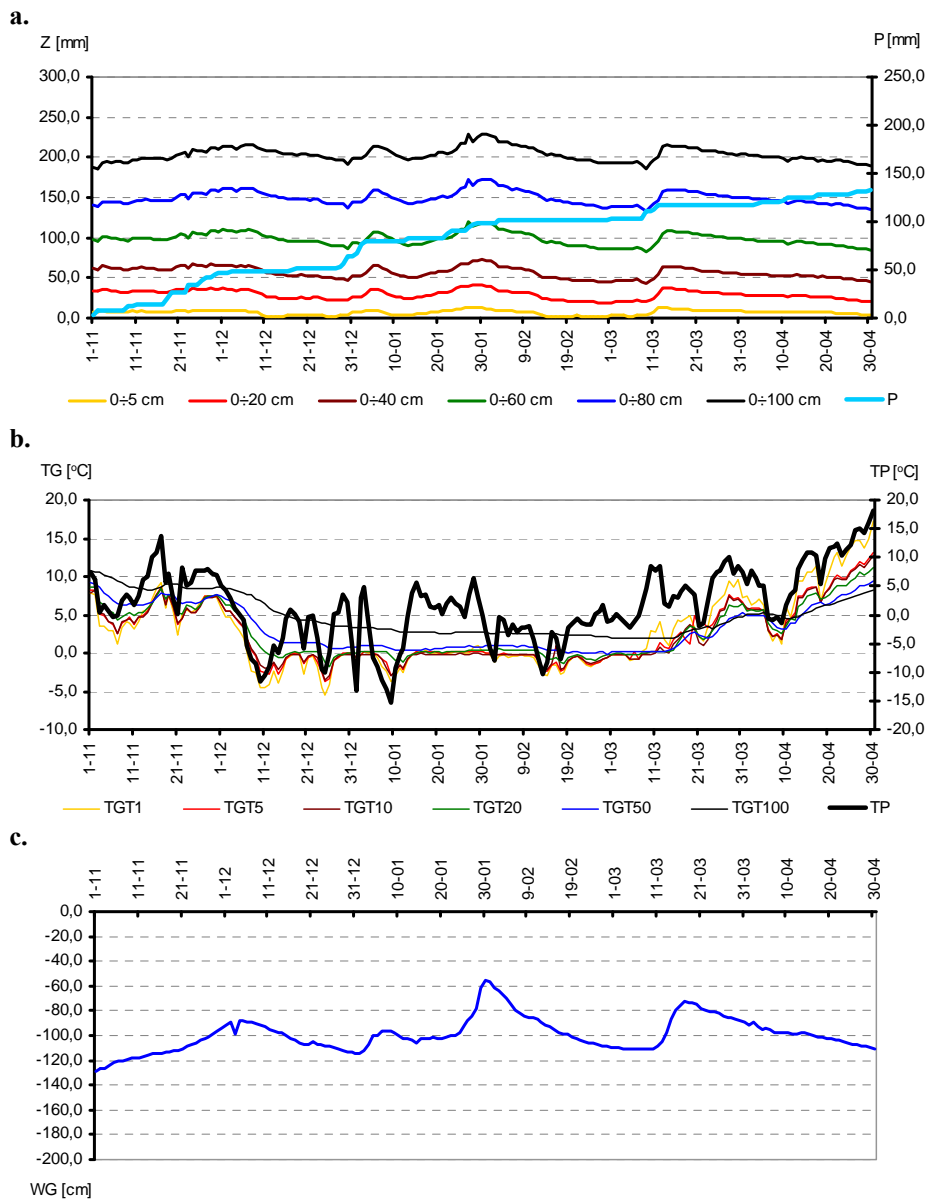
Extreme soil water reserves values in mm under bare soil and grassy land in winter period 2002/2003

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil								
2002/2003		XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
0÷5 cm	min.	4,5	0,6	0,7	0,1	0,1	1,4	0,1
	max.	6,9	5,8	12,9	2,6	5,4	2,4	12,9
0÷20 cm	min.	23,6	5,8	8,7	3,8	12,0	13,1	3,8
	max.	27,9	26,6	30,2	20,1	23,3	17,3	30,2
0÷40 cm	min.	56,1	31,9	34,6	20,0	29,2	29,6	20,0
	max.	62,3	63,3	62,4	53,3	42,1	34,3	63,3
0÷60 cm	min.	91,7	64,0	64,7	48,0	53,8	52,1	48,0
	max.	102,6	105,4	112,5	101,4	67,3	57,6	112,5
0÷80 cm	min.	146,9	116,4	113,5	95,0	99,6	96,1	95,0
	max.	159,9	163,6	165,2	159,5	114,1	102,7	165,2
0÷100 cm	min.	202,3	189,4	189,5	188,2	193,1	187,1	187,1
	max.	220,9	226,2	239,0	239,9	207,4	194,6	239,9
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land								
2002/2003		XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
0÷5 cm	min.	7,7	2,4	3,5	2,4	2,7	4,0	2,4
	max.	9,3	8,9	12,9	11,6	13,3	8,3	13,3
0÷20 cm	min.	31,9	21,9	24,6	18,8	19,2	20,8	18,8
	max.	37,4	36,7	41,3	38,7	37,9	28,7	41,3
0÷40 cm	min.	59,5	47,5	50,8	45,0	43,5	45,4	43,5
	max.	67,4	66,5	72,7	71,1	64,5	54,7	72,7
0÷60 cm	min.	96,0	86,9	90,7	86,0	82,8	85,1	82,8
	max.	108,8	110,2	120,7	117,5	107,9	98,3	120,7
0÷80 cm	min.	138,5	137,5	141,8	137,6	133,5	135,9	133,5
	max.	159,4	162,0	173,3	172,2	160,3	150,1	173,3
0÷100 cm	min.	185,9	191,0	196,2	192,3	186,3	190,1	185,9
	max.	212,1	216,4	228,4	227,4	214,9	204,5	228,4



**Rys. 10.** Dobowe przebiegi **a.** zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą i opadów atmosferycznych, **b.** temperatury powietrza i gleby na głębokości 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm oraz **c.** stanów wody gruntowej w okresie zimowym 2002/2003

**Fig. 10.** Daily curves **a.** soil water reserves under bare soil and precipitation, **b.** air and soil temperature at depths 1÷2, 5, 10, 20, 50 and 100 cm and **c.** ground water levels in winter period 2002/2003



**Rys. 11.** Dobbowe przebiegi **a.** zasobów wodnych gleby pod powierzchnią pokrytą trawą i opadów atmosferycznych, **b.** temperatury powietrza i gleby na głębokości 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm oraz **c.** stanów wody gruntowej w okresie zimowym 2002/2003

**Fig. 11.** Daily curves **a.** soil water reserves under grassy land and precipitation, **b.** air and soil temperature at depths 1÷2, 5, 10, 20, 50 and 100 cm and **c.** ground water levels in winter period 2002/2003

Należy jednak pamiętać, że pomiar uwilgotnienia gleby przeprowadzono podczas porannej obserwacji, natomiast do analizy przyjmowano temperaturę powietrza i gleby jako średnią dobową wartość, liczoną zgodnie z Rozporządzeniem Dyrektora IMGW [1995]. Przy sumowanych opadach od dnia 27 grudnia do 3 stycznia (28,3 mm), dodatniej temperaturze powietrza, powodującej rozmarznięcie warstwy gleby o miąższości 1÷2 cm oraz podnoszącym się zwierciadle wody gruntowej do -100 cm zaobserwowano wzrost zasobów wodnych we wszystkich analizowanych warstwach gleby pod powierzchnią nieporośniętą. Duże ich fluktuacje występowały do drugiej połowy lutego. Wzrost zasobów widoczny we wszystkich warstwach gleby odnotowano 15 stycznia. Nałożyła się na to dodatnia temperatura powietrza oraz warstwy gleby 1÷2 cm, poprzedzona niewielkim opadem (2,5 mm). Jednocześnie przez kilka wcześniejszych dni obserwowano obniżanie się stanów wody gruntowej.

Znacznym wzrostem zasobów wodnych gleby w warstwach 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm zaobserwowano 31 stycznia. W tym czasie poziom zwierciadła wody gruntowej gwałtownie podniósł się, osiągając maksimum, wynoszące w analizowanym okresie zimowym -55 cm. Stan taki poprzedzony był opadami oraz dodatnimi wartościami temperatury powietrza i gleby. Zasoby wodne w warstwie gleby 0÷100 cm również osiągnęły swe maksimum -239,0 mm. Stan bliski połowej pojemności wodnej, który dla gleb na terenie Obserwatorium wynosi 217,0 mm, utrzymywał się do 3. dekady lutego. Warunki agrometeorologiczne w tym okresie charakteryzowały się brakiem opadów, obniżającymi się stanami wody gruntowej oraz ujemnymi temperaturami powietrza i gleby do głębokości 50 cm.

Wzrost zasobów wodnych we wszystkich analizowanych warstwach gleby odnotowano 11 marca. Poprzedzony był on występowaniem dodatnich temperatur powietrza, w efekcie których nastąpiła odwilż glebowa, a także wystąpieniem opadów w dniach 9 i 11 marca o skumulowanej wartości 10,2 mm. Do końca umownie przyjętego okresu zimowego, tj. do 30 kwietnia zasoby wodne gleby wykazywały tendencję malejącą, widoczną zwłaszcza w przypadku warstw 0÷40, 0÷60, 0÷80, 0÷100 cm, czemu towarzyszyły sporadyczne, niskie opady w marcu i kwietniu, obniżające się zwierciadło wody gruntowej oraz dodatnia temperatura powietrza i gleby. W przypadku wszystkich warstw gleby zasoby wodne były niższe od notowanych na początku listopada, przy czym widoczny spadek wynoszący około 50 mm zaobserwowano dla warstw 0÷60 cm oraz 0÷80 cm.

Na przestrzeni analizowanego okresu zimowego 2002/2003 obserwowano niewielką tendencję malejącą zasobów wodnych gleby pod powierzchnią pokrytą trawą, najwyraźniej zaznaczającą się w warstwie 0÷40 cm oraz w warstwie 0÷60 cm. Na podstawie analizy poszczególnych miesięcy, w listopadzie stwierdzono najmniejszą zmienność zasobów w warstwach 0÷5, 0÷20, 0÷40 oraz 0÷60 cm, a w warstwach 0÷80 i 0÷100 cm – w kwietniu. Największe różnice wartości ekstremalnych wystąpiły w marcu w warstwie 0÷5 cm, a w przypadku warstw o większej miąższości – w lutym (tab. 7).

Wyrównanym przebiegiem charakteryzowały się zasoby wodne analizowanych warstw gleby w 1. i 2. dekadzie listopada, w 3. natomiast równoległe do występujących opadów atmosferycznych, o skumulowanej wartości 20 mm od 21 do 30 listopada, wystąpiły niewielkie wahania, zwłaszcza w warstwach 0÷40 cm i o większej miąższości (rys. 11). Obserwowano dodatnie średnie dobowe wartości temperatury powietrza oraz

gleby do głębokości 100 cm, a stany wody gruntowej na przestrzeni miesiąca liniowo podniosły się o 35 cm do wartości -94 cm na koniec miesiąca. Minimalne wahania obserwowano także w tych warstwach na początku grudnia.

Zasoby wodne wykazywały stopniową tendencję malejącą we wszystkich analizowanych warstwach gleby od 7 do 30 grudnia, przy braku opadów atmosferycznych, ujemnych średnich dobowych wartościach temperatury powietrza i gleby do głębokości 10 cm oraz obniżających się stanach wody gruntowej o ponad 20 cm.

Stopniowe odnawianie zapasu wody w glebie do głębokości 1,0 m obserwowano do 6 stycznia; poprzedzone było serią dni z opadem, trwającą od 27 grudnia, o skumulowanej wartości 28,6 mm, a potem nastąpił stopniowy powrót do stanu notowanego wcześniej. Równoległe ze wzrostem zasobów skokowo podnosiło się zwierciadło wody gruntowej do głębokości -96 cm oraz występowała ujemna średnia dobową temperatura powietrza i gleby na głębokości 10 cm. Jej wierzchnia warstwa o miąższości 1÷2 cm naprzemiennie zamarzała i rozmarzała. Kolejny stopniowy wzrost zasobów obserwowano od 14 stycznia do końca miesiąca. W tym też okresie notowano maksymalne wartości zasobów wodnych w warstwach gleby 0÷20 cm, 0÷40 cm, 0÷60 cm, 0÷80 cm oraz 0÷100 cm. Równocześnie od 21 stycznia wystąpiła seria dni z opadem o skumulowanej wartości 16,5 mm, obserwowano ujemne wartości temperatury powietrza oraz gleby do głębokości 20 cm, a także gwałtowny wzrost stanów wody gruntowej o 42 cm, które osiągnęły maksimum wynoszące w okresie zimowym 2002/2003 -55 cm od powierzchni terenu.

Wyczerpywanie zasobów wodnych we wszystkich analizowanych warstwach gleby pod powierzchnią pokrytą trawą następowało do 2 dekady marca, a ich spadek wahał się od 5,0 mm w warstwie gleby 0÷5 cm do około 30,0 mm w warstwach 0÷60 cm, 0÷80 cm oraz 0÷100 cm. Od 9 do 12 marca wystąpiły opady atmosferyczne o skumulowanej wartości 14,7 mm, natomiast wzrost retencji we wszystkich warstwach obserwowano od 10 do 14 marca. Średnie dobowe wartości temperatury powietrza i gleby w tym okresie przyjmowały wartości dodatnie oraz gwałtownie podnosiło się zwierciadło wody gruntowej do -72 cm na dzień 17 marca.

Od końca 2 dekady marca do 30 kwietnia obserwowano tendencję malejącą zasobów wodnych we wszystkich warstwach gleby pod powierzchnią pokrytą trawą. Sporadyczne opady w kwietniu nie powodowały ich widocznych wahań, równoległe liniowo obniżał się poziom zwierciadła wody gruntowej, osiągając na dzień 30 kwietnia -111 cm i był wyższy od notowanego na początku listopada zaledwie o 18 cm.

Na koniec okresu zimowego 2002/2003 nie stwierdzono znaczących zmian zasobów wodnych w analizowanych warstwach gleby porośniętej trawą w stosunku do obserwowanych na początku listopada, a różnice wartości wahały się od 2,0 mm w warstwie 0÷100 cm do 18,0 mm w warstwie 0÷60 cm. Stan bliski pojemności połowej warstwy gleby o miąższości 100 cm był osiągnięty w całym okresie zimowym 2002/2003, z wyjątkiem 3 dekady listopada oraz 1 dekady marca. Warunki agrometeorologiczne analizowanego półrocza nie sprzyjały odtwarzaniu zapasu wody w glebie pod powierzchnią porośniętą trawą. Jednak w odróżnieniu od powierzchni nieporośniętej nie odnotowano znacznego ich wyczerpania, co pozwala wnioskować o roli rośliny w hamowaniu tego procesu w okresie zimowym.

## 5.2. Okres zimowy 2003/2004

Zasoby wodne gleby pod powierzchnią nieporośniętą w okresie zimowym 2003/2004 wykazywały tendencję wzrostową w przypadku wszystkich analizowanych warstw, największą dla warstw 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm. Na przestrzeni analizowanego półrocza następowało stopniowe odnawianie retencji glebowej, a zasoby wodne w tych warstwach na dzień 30 kwietnia przyjmowały wartości dwa razy wyższe w porównaniu do wartości z początku listopada. Małą zmienność wartości zasobów obserwowano w kwietniu dla warstwy 0÷5 cm, a dla pozostałych warstw w listopadzie. Największe różnice pomiędzy wartościami ekstremalnymi wystąpiły w lutym w przypadku warstwy 0÷5 cm, w styczniu dla warstw 0÷20 oraz 0÷100 cm, a w pozostałych przypadkach w marcu (tab. 8).

W listopadzie nie obserwowano gwałtownych zmian wartości zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą do głębokości 1,0 m (rys. 12). Warunki agrometeorologiczne charakteryzowały, z nielicznymi wyjątkami, dodatnie średnie dobowe wartości temperatury powietrza i gleby oraz niskie stany wody gruntowej, wykazujące bardzo łagodny liniowy wzrost od początku listopada do 2. dekady stycznia. Opady, jakie wystąpiły w listopadzie, nie powodowały widocznych fluktuacji zasobów wodnych w analizowanych warstwach gleby, a na koniec miesiąca opad skumulowany wyniósł 26,5 mm.

Wzrost zasobów wodnych widoczny w przypadku każdej z analizowanych warstw gleby obserwowano od 15 do 18 grudnia. Poprzedzały go opady atmosferyczne występujące codziennie od 11 do 17 grudnia, o skumulowanej wartości 22,1 mm. Równoległe obserwowano dodatnie wartości temperatury powietrza oraz gleby. Wysoki jednodniowy opad atmosferyczny, jaki wystąpił 30 grudnia (17,9 mm), nie spowodował widocznych zmian uwilgotnienia gleby. Pomimo dodatniej średniej dobowej wartości temperatury powietrza gleba do głębokości 10 cm była zamrożona (-0,1°C). W 1. dekadzie stycznia obserwowano podobną sytuację: od 6 do 14 stycznia wystąpiła seria dni z opadem, jednak do 10 stycznia wartości zasobów wodnych we wszystkich analizowanych warstwach gleby wykazywały tendencję malejącą. Równocześnie występowały ujemne wartości temperatury powietrza, dochodzące nawet do -14,4°C oraz gleby do głębokości 10 cm.

Gwałtowny wzrost zasobów wodnych w warstwach 0÷80 i 0÷100 cm wystąpił 15 stycznia. Poprzedzony był on serią dni z opadem o skumulowanej wartości 33,2 mm, trwającą od 6 stycznia. Równocześnie obserwowano odwilż atmosferyczną oraz glebową, a także wyraźny wzrost stanów wody gruntowej w krótkim czasie do około -100 cm od powierzchni terenu.

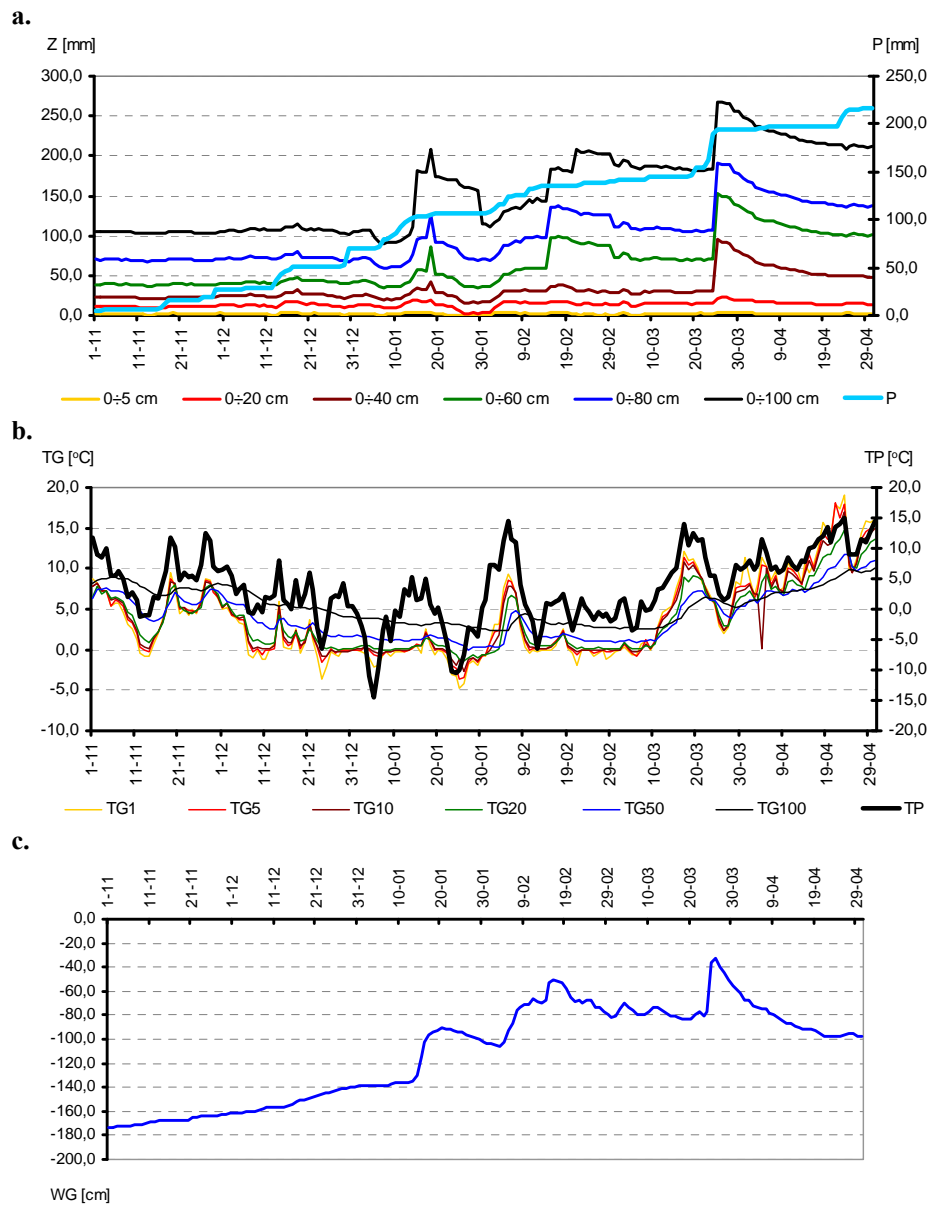
**Tabela 8**  
**Table 8**

Ekstremalne wartości zasobów wodnych gleby w mm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w poszczególnych miesiącach oraz całym okresie zimowym 2003/2004

Extreme soil water reserves values in mm under bare soil and grassy land in particular months and the whole winter period 2003/2004

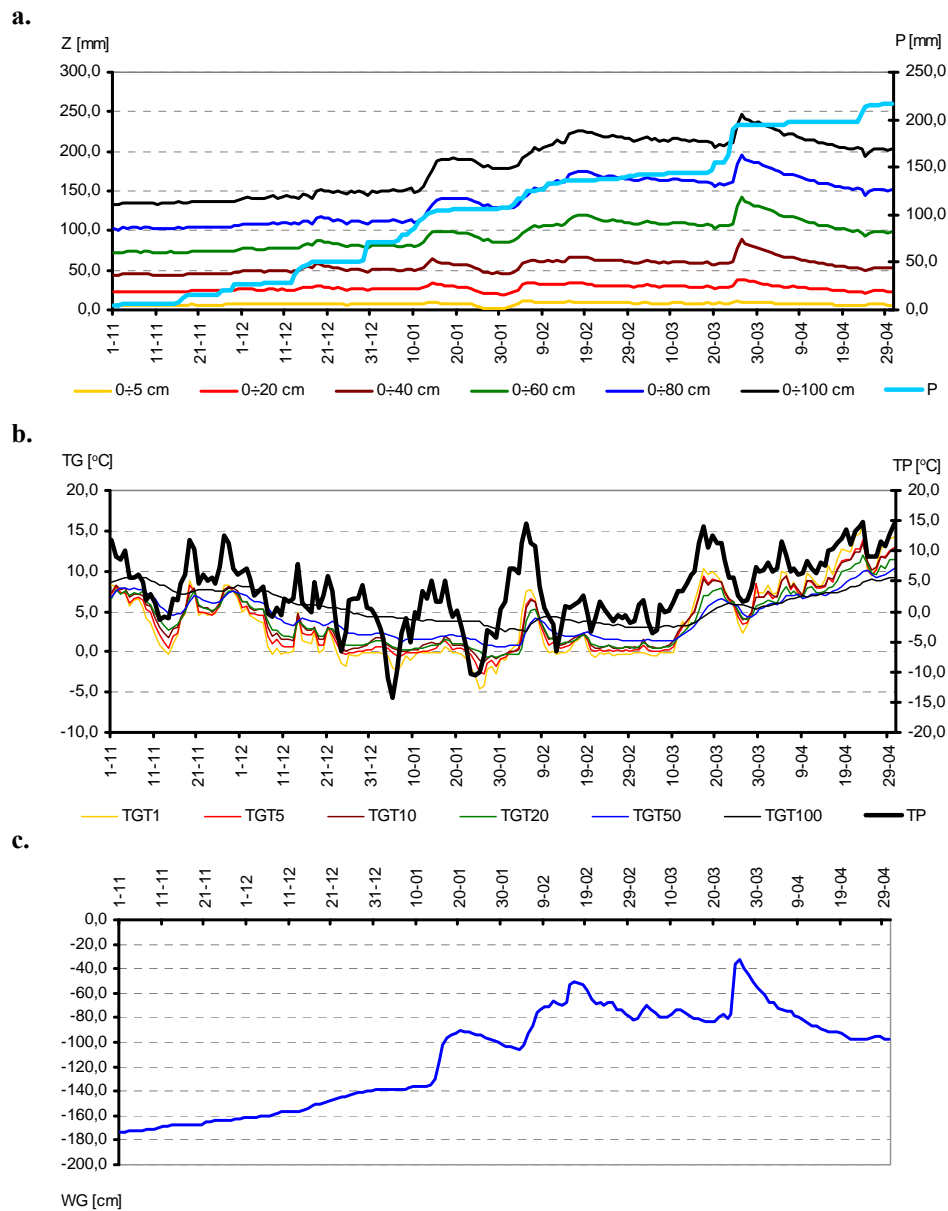
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil								
2004/2005		XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
0÷5 cm	min.	0,7	0,5	0,2	0,2	0,2	2,1	0,1
	max.	3,0	3,8	3,9	4,4	4,0	3,4	3,6
0÷20 cm	min.	9,1	9,6	2,3	4,0	11,3	13,9	3,4
	max.	13,1	18,0	18,6	18,1	22,4	18,4	22,8
0÷40 cm	min.	21,1	22,0	15,4	16,6	27,1	48,2	21,4
	max.	24,5	31,6	42,2	38,0	94,7	73,7	87,5
0÷60 cm	min.	37,1	39,0	35,1	35,6	69,1	99,3	56,8
	max.	40,6	48,4	85,1	99,1	152,3	130,1	137,9
0÷80 cm	min.	67,8	67,8	58,9	69,4	105,0	135,7	79,6
	max.	71,4	80,4	125,7	137,5	190,7	168,6	190,3
0÷100 cm	min.	102,3	102,2	90,4	111,5	181,0	208,9	104,5
	max.	105,8	115,1	208,1	208,2	267,1	246,0	272,3
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land								
2004/2005		XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
0÷5 cm	min.	6,0	5,7	2,3	3,3	7,8	5,0	2,3
	max.	7,2	8,3	9,7	12,0	11,0	8,8	12,0
0÷20 cm	min.	22,3	24,8	19,9	20,4	27,1	20,9	19,9
	max.	25,8	30,7	34,5	35,0	38,7	32,5	38,7
0÷40 cm	min.	43,5	48,2	46,0	46,3	56,1	48,9	43,5
	max.	48,2	58,3	64,2	67,1	90,1	73,5	90,1
0÷60 cm	min.	71,3	76,7	79,7	85,7	103,1	93,1	71,3
	max.	76,0	87,9	99,0	119,5	143,2	126,7	143,2
0÷80 cm	min.	101,5	107,3	110,6	128,7	155,6	144,5	101,5
	max.	106,8	117,9	141,4	175,3	196,2	180,7	196,2
0÷100 cm	min.	133,1	139,9	148,4	178,6	205,0	193,7	133,1
	max.	138,8	151,9	191,0	225,9	246,8	231,3	246,8





**Rys. 12.** Dobbne przebiegi **a.** zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą i opadów atmosferycznych, **b.** temperatury powietrza i gleby na głębokości 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm oraz **c.** stanów wody gruntowej w okresie zimowym 2003/2004

**Fig. 12.** Daily curves **a.** soil water reserves under bare soil and precipitation, **b.** air and soil temperature at depths 1÷2, 5, 10, 20, 50 and 100 cm and **c.** ground water levels in winter period 2003/2004



**Rys. 13.** Dobbowe przebiegi **a.** zasobów wodnych gleby pod powierzchnią pokrytą trawą i opadów atmosferycznych, **b.** temperatury powietrza i gleby na głębokości 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm oraz **c.** stanów wody gruntowej w okresie zimowym 2003/2004

**Fig. 13.** Daily curves **a.** soil water reserves under grassy land and precipitation, **b.** air and soil temperature at depths 1÷2, 5, 10, 20, 50 and 100 cm and **c.** ground water levels in winter period 2003/2004

Kolejny, nagły skok zasobów odnotowano 18 stycznia w warstwach 0÷40, 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm do 208,0 mm w warstwie 0÷100 cm. W dniu poprzedzającym obserwowano temperaturę powietrza wynoszącą 5,1°C oraz wyraźnie wyższą temperaturę gleby do głębokości 20 cm: od 2,6°C na głębokości 1÷2 cm do 1,5°C na głębokości 20 cm. Do końca stycznia obserwowano tendencję malejącą zasobów wodnych we wszystkich analizowanych warstwach gleby pod powierzchnią nieporośniętą, przy równoczesnym braku opadów i ujemnych dobowych wartościach temperatury powietrza oraz warstwy gleby o miąższości 0÷20 cm. W pierwszej dekadzie lutego wystąpiło wyraźne ocieplenie, a średnia dobowa temperatura powietrza dochodziła do 14,5°C. Wzrost zasobów wodnych w warstwach gleby 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm o około 40 mm zaobserwowano 15 lutego. Poprzedziła go seria dni z opadami, trwająca od początku miesiąca, których wartość wyniosła 28,3 mm. Równocześnie skokowo podnosiły się stany wody gruntowej, o około 50 cm do głębokości -51 cm od powierzchni terenu.

Dodatkowo w warstwie 0÷100 cm nagły skok zasobów wodnych o 27,0 mm wystąpił 21 lutego. Do końca miesiąca, z wyjątkiem warstw 0÷60 oraz 0÷80 cm, zasoby wodne gleby wykazywały stabilne wartości. Ich spadek, wyraźny w przypadku warstw 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm, o około 15,0 mm odnotowano 1 marca. Równoległe obserwowano ujemne wartości średniej dobowej temperatury powietrza oraz gleby do głębokości 10 cm, a także obniżanie się zwierciadła wody gruntowej o około 30 cm do głębokości -82 cm od powierzchni terenu. Natomiast 3 marca po uprzednich opadach, których wartość skumulowana wyniosła 3,7 mm, dodatnich wartościach temperatury powietrza oraz gleby odnotowano niewielki, lecz widoczny we wszystkich warstwach wzrost zasobów wodnych, od 2,0 mm w warstwie 0÷5 cm do 7,0 mm w warstwach 0÷80 cm oraz 0÷100 cm. Po opadach, jakie wystąpiły w dniach 19 i 20 marca o łącznej sumie 10,4 mm oraz 20 marca (8,4 mm), nie zaobserwowano reakcji zasobów wodnych w żadnej z analizowanych warstw gleby.

Znaczna zmiana zasobów wodnych wystąpiła 25 marca w warstwach 0÷40, 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm i wahała się od 64,0 mm dla warstwy gleby 0÷40 cm do 84,0 mm w warstwie 0÷100 cm, natomiast w warstwach o miąższości 0÷5 i 0÷20 cm wzrost zasobów wyniósł około 5,0 mm. Wysokie opady atmosferyczne, których wartość skumulowana mierzyła 40,2 mm, obserwowano od 23 do 25 marca. Wyraźne ocieplenie nastąpiło w 2 dekadzie marca, a średnie dobowe temperatury powietrza oraz gleby przyjmowały wartości dodatnie, dochodzące do 14,0°C w przypadku temperatury powietrza. Tej gwałtownej zmianie zasobów wodnych gleby w warstwach 0÷40 cm i o większej miąższości towarzyszył równoczesny gwałtowny skok zwierciadła wody gruntowej o około 50 cm, osiągając stan -36 cm na dzień 25 marca, które nieprzerwanie podnosiło się, i 26 marca osiągnęło stan maksymalny w analizowanym okresie zimowym 2003/2004, wynoszący -33 cm.

Zasoby wodne gleby od końca marca do 30 kwietnia wykazywały tendencję malejącą, wyraźnie widoczną w przypadku warstw 0÷40, 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm, o około 30,0 mm (rys. 12). W tym czasie obserwowano liniowy spadek zwierciadła wody gruntowej do -98 cm na koniec umownie przyjętego okresu zimowego. Opady o łącznej wysokości 18,2 mm, trwające w dniach od 23 do 25 kwietnia, nie spowodowały widocznej zmiany zasobów wodnych analizowanych warstw gleby.

Zasoby wodne gleby na dzień 30 kwietnia wzrosły o 26,0 mm w warstwie 0÷40 cm, o 61,0 mm w warstwie 0÷60 cm, o 68,0 mm w warstwie 0÷80 cm i o 106,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Natomiast w warstwach 0÷5 i 0÷20 cm kształtowały się na poziomie zbliżonym do wartości notowanych na początku listopada. Można zatem stwierdzić, że warunki agrometeorologiczne analizowanego półrocza sprzyjały odtwarzaniu wyczerpanych w okresie wegetacji zasobów wodnych gleby nieporośniętej. Dla warstwy 0÷100 stan bliski pojemności wodnej, która dla gleb na Swojcu wynosi średnio 217,0 mm, nieprzerwanie utrzymywał się od 25 marca i na dzień 30 kwietnia wynosił 211,5 mm.

W okresie zimowym 2003/2004 obserwowano tendencję wzrostową zasobów wodnych we wszystkich analizowanych w pracy warstwach gleby pod powierzchnią pokrytą trawą, wyraźnie zaznaczającą się w warstwach 0÷40, 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm. W listopadzie, w każdej z analizowanych warstw gleby obserwowano najmniejszą zmienność wartości. Największe wahania zasobów wystąpiły w lutym w warstwach 0÷5, 0÷80 i 0÷100 cm, w styczniu i lutym w 0÷20 cm, a w 0÷40 cm oraz 0÷60 cm w marcu (tab. 8).

Zasoby wodne gleby pod powierzchnią pokrytą trawą w listopadzie nie wykazywały wyraźnych wahań. Niskie opady o skumulowanej wartości 26,5 mm na koniec miesiąca nie powodowały ich widocznych zmian. Ponadto zwierciadło wody gruntowej na początku okresu zimowego zalegało na głębokości -173 cm i w przeciągu miesiąca podniosło się nieznacznie o 10 cm (rys. 13).

Po serii dni z opadem, trwającej od 11 do 17 grudnia, o skumulowanej wartości 22,1 mm zareagowały warstwy gleby 0÷40 cm i o większej miąższości, a wahania zasobów dochodziły do 10 mm w warstwie 0÷100 cm. Równocześnie obserwowano dodatnie średnie dobowe wartości temperatury powietrza oraz gleby. Wysoką stabilnością charakteryzowały się zasoby wodne wszystkich warstw do 2 dekady stycznia. Po jednorazowym opadzie w wysokości 17,9 mm, jaki wystąpił 30 grudnia, zaobserwowano wzrost ich wartości od 1,0 mm w warstwie 0÷5 cm do 6,0 mm w warstwie 0÷100 cm, przy dodatniej średniej dobowej wartości temperatury powietrza i gleby, z wyjątkiem jej warstwy o miąższości 1÷2 cm.

Wzrost zasobów obserwowano w dniach od 12 do 21 stycznia, a wartości wyraźnie podniosły się od 4,0 mm w warstwie 0÷40 cm do 36,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Poprzedzony był on opadami trwającymi od 6 do 20 stycznia o skumulowanej wartości 36,1 mm oraz wzrostem temperatury powietrza, czego efektem był gwałtowny wzrost poziomu zalegania zwierciadła wody gruntowej o 45 cm, do głębokości -90 cm od powierzchni terenu. W przypadku pozostałych warstw największy skok obserwowano 14 stycznia. Podwyższone wartości utrzymywały się do 24 stycznia w warstwach gleby 0÷60 cm, 0÷80 cm oraz 0÷100 cm, podczas gdy w warstwach o mniejszej miąższości wykazywały charakter malejący.

Seria dni z opadem o skumulowanej wartości 28,7 mm wystąpiła od 1 do 18 lutego. W pierwszej dekadzie miesiąca obserwowano dość wysokie średnie dobowe wartości temperatury powietrza, dochodzące do 14,5°C oraz wzrost temperatury gleby do głębokości 100 cm, natomiast w 2 dekadzie lutego – wyraźne ochłodzenie. Równocześnie poziom zwierciadła wody gruntowej podniósł się o 37 cm do głębokości -66 cm, a 16 stycznia gwałtownie o 17 cm, do -49 cm od powierzchni terenu. W tych dniach obserwowano wahania zasobów wodnych gleby w warstwach 0÷5, 0÷20 oraz 0÷40 cm,

natomiast w warstwach o większej miąższości wykazywały one charakter rosnący, przy niewielkich dobowych fluktuacjach. Zasoby wodne skokowo wzrosły 15 lutego, wyraźnie zwłaszcza w warstwach 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm, do 10,0 mm w warstwie 0÷100 cm.

W warstwach 0÷40 cm i o większej miąższości obserwowano tendencję malejącą zasobów wodnych gleby do 3 dekady marca, natomiast ich wartości w przypadku warstw 0÷5 i 0÷20 cm charakteryzowały się dużą stabilnością. Przy ujemnych średnich dobowych wartościach temperatury powietrza, w większości przypadków, występowało przemarzanie gleby do głębokości 20 cm, a wyraźne ocieplenie obserwowano z początkiem 2 dekady marca.

Skokowy wzrost zasobów wodnych we wszystkich analizowanych warstwach gleby pod powierzchnią pokrytą trawą nastąpił 26 marca. W warstwach 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm osiągnęły one swe maksymalne wartości w okresie zimowym 2003/2004, wynoszące odpowiednio: 39,0 mm w warstwie 0÷20 cm, 90,0 mm w warstwie 0÷40 cm, 143,0 mm w warstwie 0÷60 cm, 196,0 mm w warstwie 0÷80 cm i 247,0 mm w warstwie gleby 0÷100 cm. Wzrost wartości wahał się od 9,0 mm w warstwie 0÷20 cm do 36,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Poprzedzony był wysokimi opadami trwającymi od 23 do 25 marca, o skumulowanej wartości 40,2 mm oraz wystąpieniem dodatnich średnich dobowych wartości temperatury powietrza oraz gleby. W efekcie stany wody gruntowej gwałtownie podniosły się o 44 cm do głębokości -33 cm na dzień 26 marca.

Do końca okresu zimowego 2003/2004 zasoby wodne gleby pod powierzchnią pokrytą trawą wykazywały tendencję malejącą. Po opadach, jakie wystąpiły od 23 do 25 kwietnia, o skumulowanej wartości 18,2 mm obserwowano niewielki ich wzrost, maksymalnie o 4,0 mm w warstwie gleby 0÷100 cm. Jednocześnie wyraźnie obniżył się poziom zalegania zwierciadła wody gruntowej do -98 cm od powierzchni terenu na koniec kwietnia.

Nie stwierdzono zmian zasobów wodnych w warstwach gleby 0÷5 oraz 0÷20 cm na dzień 30 kwietnia w porównaniu do wartości notowanych na początku listopada analizowanego półrocza zimowego. W warstwach o większej miąższości zaobserwowano ich wzrost w stosunku do wartości początkowych o 10,0 mm w warstwie 0÷40, o 27,0 mm w warstwie 0÷60 cm, o 50,0 mm w warstwie 0÷80 cm i o 69,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Stan bliski pojemności polowej w warstwie gleby o miąższości 100 cm notowano od 2 dekady lutego do końca okresu zimowego 2003/2004.

### **5.3. Okres zimowy 2004/2005**

W okresie zimowym 2004/2005 obserwowano tendencję wzrostową zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą w warstwach 0÷40, 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm. Ich analiza w poszczególnych miesiącach wskazuje, że najmniejsze różnice wartości ekstremalnych wystąpiły w kwietniu w przypadku warstw 0÷5 cm oraz 0÷20 cm, natomiast w pozostałych przypadkach w grudniu. Największe wahania zasobów stwierdzono w lutym w warstwach 0÷5 oraz 0÷20 cm, a w warstwach 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm w marcu (tab. 9).

Zarówno w listopadzie, grudniu a także w 1 i 2 dekadzie stycznia nie obserwowano wyraźnych fluktuacji zasobów wodnych w analizowanych warstwach gleby (rys. 14). Na skutek opadów, jakie wystąpiły od 4 do 9 listopada o skumulowanej wartości 32,3 mm, zasoby wodne w warstwach 0÷20 cm i o większej miąższości wzrosły zaledwie o 3,0 mm. Dopiero od 19 listopada w efekcie wysokich i częstych opadów, których skumulowana wartość od początku miesiąca wynosiła 70,9 mm, wykazano wzrost zapasu wody w glebie we wszystkich warstwach, przy czym tendencja ta do końca listopada utrzymywała się tylko w warstwie 0÷100 cm. Opadom towarzyszyły dodatnie temperatury powietrza oraz gleby. Zanotowano także wzrost stanów wody gruntowej, zwłaszcza w 3 dekadzie listopada, które na koniec miesiąca osiągnęły -126 cm od powierzchni terenu.

Zasoby wodne w każdej warstwie w 1 i 2 dekadzie grudnia charakteryzowały się dość stabilnym przebiegiem. Równocześnie występowały przeważnie dodatnie średnie dobowe wartości temperatury powietrza, częściej natomiast stwierdzano przemarzanie gleby do głębokości 10 cm, brak opadów atmosferycznych oraz wahań zwierciadła wody gruntowej.

Wyraźne wahania zasobów wodnych w warstwie 0÷100 cm wystąpiły w 3 dekadzie stycznia oraz 1 dekadzie lutego. Stopniowy ich wzrost o około 40,0 mm obserwowano od 20 do 27 stycznia, a następnie ich spadek na dzień 31 stycznia o podobną wartość. Równoległe ze wzrostem 20 stycznia wystąpił opad w wysokości 17,1 mm, dodatnia temperatura powietrza oraz gleby, która w kolejnych dniach obniżała się do wartości ujemnych. W tym też czasie poziom zwierciadła wody gruntowej podniósł się o 10 cm. Takich wahań nie wykazano w przypadku pozostałych warstw.

Kolejny wzrost wartości, widoczny tylko w przypadku warstwy 0÷100 cm, wystąpił od 2 do 4 lutego, przy stabilnym poziomie zwierciadła wody gruntowej i średniej dobowej temperaturze powietrza od -0,6°C do 1,0°C. Warstwa gleby o miąższości 1÷2 cm była w tych dniach zamrznięta.

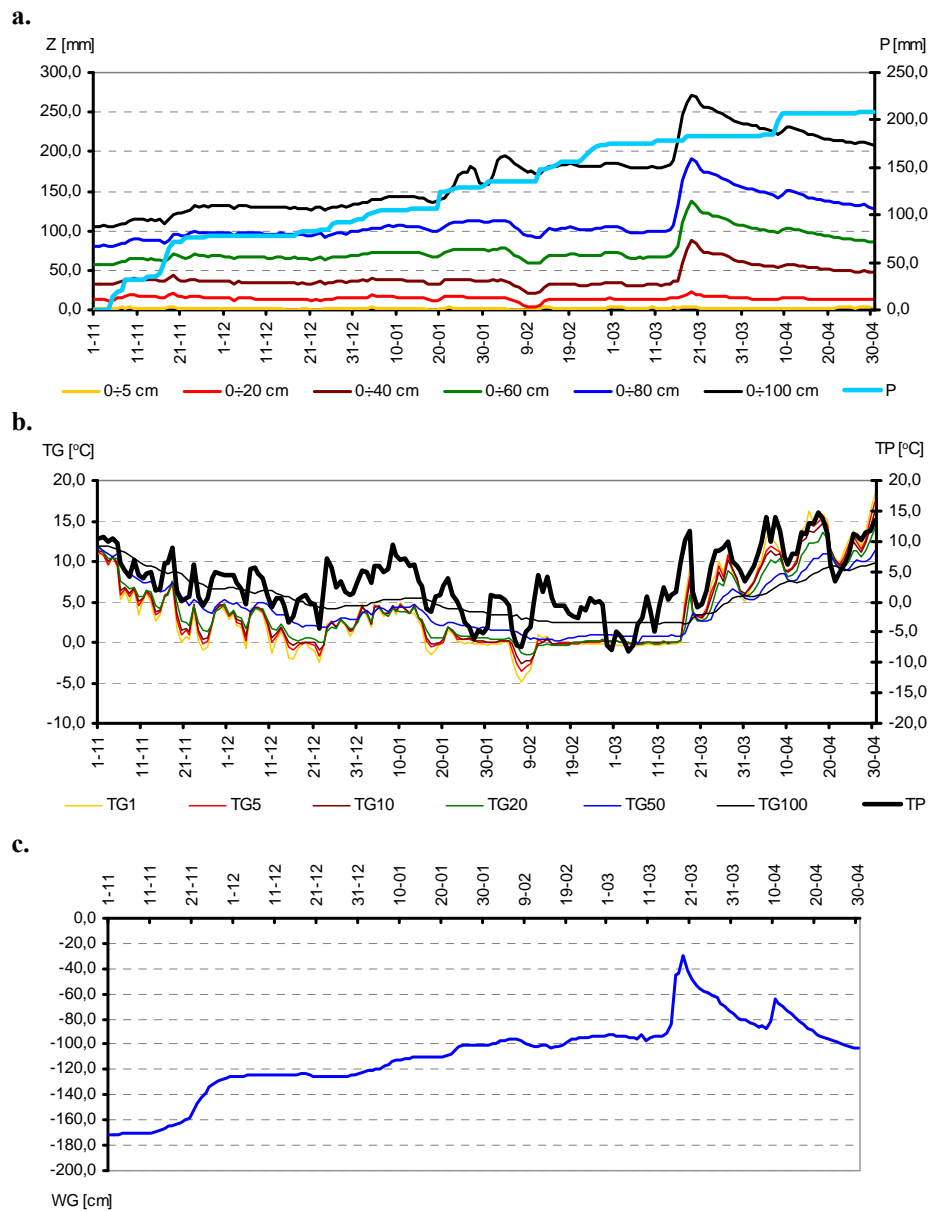
Nie obserwowano wyraźnych fluktuacji zasobów wodnych w analizowanych warstwach gleby do 2 dekady marca. Ich gwałtowny skok w warstwach 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm nastąpił od 17 do 19 marca, wahający się od 7,0 mm w warstwie 0÷20 cm do 83,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Zasoby wodne w każdej z wymienionych warstw osiągnęły wartości maksymalne w analizowanym okresie zimowym, od 22,8 mm w warstwie 0÷20 cm do 272,3 mm w warstwie 0÷100 cm. Wzrost ten poprzedzony był serią dni z dodatnią średnią dobową temperaturą powietrza oraz stopniowym rozmarzaniem wierzchniej warstwy gleby. W następstwie wzrostu temperatury powietrza oraz gleby 19 marca poziom zwierciadła wody gruntowej gwałtownie podniósł się o 60 cm, osiągając stan maksymalny w okresie zimowym 2004/2005 wynoszący -30 cm od powierzchni terenu.

**Tabela 9**  
**Table 9**

Ekstremalne wartości zasobów wodnych gleby w mm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w poszczególnych miesiącach oraz całym okresie zimowym 2004/2005

Extreme soil water reserves values in mm under bare soil and grassy land in particular months and the whole winter period 2004/2005

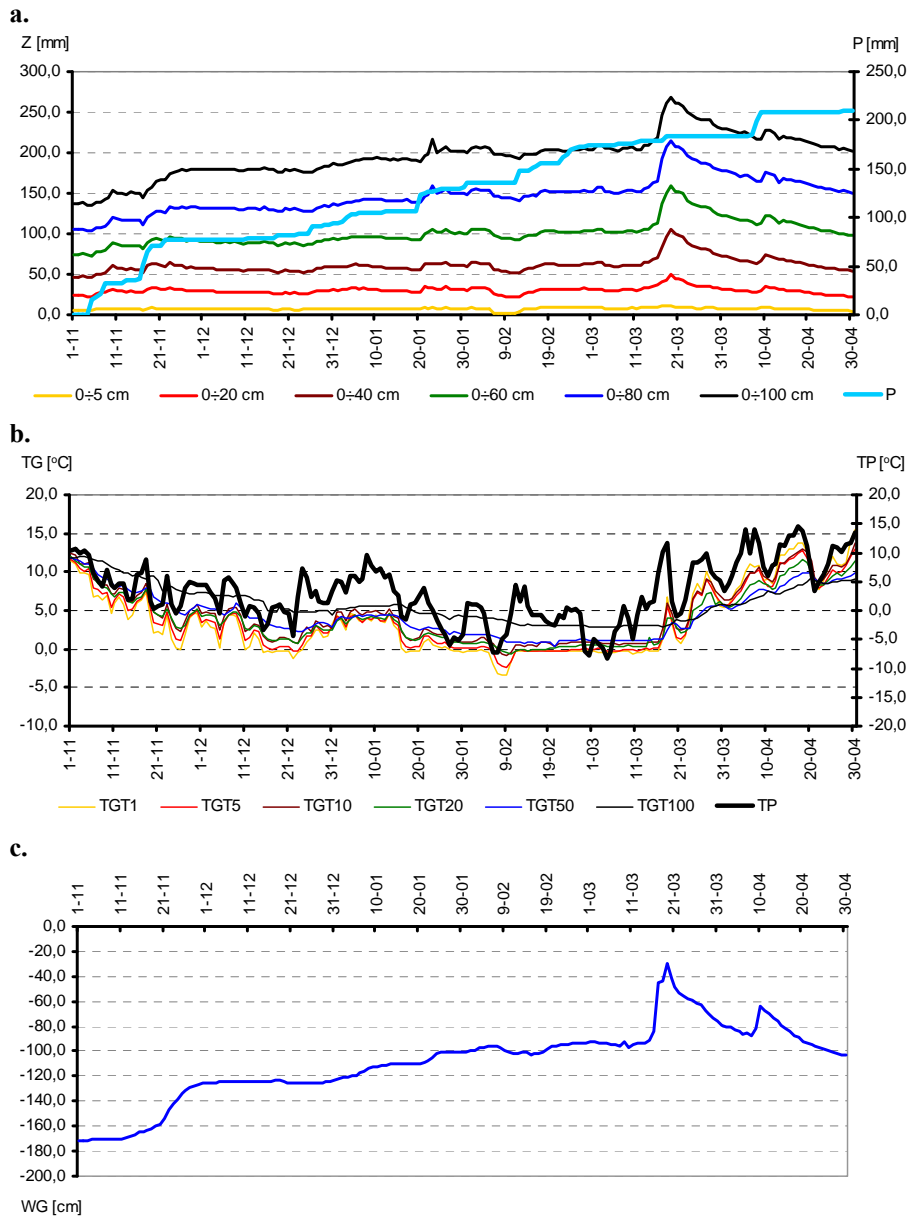
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil								
2004/2005		XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
0÷5 cm	min.	1,3	0,1	0,2	0,5	1,4	1,3	0,1
	max.	3,6	2,2	3,1	3,5	3,5	3,0	3,6
0÷20 cm	min.	12,3	11,5	11,4	3,4	12,8	13,3	3,4
	max.	21,1	16,0	18,3	16,0	22,8	15,7	22,8
0÷40 cm	min.	32,0	32,1	31,7	21,4	30,3	47,0	21,4
	max.	43,5	36,6	39,5	37,9	87,5	59,5	87,5
0÷60 cm	min.	56,8	63,4	66,7	58,4	65,6	85,2	56,8
	max.	70,6	68,9	76,8	77,9	137,9	105,3	137,9
0÷80 cm	min.	79,6	92,4	99,3	92,0	97,7	128,6	79,6
	max.	99,7	99,5	113,2	113,6	190,3	153,8	190,3
0÷100 cm	min.	104,5	125,4	134,4	170,6	179,0	207,8	104,5
	max.	132,1	134,5	181,7	194,1	272,3	234,9	272,3
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land								
2004/2005		XI	XII	I	II	III	IV	XI – IV
0÷5 cm	min.	5,4	6,4	6,7	2,0	7,1	4,5	2,0
	max.	8,7	7,8	9,6	9,2	10,7	9,2	10,7
0÷20 cm	min.	22,5	25,9	27,8	22,2	29,8	22,7	22,2
	max.	33,9	31,0	34,5	34,2	50,4	35,2	50,4
0÷40 cm	min.	45,7	52,5	55,9	51,4	59,8	54,1	45,7
	max.	64,4	59,8	65,5	64,9	105,0	73,5	105,0
0÷60 cm	min.	72,9	85,6	92,7	92,1	101,0	97,9	72,9
	max.	96,0	94,4	106,1	105,4	158,7	122,4	158,7
0÷80 cm	min.	103,1	127,3	135,8	141,1	150,6	149,9	103,1
	max.	133,8	137,0	159,6	154,7	214,8	177,0	214,8
0÷100 cm	min.	134,9	175,1	184,4	193,1	202,4	202,3	134,9
	max.	180,2	186,6	216,4	206,7	268,6	229,8	268,6



**Rys. 14.** Dobowe przebiegi: **a.** zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą i opadów atmosferycznych, **b.** temperatury powietrza i gleby na głębokości 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm oraz **c.** stanów wody gruntowej w okresie zimowym 2004/2005

**Fig. 14.** Daily curves: **a.** soil water reserves under grassy land and precipitation, **b.** air and soil temperature at depths 1÷2, 5, 10, 20, 50 and 100 cm and **c.** ground water levels in winter period 2003/2004





**Rys. 15.** Dobowe przebiegi: **a.** zasobów wodnych gleby pod powierzchnią pokrytą trawą i opadów atmosferycznych, **b.** temperatury powietrza i gleby na głębokości 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm oraz **c.** stanów wody gruntowej w okresie zimowym 2004/2005

**Fig. 15.** Daily curves: **a.** soil water reserves under grassy land and precipitation, **b.** air and soil temperature at depths 1÷2, 5, 10, 20, 50 and 100 cm and **c.** ground water levels in winter period 2003/2004

Do końca analizowanego półrocza zimowego zauważono tendencję malejącą zasobów wodnych gleby w warstwach 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm. Po opadach atmosferycznych, jakie wystąpiły 8 i 9 kwietnia, o skumulowanej wartości 23,1 mm oraz gwałtownym podniesieniu się zwierciadła wody gruntowej o 18 cm, odnotowano wzrost zapasów wody w warstwach gleby 0÷40 cm i o większej miąższości o około 6,0 mm, a w kolejnych dniach dalszy liniowy ich spadek. Porównując wartości zasobów wodnych gleby z początku analizowanego okresu zimowego, stwierdzono ich wzrost o 14,0 mm w warstwie 0÷40 cm, o 27,0 mm w warstwie 0÷60 cm, o 48,0 mm w warstwie 0÷80 cm i o 102,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Istotnych zmian nie obserwowano w przypadku warstw 0÷5 cm oraz 0÷20 cm. Stan bliski połowej pojemności wodnej w warstwie gleby 0÷100 cm utrzymywał się od 3 dekady marca do końca analizowanego okresu zimowego.

Zasoby wodne w warstwach gleby 0÷40, 0÷60, 0÷80 oraz 0÷100 cm pod powierzchnią pokrytą trawą wykazywały tendencję wzrostową na przestrzeni półrocza zimowego 2004/2005, natomiast w warstwach 0÷5 oraz 0÷20 cm nie obserwowano ich wyraźnych zmian (rys. 15). Analiza dla poszczególnych miesięcy wykazała najmniejszą zmienność wartości w grudniu dla wszystkich wziętych pod uwagę warstw gleby, największy ich rozrzut w lutym dla warstwy 0÷5 cm, natomiast w przypadku warstw o większej miąższości – w marcu (tab. 9).

Wzrost zasobów wodnych gleby stwierdzono 10 listopada, od 4,0 mm w warstwie 0÷20 cm do 10,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Warstwa gleby o miąższości 0÷5 cm zareagowała dzień wcześniej niewielkim wzrostem, zaledwie o 1,0 mm. Sytuacja ta poprzedzona była serią dni z opadem o skumulowanej wartości 32,3 mm. Niewielki skok zasobów w warstwach 0÷5, 0÷20 i 0÷40 cm obserwowano 18 i 19 listopada, a następnie ich malejącą tendencję do 3 dekady grudnia. Wzrost ten poprzedzały opady trwające od 12. listopada, o skumulowanej wartości 39,4 mm. W przypadku pozostałych warstw podwyższone wartości utrzymywały się do 3 dekady grudnia. Stany wody gruntowej podniosły się o około 28 cm do głębokości -126 cm w 3 dekadzie listopada i stan ten utrzymywał się do końca grudnia. Należy wspomnieć, że grudzień i styczeń w okresie zimowym 2004/2005 sklasyfikowano jako miesiące ciepły oraz bardzo ciepły, a ujemne średnie dobowe wartości temperatury gleby obserwowano tylko na głębokości 1÷2 cm.

Wyraźne fluktuacje zasobów wodnych gleby w warstwach do głębokości 100 cm nie występowały do 3 dekady stycznia. Opady w 2 dekadzie grudnia nie powodowały ich istotnego wzrostu, chociaż w przypadku warstw 0÷60 cm i o większej miąższości widoczna była niewielka tendencja rosnąca do 3 dekady stycznia.

Znaczną zmianę zasobów wodnych gleby we wszystkich analizowanych warstwach odnotowano 21 stycznia, poprzedzoną jednorazowym opadem atmosferycznym w wysokości 17,1 mm. W warstwie 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm kolejny skok wartości zaobserwowano 2 dni później, odpowiednio o 4,0, 12,0 i 17,0 mm, a stan wody gruntowej podniósł się jednocześnie o 3 cm, do głębokości -105 cm. Do końca stycznia stwierdzono częste, ale niskie opady atmosferyczne, przeważnie ujemne średnie dobowe wartości temperatury powietrza, a pod koniec miesiąca także i wierzchniej warstwy gleby.

Zasoby wodne gleby wzrosły 1 lutego od 1,0 mm w warstwie 0÷5 cm do 6,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Opad atmosferyczny w wysokości 4,7 mm wystąpił 31 stycznia i równocześnie obserwowano wzrost temperatury powietrza, podczas gdy wierzchnia

warstwa gleby (1÷2 cm) była zamrożona. Natomiast od 6 do 12 lutego zanotowano nieznaczny spadek wilgotności, przy równocześnie występujących ujemnych średnich dobowych wartościach temperatury powietrza do  $-7,4^{\circ}\text{C}$ , przemarzaniu gleby do głębokości 20 cm oraz stabilnym zwierciadle wody gruntowej. Opad o skumulowanej wartości 20,1 mm obserwowano od 10 do 17 lutego, przy czym jednorazowa jego wysokość w dniu 12 lutego wyniosła 12,5 mm. W efekcie zasoby wodne w analizowanych warstwach wzrastały przez kolejne dni.

Nie obserwowano wysokich dobowych fluktuacji zasobów wodnych gleby do 17 marca. Średnia dobową temperatura powietrza oraz gleby do głębokości 10 cm do 2. dekady marca utrzymywała się poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ , a jej wierzchnia warstwa (1÷2 cm) przemarznięta była do 17 marca. Niewielki skok zasobów widoczny we wszystkich analizowanych warstwach gleby, do 3,0 mm w warstwie gleby 0÷100 mm, wystąpił jedynie 27 lutego. Poprzedzała go seria opadów o wartości 17,8 mm, natomiast stany wody gruntowej kształtowały się na poziomie -93 cm.

Zapas wody w warstwach 0÷20 cm i o większej miąższości gwałtownie zwiększył się 17 marca. Już kilka dni wcześniej zanotowano dodatnie średnie dobowe wartości temperatury powietrza, jednak wierzchnia warstwa gleby nadal była przemarznięta. W ciągu doby zwierciadło wody gruntowej podniosło się o 39 cm do wartości -45 cm od powierzchni terenu na dzień 17 marca, natomiast 19 marca osiągnęło stan maksymalny w okresie zimowym 2004/2005, wynoszący -30 cm. Jednocześnie zasoby wodne gleby osiągnęły wartości maksymalne w analizowanym okresie zimowym, wynoszące 50,0 mm w warstwie 0÷20 cm, 105,0 mm w warstwie 0÷40 cm, 159,0 mm w warstwie 0÷60 cm, 215,0 mm w warstwie 0÷80 cm oraz 269,0 mm w warstwie 0÷100 cm. Do drugiej dekady kwietnia wykazywały one tendencję malejącą we wszystkich analizowanych warstwach.

Wzrost wilgotności gleby stwierdzono 10 kwietnia w jej wierzchniej warstwie, natomiast w pozostałych przypadkach wartości wyraźnie wzrosły dzień później, średnio o około 10 mm. Sytuacja ta poprzedzona była wystąpieniem dość wysokich opadów atmosferycznych w dniach 8 i 9 kwietnia, o skumulowanej wartości 23,1 mm, w efekcie których stan wody gruntowej w ciągu doby podniósł się o 18 cm, do -64 cm na dzień 10 kwietnia. Liniowy spadek zapasu wody w analizowanych warstwach gleby pod powierzchnią pokrytą trawą obserwowano do 30 kwietnia, przy braku opadów atmosferycznych, wzroście temperatury powietrza i gleby oraz obniżaniu się stanów wody gruntowej do -103 cm na koniec półrocza zimowego. Zasoby wodne bliskie połowej pojemności wodnej w warstwie gleby o miąższości 100 cm utrzymywały się, z małymi wyjątkami, od 23 stycznia. Na koniec okresu zimowego 2004/2005 wzrost zasobów wodnych gleby obserwowano w warstwach 0÷40 cm i o większej miąższości, a wahał się on od 7,0 mm w warstwie 0÷40 cm do 65,0 mm w warstwie 0÷100 mm.

Dynamika zasobów wodnych gleby w okresach zimowych 2002/2003, 2003/2004 i 2004/2005 była zróżnicowana niezależnie od rodzaju powierzchni. Z analizy porównawczej obu powierzchni wynika, że zasoby wodne pod trawnikiem charakteryzowały się wyraźnie mniejszymi wahaniami w porównaniu do łąki. Zmiany wartości pod obiema powierzchniami obserwowano w zbliżonych terminach, ale w przypadku powierzchni pokrytej trawą – zwykle nieco później, a wzrost wartości był mniejszy. Jedynie w okresie zimowym 2002/2003 warunki agrometeorologiczne nie sprzyjały odtwarzaniu

zasobów wodnych gleby pod obiema powierzchniami. Jednak pod powierzchnią pokrytą trawą, w odróżnieniu od nieporośniętej, nie odnotowano znacznego ich wyczerpania, a stan bliski polowej pojemności wodnej w warstwie gleby 0÷100 cm był osiągnięty prawie w całym półroczu 2002/2003. Natomiast w okresach zimowych 2003/2004 oraz 2004/2005 zasoby wodne gleby pod obiema powierzchniami wykazywały tendencję rosnącą, a ich wartości wyraźnie wzrosły, zwłaszcza w warstwach 0÷60 cm i o większej miąższości. O ile w pierwszym sezonie badań (2002/2003) warunki wilgotnościowe pod obiema powierzchniami na początku okresu zimowego były podobne, o tyle w drugim i trzecim większe zasoby notowano w warstwach gleby pod powierzchnią pokrytą trawą, jednak pod koniec kwietnia były one zbliżone w obu przypadkach. W tych też okresach zaobserwowano podobną sytuację: gwałtownie wzrosły wartości zasobów pod koniec drugiej dekady (2004/2005) i w trzeciej dekadzie marca (2003/2004), na skutek równie gwałtownych zmian zwierciadła wody gruntowej do wartości maksymalnych. W tym też czasie zasoby wodne gleby w warstwach 0÷20 cm i o większej miąższości osiągnęły wartości maksymalne w analizowanych półroczach i choć do końca okresu zimowego wykazywały tendencję malejącą, jednak przez cały ten czas w warstwie 0÷100 cm utrzymywał się stan bliski polowej pojemności wodnej.

## **6. ZALEŻNOŚCI MIĘDZY ZASOBAMI WODNYMI GLEBY A ELEMENTAMI AGROMETEOROLOGICZNYMI**

Zgodnie z przyjętą metodyką, opisaną w rozdziale 3.3, w pierwszej kolejności obliczono pojedyncze korelacje pomiędzy zasobami wodnymi w każdej z sześciu analizowanych warstw gleby: 0÷5, 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą, obliczonymi na podstawie bezpośrednich pomiarów wilgotności z zastosowaniem techniki TDR, a wybranymi elementami agrometeorologicznymi osobno.

Ciąg zmiennych zależnych to dobowe wartości zasobów wodnych gleby z całego okresu zimowego, natomiast zmienne niezależne stanowiły, wygenerowane z wartości dobowych, od 1 do 15 ciągów każdego analizowanego w pracy elementu agrometeorologicznego osobno. Dla każdego dnia w poszczególnych miesiącach i całych okresach zimowych dopasowano ciągi elementów agrometeorologicznych w formie sum lub średnich za okresy od 1 do 15 dni poprzedzających termin, na który obliczono zasoby wodne gleby. W przypadku opadów atmosferycznych, które są zjawiskiem o charakterze losowym – a stanowiących główne źródło przychodu wody do powierzchni – notowane dobowe wartości sumowano. Natomiast dobowe wartości stanów wody gruntowej i temperatury powietrza oraz gleby na głębokościach 1÷2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm, mających charakter ciągły, uśredniano. Ilość zmiennych opisujących w postaci temperatury gleby na sześciu głębokościach zależna była od miąższości warstwy gleby. Na przykład dla warstwy 0÷5 cm uwzględniano temperaturę gleby z głębokości 1÷2 cm i 5 cm, a dla warstwy 0÷60 cm z głębokości 1÷2, 5, 10, 20 i 50 cm.

Pojedyncze korelacje, wyrażone wartościami współczynników korelacji R, wyznaczano pomiędzy zasobami wodnymi każdej z analizowanych warstw gleby a wygenerowanymi ciągami wartości elementu agrometeorologicznego, dla każdego z 15 kroków czasowych osobno. Powyższą metodykę zastosowano dla przedziału czasowego: miesiąc (od listopada do kwietnia) i cały okres zimowy (2002/2003, 2003/2004, 2004/2005) oraz dla okresów 2002–2004, 2002–2005 (powstałych poprzez połączenie dwóch i trzech kolejnych okresów zimowych) analogicznie dla poszczególnych miesięcy i całych półroczy. Działanie to miało na celu już na samym początku wyodrębnienie tych elementów agrometeorologicznych, które w istotny sposób wpływają na zasoby wodne gleby w okresie zimowym. Jednocześnie istniała możliwość oceny okresu poprzedzającego termin pomiaru wilgotności gleby, z jakiego te dane meteorologiczne pochodzą.

Kolejnym etapem prowadzonych analiz było wyprowadzenie równań opisujących zasoby wodne gleby w warstwach 0÷5, 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą, w poszczególnych miesiącach i całych okresach

zimowych 2002/2003, 2003/2004 i 2004/2005. Analizy takie wykonano również dla dłuższych okresów, powstałych poprzez połączenie dwóch i trzech kolejnych okresów zimowych, analogicznie dla miesięcy i całych półroczy. Ze względu na dużą liczebność zmiennych wybranych w drugim etapie (rozdział 3.3) – przeprowadzono dalszą, pośrednią ich selekcję, wykorzystując w tym celu analizę regresji wielokrotnej. Na jej podstawie wybrano tylko zmienne istotne. W oparciu o tak stworzoną bazę, posługując się analizą regresji wielokrotnej, wyłoniono ostateczne – najważniejsze zbiory zmiennych niezależnych w najlepszy sposób opisujący zasoby wodne gleby, w poszczególnych warstwach pod obiema powierzchniami. Dla oceny wartości uzyskanych końcowych równań regresji wyliczono poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$  i standardowe błędy estymacji równań (SE). W celu uniknięcia przeparametryzowania wyprowadzonych formuł przyjęto liczbę zmiennych opisujących w równaniach nie większą od sześciu. Znaczna liczba wyprowadzonych równań oraz różnorodność zmiennych do nich wchodzących spowodowała, że przy ich interpretacji zwracano uwagę przede wszystkim na te zmienne, które wnoszą największą ilość informacji o zasobach wodnych gleby do wyprowadzonych formuł. W tym celu wykorzystywano wartości cząstkowych współczynników determinacji  $R_{cz}^2$ , opisujących „czysty” wkład danej zmiennej niezależnej w wyjaśnienie zmiennej zależnej [Stanisz 2001]. W tab. od 10 do 44 zestawiono wyprowadzone równania regresji dla obu powierzchni, wartości współczynników determinacji i standardowe błędy estymacji. Przy wyprowadzonych formułach podano wartości poprawionych współczynników determinacji ( $R_p^2$ ), uwzględniające fakt, że  $R_p^2$  jest obliczone z określonej próby, a nie z całej populacji i jest zawsze mniejsze od współczynników determinacji  $R^2$ . Natomiast wartości cząstkowych współczynników determinacji są niepoprawionymi, co nie zmienia istotności wygenerowanych równań. Przykładowo w tab. 10 przedstawiono wyprowadzone równania regresji dla określania zasobów wodnych gleby w listopadzie, w okresie zimowym 2002/2003 dla powierzchni nieporośniętej oraz pokrytej trawą. W pierwszej kolumnie zestawiono warstwy gleby, w drugiej – formuły opisujące ich zasoby wodne, w trzeciej – wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$ , a w czwartej – wartości standardowych błędów estymacji SE. W drugiej części tabeli symbolami od  $x_1$  do  $x_6$  oznaczono zmienne opisujące, które weszły do wyprowadzonych równań. Pierwsza kolumna zawiera symbol, a kolejne pięć zmiennych opisujące dla poszczególnych warstw pod obiema powierzchniami. Wartości  $R_p^2$  zawarte w tabeli są rzeczywistymi, natomiast w dalszej części rozdziału posługiwano się wartościami zaokrąglonymi do całych procent.

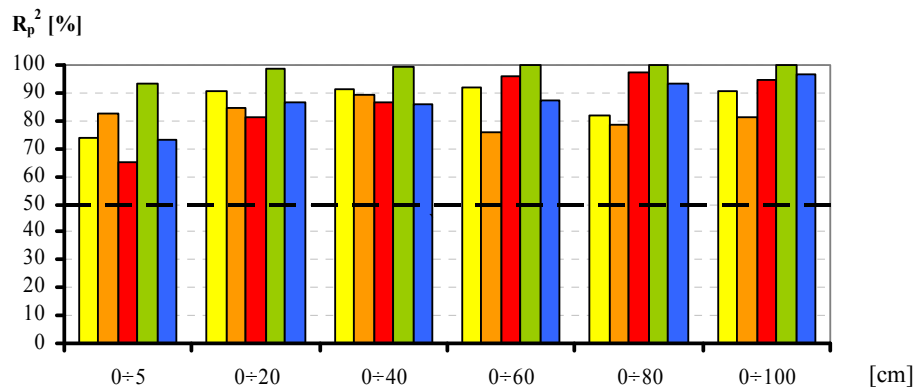
## 6.1. Zależności dla zróżnicowanych warstw gleby i powierzchni w kolejnych miesiącach okresu zimowego

### 6.1.1. Listopad

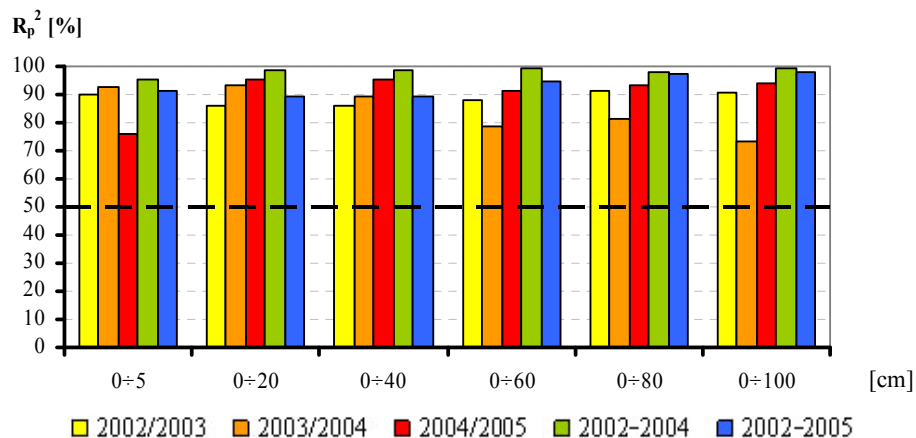
Formuły opracowane dla listopada wyjaśniały zasoby wodne gleby od 65 do 100% pod powierzchnią nieporośniętą i od 74 do 100% pod powierzchnią pokrytą trawą (rys. 16a, 16b, tab. od 10 do 14). W okresach zimowych 2002/2003 oraz 2004/2005 dla powierzchni nieporośniętej najniższe wartości współczynników determinacji otrzymano dla warstwy gleby 0÷5 cm, natomiast dla pozostałych warstw ich wartości przekraczały 80%. W półroczu zimowym 2003/2004 wyprowadzone równania lepiej opisywały zasoby wodne w warstwach gleby do 0÷40 cm (>82%). Pod powierzchnią pokrytą trawą nie obserwowano wyraźnych wahań wartości  $R_p^2$ , niezależnie od miąższości warstwy gleby w okresie zimowym 2002/2003, podobnie w 2004/2005, z wyjątkiem warstwy 0÷5 cm. W drugim sezonie badań widoczna była ich tendencja malejąca jednocześnie ze wzrostem miąższości warstwy gleby, a zmienne opisujące najlepiej wyjaśniały zasoby wodne w warstwach do 0÷40 cm ( $\geq 90\%$ ), a najgorzej w warstwie 0÷100 cm (74%). Najwyższe wartości poprawionych współczynników determinacji, w obu przypadkach, uzyskano dla okresu 2002÷2004 i z wyjątkiem warstwy 0÷5 cm ich wartości przekraczały 98%. Dla okresu 2002÷2005 pod powierzchnią nieporośniętą zmienne opisujące wyjaśniały zasoby wodne gleby w ponad 80%, z wyjątkiem warstwy 0÷5 cm, a dla powierzchni pokrytej trawą – jeszcze lepiej, gdyż każdorazowo w ponad 90%. W przypadku ugoru spośród elementów agrometeorologicznych, które miały największy wkład w wyjaśnianiu zasobów wodnych gleby, dominowały średnie stany wody gruntowej za okresy od 1 do 15 dni poprzedzających termin, na który oszacowano zasoby wodne gleby oraz opady sumowane za okresy od 2 do 14 dni poprzedzających. Pod powierzchnią pokrytą trawą podobnie najliczniej obserwowano średnie stany wody gruntowej dla kroków czasowych od 1 do 15 dni oraz opady sumowane za okresy od 3 do 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby. Dla okresów łącznych niezależnie od miąższości warstwy gleby i rodzaju powierzchni największą ilość informacji do większości wyprowadzonych równań wносиły średnie stany wody gruntowej, a ich współczynniki  $R_{cz}^2$  w znakomitej większości przypadków osiągały wartości bliskie współczynnikom determinacji dla otrzymanych formuł. Dla okresu 2002÷2004 pod powierzchnią nieporośniętą, z wyjątkiem warstwy 0÷5 cm, takie relacje obserwowano dla kroku czasowego 15 dni, lecz już w przypadku gleby pod trawnikiem krok ten wyraźnie różnicował się i wahał od 6 dni dla warstwy 0÷5 cm do 14 dni dla warstwy 0÷20 cm. Dla trzech sezonów badawczych łącznie dla warstwy 0÷5 cm pod ugiem wynosił 3 dni, natomiast w pozostałych przypadkach powyżej dekady. Dla warstw 0÷5 cm oraz 0÷60 cm i o większej miąższości wartości  $R_{cz}^2$  były niższe zaledwie o kilka procent od poprawionych współczynników determinacji dla wyprowadzonych równań. Podobną sytuację obserwowano także dla warstw o miąższości 0÷60 cm i większej pod

powierzchnią pokrytą trawą, a w tym przypadku najlepiej zasoby wodne gleby wyjaśniały średnie stany wody gruntowej za okres poprzedzający od 1 dnia dla warstw 0÷5 i 0÷60 cm do 3 dni dla warstwy 0÷40 cm.

**a.**



**b.**



**Rys. 16.** Wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$  w listopadzie dla powierzchni **a.** nieporośniętej i **b.** pokrytej trawą

**Fig. 16.** Values of corrected determination coefficients  $R_p^2$  for November **a.** bare soil and **b.** grassy land

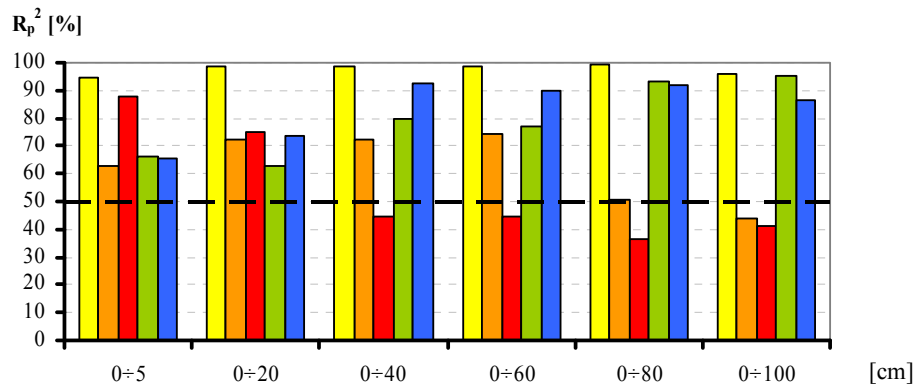


### 6.1.2. Grudzień

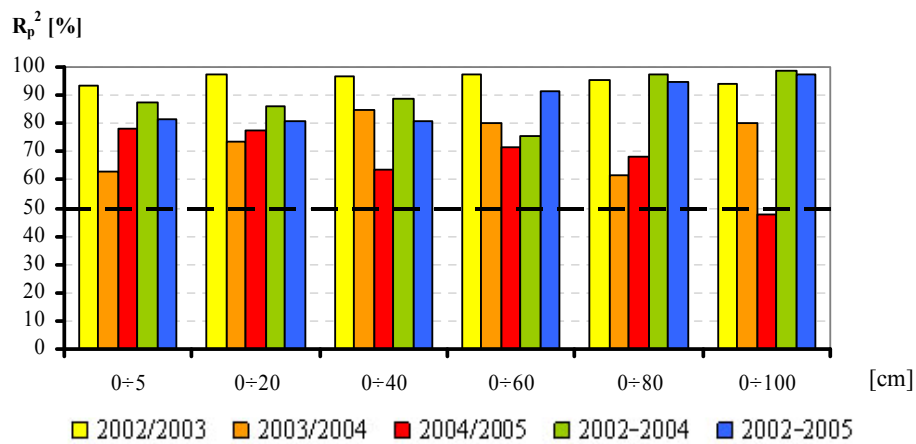
Wyprowadzone równania wyjaśniały zasoby wodne gleby w grudniu od 36 do 99% pod ugiem i od 47 do 99% do pod trawnikiem (tab. od 16 do 20). W pierwszym sezonie badań dla obu powierzchni otrzymano najwyższe wartości współczynników determinacji ( $>90\%$ ) i miały one bardzo wyrównany przebieg niezależnie od miąższości warstwy gleby. W okresie zimowym 2003/2004 otrzymane równania regresji dla ugiu pozwalały opisać zasoby wodne gleby od 44% w warstwie 0÷100 cm do 74% w warstwie 0÷60 cm. Nieco lepsze wyniki otrzymano dla powierzchni pokrytej trawą, gdyż wyprowadzone formuły wyjaśniały retencję glebową w grudniu od 61% w warstwie 0÷80 cm do 85% w warstwie 0÷40 cm. W ostatnim sezonie badań dla warstw 0÷40 cm i o większej miąższości pod ugiem – współczynniki te nie przekraczały 50% i widoczna była ich tendencja malejąca od 88% dla warstwy gleby 0÷5 cm do 36% dla warstwy 0÷80 cm. Dla powierzchni pokrytej trawą obserwowano wyraźnie mniejsze wahania wartości współczynników  $R_p^2$  i tylko dla warstwy gleby o największej miąższości nie udało się w zadowalający sposób opisać jej zasobów wodnych. W przypadku obu powierzchni dla okresu 2002÷2004 w najlepszy sposób można było opisać retencję glebową w warstwach 0÷80 cm i 0÷100 cm, przy współczynnikach determinacji powyżej 90%, a dla warstw o miąższości do 0÷40 cm pod powierzchnią trawnika otrzymane wartości  $R_p^2$  przekraczały 80%. Dla okresu 2002÷2005 otrzymane formuły lepiej wyjaśniały zasoby wodne gleby nieporośniętej w warstwach o miąższości 0÷40, 0÷60 i 0÷80 cm ( $R_p^2 > 90\%$ ). Dołączenie ostatniego okresu zimowego spowodowało, że możliwość wyjaśnienia zasobów wodnych gleby w warstwach o miąższości do 0÷40 i 0÷80 cm pod trawnikiem oraz 0÷100 cm pod ugiem obniżyła się o kilka procent (rys. 17a, 17b).

Pod powierzchnią nieporośniętą spośród elementów agrometeorologicznych, dla których uzyskano najwyższe wartości cząstkowych współczynników  $R_{cz}^2$ , przeważały sumy opadów atmosferycznych dla kroków czasowych 5, 10 i 11 dni, średnie stany wody gruntowej za okres od 1 do 15 dni oraz średnia temperatura powietrza za okres od 1 do 8 dni, a sporadycznie temperatura gleby na głębokości 1÷2, 10, 50 i 100 cm. Podobnie pod powierzchnią pokrytą trawą najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby, do wyprowadzonych równań wносиły sumy opadów atmosferycznych za okres od 5 do 15 dni oraz średnie stany wody gruntowej za okres 1, 2 i 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby. Dla ugiu w pierwszym okresie badań (2002/2003) w otrzymanych równaniach dominowała temperatura gleby z głębokości 10, 50 i 100 cm dla kroków czasowych 4, 7 i 9 dni, w drugim sezonie badań – sumy opadów atmosferycznych dla 5 i 11 dni, a w trzecim temperatura powietrza dla kroków czasowych 1, 6, 7 i 8 dni, w zależności od miąższości warstwy gleby. Dla okresów 2002÷2004 i 2002÷2005 w przypadku warstw 0÷5 i 0÷20 cm najwięcej informacji o ich zasobach wodnych wносиła temperatura gleby na głębokości 1÷2 cm oraz sumy opadów za 11 dni, a dla warstw o większej miąższości stany wody gruntowej za okresy od 1 do 15 dni poprzedzających. Pod trawnikiem, w półroczu zimowym 2002/2003, dla warstw o miąższości do 0÷60 cm najwięcej o ich zasobach wodnych do równań wносиła temperatura gleby z głębokości 5 i 10 cm z krokiem czasowym 3, 8, 9 i 14 dni, a dla warstw 0÷80 i 0÷100 cm stany wody gruntowej z krokiem czasowym 2 dni.

a.



b.



**Rys. 17.** Wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$  w grudniu dla powierzchni **a.** nieporośniętej i **b.** pokrytej trawą

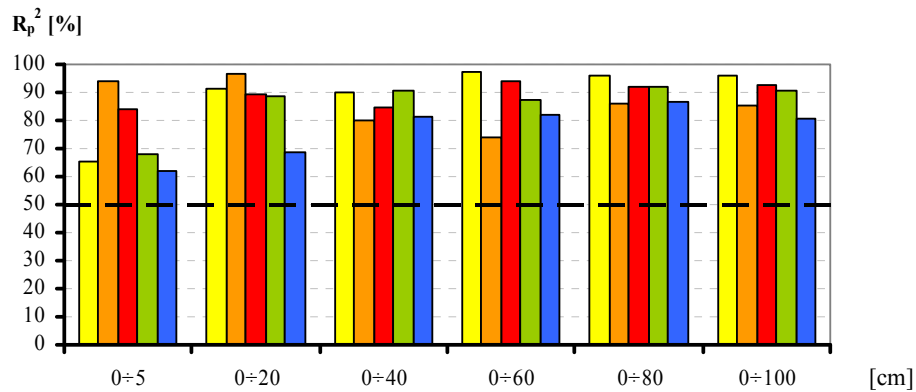
**Fig. 17.** Values of corrected determination coefficients  $R_p^2$  for December **a.** bare soil and **b.** grassy land

W drugim i trzecim sezonie badań, w większości przypadków najwyższe wartości współczynników  $R_{cz}^2$  otrzymano dla sum opadów atmosferycznych za okresy od 5 do 15 dni w warstwach do głębokości 80 cm. Natomiast dla okresów 2002=2004 i 2002=2005 w warstwie gleby 0-5 cm zasoby wodne w największym stopniu wyjaśniała temperatura powietrza z krokiem czasowym 2 i 15 dni, w warstwie 0-20 cm sumy opadów atmosferycznych oraz temperatura gleby z głębokości 10 cm, a w przypadku warstw o większej miąższości, podobnie jak pod powierzchnią nieporośniętą, średnie stany wody gruntowej za okresy 1, 2 i 15 dni poprzedzających.

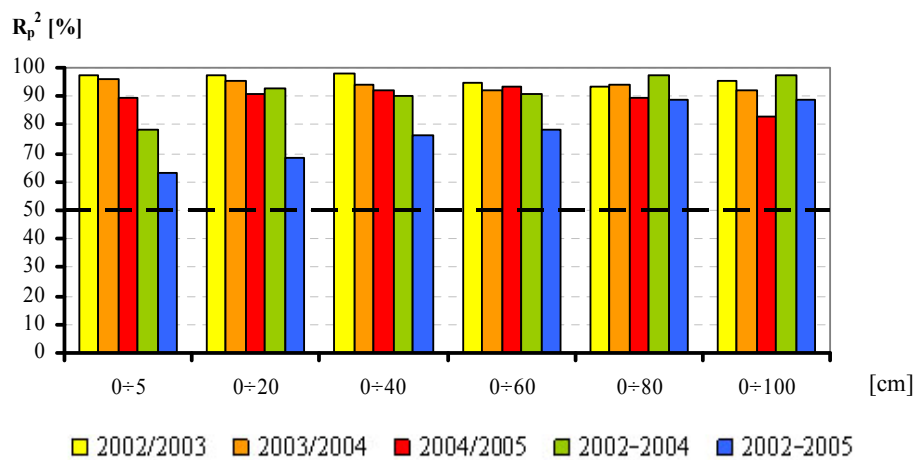
### 6.1.3. Styczeń

Otrzymane formuły wyjaśniały zasoby wodne gleby w styczniu od 62 do 97% pod obiema powierzchniami (tab. od 21 do 25). W przypadku ugoru najniższe wartości  $R_p^2$  otrzymano dla warstwy gleby o miąższości 0÷5 cm i wahały się od 62% dla okresu 2002÷2005 do 84% w półroczu zimowym 2004/2005. Z wyjątkiem drugiego sezonu badań lepsze relacje obserwowano dla warstw gleby o większej miąższości. Dla okresu 2002÷2005 otrzymano niższe wartości poprawionych współczynników determinacji niż dla dwóch półroczy zimowych łącznie (rys. 18a). Natomiast pod powierzchnią pokrytą trawą dla oddzielnych okresów zimowych niższe wartości  $R_p^2$  otrzymano dla warstw o miąższości 0÷60 cm i większej, a dla dwóch i trzech okresów łącznie, podobnie jak dla ugoru, dla warstwy gleby 0÷5 cm. Najwyższe wartości współczynników  $R_p^2$ , przy oddzielnym analizowaniu półroczy zimowych, stwierdzono dla warstw o miąższości do 0÷40 cm, natomiast w przypadku okresów 2002÷2004 i 2002÷2005 najlepsze związki uzyskano dla warstw 0÷80 i 0÷100 cm (rys. 18b). Spośród elementów agrometeorologicznych, które wносиły do wyprowadzonych formuł największą ilość informacji o zasobach wodnych w analizowanych warstwach gleby pod ugiem, najczęściej obserwowano średnie stany wody gruntowej dla kroków czasowych 1 i 15 dni, sumy opadów atmosferycznych dla 7 i 13 dni oraz średnią temperaturę powietrza dla kroku czasowego 1, 5, 6, 8 i 15 dni, w zależności od miąższości warstwy gleby. W przypadku trawnika w równym stopniu dominowały sumy opadów atmosferycznych za okresy od 6 do 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby w warstwach do 0÷60 cm oraz średnie stany wody gruntowej za 1, 2 i 15 dni poprzedzających w warstwach o miąższości 0÷60 cm i większej. W pierwszym okresie badań (2002/2003) dla ugoru, z wyjątkiem warstwy gleby 0÷80 cm, wartości najwyższych cząstkowych współczynników determinacji były zbliżone (>60%). W drugim – ich wyższe wartości otrzymano dla warstw o miąższości do 0÷40 cm, natomiast w trzecim sezonie badań i dla okresów 2002÷2004 oraz 2002÷2005 – dla warstw o miąższości 0÷60 cm i większej. W styczniu w półroczu zimowym 2002/2003 najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą wносиła jej średnia temperatura z głębokości 5, 10 i 20 cm dla kroków czasowych 2, 3 i 15 dni oraz średnia temperatura powietrza z dnia poprzedzającego termin pomiaru wilgotności gleby i za okres 15 dni. W drugim okresie badań w największym stopniu wyjaśniała zasoby wodne gleby pod ugiem średnia temperatura powietrza za okresy poprzedzające krótsze od dekady, a w warstwach 0÷5 i 0÷20 cm sumy opadów atmosferycznych oraz temperatura gleby z głębokości 10 cm. Natomiast w trzecim sezonie badań dla warstw o miąższości do 0÷60 cm najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  otrzymano dla sum opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 13 dni, a dla pozostałych – dla stanów wody gruntowej z dnia poprzedzającego. W przypadku dwóch okresów łącznie zasoby wodne w warstwach 0÷40 cm i o większej miąższości w największym stopniu wyjaśniała średnia temperatura gleby na głębokości 50 i 100 cm za okres 9 i 8 dni poprzedzających, a w warstwach 0÷5 i 0÷20 cm średnia temperatura powietrza z dnia poprzedzającego termin pomiaru wilgotności gleby.

a.



b.



**Rys. 18.** Wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$  w styczniu dla powierzchni **a.** nieporośniętej i **b.** pokrytej trawą

**Fig. 18.** Values of corrected determination coefficients  $R_p^2$  for January **a.** bare soil and **b.** grassy land

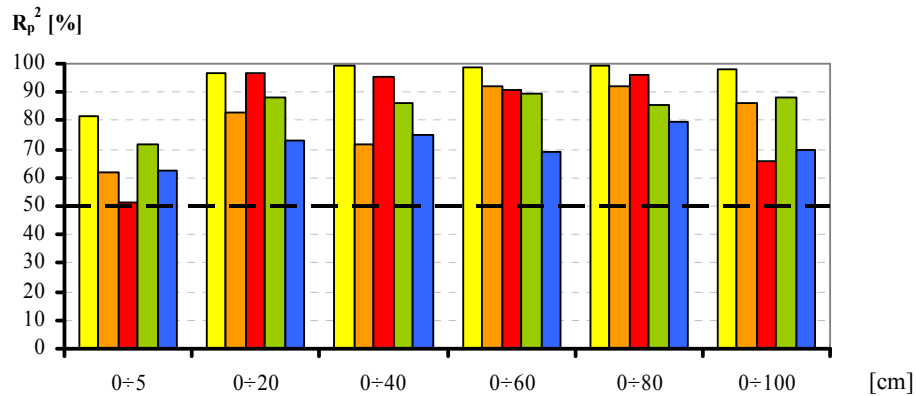
Dla okresu 2002÷2005 dla warstw 0÷5 i 0÷20 cm najwięcej informacji o zasobach wodnych do wyprowadzonych równań wносиła średnia temperatura gleby na głębokości 5 i 20 cm, a w przypadku warstw o większej miąższości – średnie stany wody gruntuwej z krokiem czasowym 1 i 15 dni. Pod powierzchnią pokrytą trawą maksymalne cząstkowe współczynniki determinacji otrzymano dla warstw o miąższości do 0÷40 cm dla osobnych okresów zimowych, a przy ich łącznym analizowaniu takie wartości obserwowano dla warstwy 0÷80 cm i 0÷100 cm. Natomiast najniższe ich wartości

w przypadku oddzielnych półroczy zimowych stwierdzono dla warstw o miąższości 0÷60 cm i większej, a dla okresów 2002÷2004 i 2002÷2005 – w warstwach do 0÷40 cm. Najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby pod trawnikiem w warstwach o miąższości 0÷20 cm, 0÷40 cm, 0÷60 cm i 0÷80 cm w pierwszym okresie badań wnosila średnia temperatura gleby na głębokości 1÷2 i 10 cm z krokiem czasowym 9 i 15 dni, dla warstwy 0÷5 cm średnia temperatura powietrza za okres 9 dni, a dla warstwy 0÷100 cm stany wody gruntowej z dnia poprzedzającego termin pomiaru wilgotności gleby. W drugim i trzecim sezonie badań dominowały sumy opadów atmosferycznych za okresy od 6 do 15 dni poprzedzających dla warstw o miąższości do 0÷40 cm, a dla pozostałych średnie stany wody gruntowej dla kroków czasowych 1, 2 i 15 dni. W styczniu, dla dwóch półroczy zimowych łącznie zasoby wodne gleby w warstwach 0÷5 i 0÷20 cm w największym stopniu wyjaśniała jej temperatura na głębokości 1÷2 cm, a w warstwach 0÷80 i 0÷100 cm temperatura z głębokości 50 cm. Dla trzech okresów łącznie (2002÷2005) najwyższe wartości współczynników  $R_{cz}^2$  dla warstw o miąższości 0÷60 cm i większej otrzymano dla stanów wody gruntowej z dnia poprzedzającego termin pomiaru wilgotności gleby. W przypadku warstw do 0÷40 cm najwięcej informacji wnosila odpowiednio średnia temperatura powietrza, gleby na głębokości 20 cm oraz sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 1 i 8 dni.

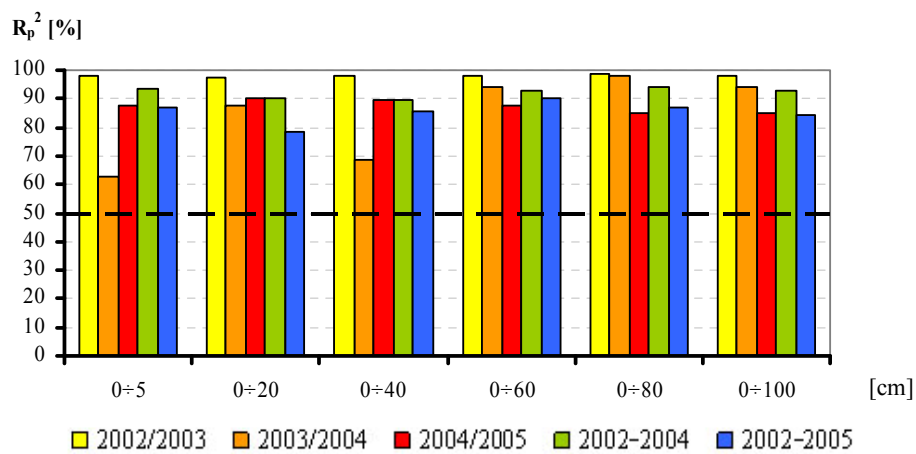
#### 6.1.4. Luty

Otrzymane równania wyjaśniały zasoby wodne gleby w lutym od 51 do 100% pod ugiem i od 63 do 99% pod trawnikiem (tab. od 25 do 29). Dla powierzchni nieporośniętej, niezależnie od analizowanych okresów, najniższe wartości otrzymano dla warstwy o miąższości 0÷5 cm i wahały się one od 42% dla półroczy 2002÷2005 do 61% w półroczu 2002/2003. W pierwszym sezonie badań w warstwach 0÷20 cm i o większej miąższości otrzymano podobnie wysokie wartości współczynnika korelacji, kształtujące się powyżej 96%. Wyrównane, lecz niższe wartości  $R_p^2$  obserwowano dla tych warstw dla okresu 2002÷2004. Natomiast w przypadku trzech okresów zimowych łącznie stwierdzono pogorszenie dopasowania wyprowadzonych formuł, a wartości współczynników korelacji uległy widocznemu obniżeniu i nie przekraczały 80%. W okresie zimowym 2003/2004 najlepsze analizowane zależności wyprowadzono dla warstw o miąższości 0÷60 i 0÷80 cm ( $R_p^2=92\%$ ), natomiast w trzecim – dodatkowo dla warstw 0÷20 i 0÷40 cm, a wartości  $R_p^2$  wahały się od 90 do 97% (rys. 19a). Pod powierzchnią pokrytą trawą, w największym stopniu wyjaśniały zasoby wodne gleby formuły, wyprowadzone dla pierwszego sezonu badań niezależnie od miąższości warstwy gleby ( $R_p^2>97\%$ ). W okresie zimowym 2003/2004 zdecydowanie lepsze dopasowanie otrzymano dla warstw 0÷60 cm i o większej miąższości. Natomiast w półroczu 2004/2005 oraz dla 2002÷2004 i 2002÷2005 (z wyjątkiem warstwy gleby 0÷20 cm) różnice wartości obliczonych  $R_p^2$  wahały się nieznacznie (od 85% do 90% w 2004/2005, od 89 do 94% dla 2002÷2004, od 84 do 90% dla 2002÷2005) (rys. 19b).

a.



b.



**Rys. 19.** Wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$  w lutym dla powierzchni **a.** nieporośniętej i **b.** pokrytej trawą

**Fig. 19.** Values of corrected determination coefficients  $R_p^2$  for February **a.** bare soil and **b.** grassy land

Zmienne, które wносиły największą ilość informacji do wyprowadzonych równań dla powierzchni nieporośniętej, stanowiły stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1, 4, 8, 9, 10, 12 i 15 dni oraz temperatura gleby na głębokości 5 cm za okresy 1, 6, 13 i 15 dni poprzedzających. W przypadku powierzchni pokrytej trawą najczęściej obserwowano stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1 dzień, temperaturę gleby na głębokości 1÷2 cm za okresy 1, 3, 5, 7, 8 i 15 dni, temperaturę powietrza oraz sumy opadów atmosferycznych dla najdłuższych kroków czasowych – 14 i 15 dni (w zależności od miąższości warstwy gleby i okresu zimowego). Dla ugoru w pierwszym sezonie

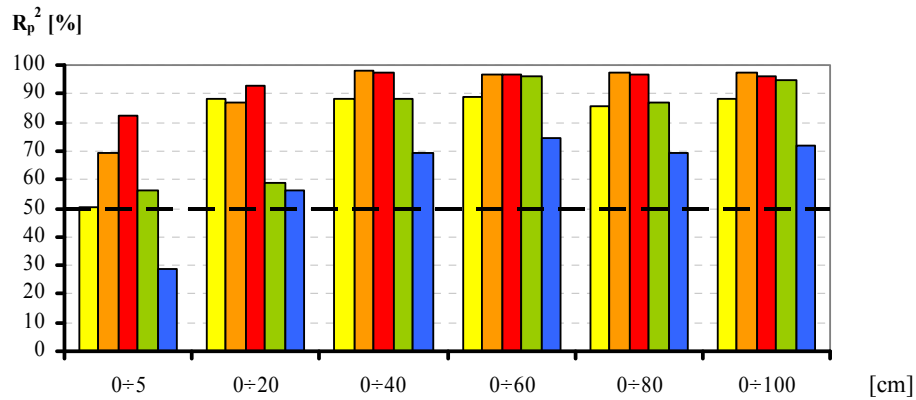
badan w warstwach 0÷5 i 0÷20 cm najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby wносиła temperatura powietrza z krokiem czasowym 5 i 15 dni, a dla warstw o większej miąższości temperatura gleby na głębokości 5 i 10 cm za okresy 13 i 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono jej wilgotność. W półroczu zimowym 2003/2004 w największym stopniu zasoby wodne gleby w warstwie 0÷5 cm wyjaśniała, podobnie jak w poprzednim, temperatura powietrza, a dla warstwy 0÷20 cm temperatura gleby z głębokości 5 cm. Natomiast dla warstw 0÷40 cm, 0÷60 cm i 0÷80 cm były to stany wody gruntowej z krokiem czasowym odpowiednio 1, 10 i 9 dni, a dla warstwy 0÷100 cm temperatura gleby na głębokości 100 cm za okres 15 dni poprzedzających. W trzecim okresie badań (2004/2005) najwięcej informacji o zasobach wodnych do wyprowadzonych formuł wносиła temperatura gleby z głębokości 1÷2, 5 i 10 cm z krokiem czasowym 2, 3 i 6 dni. Dla okresu 2002÷2004 dla warstwy gleby 0÷5 cm najwyższą wartość cząstkowego współczynnika determinacji otrzymano dla temperatury gleby z głębokości 1÷2 cm z dnia poprzedzającego, dla warstwy 0÷20 cm dla temperatury powietrza, a dla warstwy 0÷40 cm dla sum opadów atmosferycznych za 15 dni poprzedzających. Natomiast zasoby wodne w warstwach o większej miąższości w największym stopniu wyjaśniały stany wody gruntowej z krokiem czasowym 8 i 15 dni. Dla okresu 2002÷2005 w odróżnieniu dla warstwy 0÷20 cm najwyższą wartość  $R_{cz}^2$  stwierdzono dla sum opadów atmosferycznych, a dla warstwy 0÷100 cm dla temperatury gleby na głębokości 5 cm z dnia poprzedzającego. W przypadku warstw 0÷60 cm i 0÷80 cm podobnie najwięcej informacji wniosły stany wody gruntowej, lecz z krokiem czasowym 4 i 12 dni. Tylko w pierwszym sezonie badań otrzymane wartości cząstkowych współczynników determinacji wykazywały tendencję rosnącą jednocześnie ze wzrostem miąższości warstwy gleby, a ich wartości zbliżone były do otrzymanych  $R_p^2$  dla wyprowadzonych równań. Pod powierzchnią pokrytą trawą w okresie zimowym 2002/2003 w warstwach 0÷5 cm, 0÷20 cm i 0÷60 cm zasoby wodne w największym stopniu wyjaśniała średnia temperatura powietrza za okres 15 dni poprzedzających, natomiast w drugim sezonie badań, w znakomitej większości – najwyższe wartości współczynników  $R_{cz}^2$  otrzymano dla temperatury gleby z głębokości 1÷2, 20 i 50 cm z krokiem czasowym 1, 14 i 15 dni. W kolejnym sezonie badań 2004/2005 w warstwach o miąższości 0÷5 cm, 0÷20 cm oraz 0÷80 cm i 0÷100 cm najwięcej informacji do wyprowadzonych formuł wносиła temperatura gleby na głębokości 1÷2 cm z okresów poprzedzających termin pomiaru wilgotności krótszych od dekady. Dla okresów 2002÷2004 i 2002÷2005 w przypadku warstwy 0÷5 cm dominowała temperatura powietrza, a dla warstwy 0÷20 cm sumy opadów atmosferycznych z najdłuższym krokiem czasowym. Dla warstw o większej miąższości – w większości najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  obliczono dla stanów wody gruntowej z dnia poprzedzającego. Niezależnie od analizowanego okresu zimowego obserwowano większą zmienność cząstkowych współczynników determinacji niż poprawionych współczynników determinacji dla wyprowadzonych równań.

### 6.1.5. Marzec

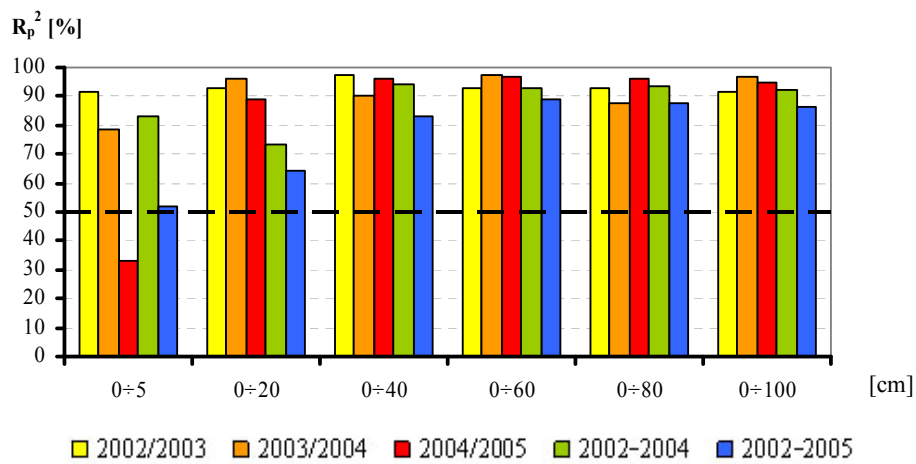
Najniższe wartości poprawionych współczynników determinacji dla wyprowadzonych równań regresji w marcu, z wyjątkiem okresu zimowego 2003/2004, w przypadku powierzchni pokrytej trawą otrzymano dla warstwy 0÷5 cm. Dla ugoru najlepsze zależności uzyskano dla warstwy 0÷60 cm w półroczu 2002/2003, dla okresów 2002÷2004 oraz 2002÷2005 i dla warstwy 0÷40 cm w drugim i trzecim sezonie badań. W przypadku trawnika najwyższe wartości  $R_p^2$  otrzymano dla warstwy 0÷40 cm w półroczu 2002/2003, dla 0÷60 cm w 2003/2004 i 2004/2005 oraz dla warstwy 0÷80 cm dla dwóch i trzech okresów łącznie. Wyprowadzone równania dla zasobów wodnych gleby w marcu wyjaśniały je od 50 do 98% dla ugoru i od 33 do 97% dla trawnika (rys. 20a, 20b, tab. od 30 do 34). Otrzymane wartości współczynników determinacji dla warstw 0÷20 cm i o większej miąższości w okresie 2002/2003 pod powierzchnią nieporośniętą charakteryzowała wysoka stabilność i wahały się one od 85 do 89%. W drugim i trzecim sezonie badań otrzymane równania lepiej wyjaśniały zasoby wodne w warstwach 0÷40 cm i o większej miąższości, a wartości współczynników  $R_p^2$  przekraczały 90%. Niezależnie od miąższości warstwy gleby, dla trzech okresów zimowych łącznie otrzymano najniższe ich wartości. W przypadku trawnika w półroczu zimowym 2002/2003 wyprowadzone formuły wyjaśniały zasoby wodne gleby, w każdej analizowanej warstwie, w ponad 90%. Podobną sytuację obserwowano dla warstw o miąższości 0÷20 cm, 0÷40 cm, 0÷60 cm i 0÷100 cm w drugim sezonie badań oraz dla warstw 0÷40 cm i o większej miąższości w trzecim i dla dwóch okresów łącznie. Dla okresu 2002÷2005 zdolności predykcyjne wyprowadzonych formuł były mniejsze. Spośród analizowanych elementów agrometeorologicznych, które wносиły najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą, dominowały sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 2, 8, 9, 10, 11 i 15 dni, natomiast pod powierzchnią pokrytą trawą średnie stany wody gruntowej za okres 1, 2 i 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby. W pierwszym i drugim sezonie badań w większości przypadków najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą wносиły sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 2, 8, 9, 10, 11 i 15 dni, a zróżnicowanie kroków czasowych wynikało z miąższości warstwy gleby i okresu badań. Dla warstwy 0÷5 cm w półroczu 2003/2004 najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  otrzymano dla temperatury gleby na głębokości 1÷2 cm, natomiast w półroczu 2004/2005 w największym stopniu zasoby wodne wyjaśniała średnia temperatura gleby na głębokości 5 cm. W tym okresie w warstwach o miąższości do 0÷60 cm dominowały średnie stany wody gruntowej za okresy 1 i 2 dni poprzedzających, a w pozostałych średnia temperatura powietrza za okres 15 dni. Dla okresów 2002÷2004 i 2002÷2005 w warstwach 0÷5 i 0÷20 cm najwięcej informacji o ich zasobach wodnych do wyprowadzonych równań wносиły sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 9 i 11 dni. Dla pozostałych warstw dla okresu 2002÷2004 najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  otrzymano dla średniej temperatury gleby na głębokości 50 cm za okres 14 dni poprzedzających oraz dla sum opadów atmosferycznych za okresy 8 i 10 dni poprzedzających termin pomiaru wilgotności gleby.



a.



b.



**Rys. 20.** Wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$  w marcu dla powierzchni **a.** nieporośniętej i **b.** pokrytej trawą

**Fig. 20.** Values of corrected determination coefficients  $R_p^2$  for March **a.** bare soil and **b.** grassy land

Natomiast dla okresu 2002÷2005 zasoby wodne w tych warstwach w największym stopniu wyjaśniały stany wody gruntowej z dnia poprzedzającego. W odróżnieniu od powierzchni nieporośniętej, w pierwszym sezonie badań zasoby wodne gleby pod powierzchnią pokrytą trawą w największym stopniu wyjaśniała temperatura powietrza z krokiem czasowym 9 dni niezależnie od miąższości warstwy gleby. Jednak podobnie jak w przypadku ugoru elementy agrometeorologiczne, które wносиły najwięcej informacji o zasobach wodnych, należały do grupy wilgotnościowych. W drugim sezonie

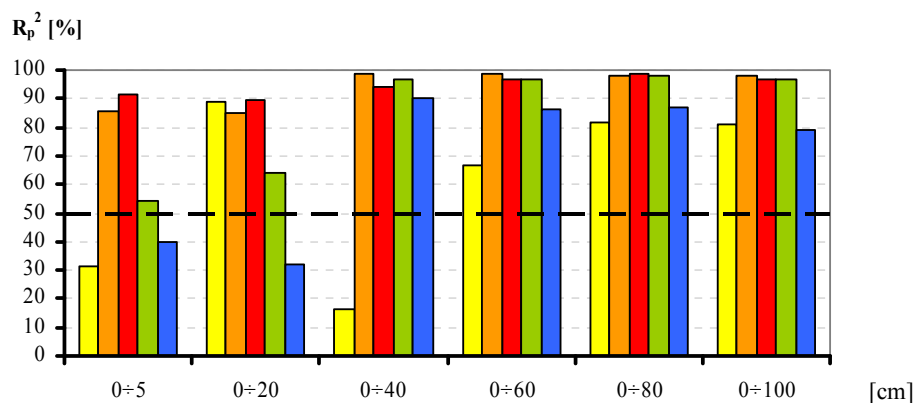
badan najwyższe wartości cząstkowych współczynników determinacji w wyprowadzonych równaniach otrzymano dla stanów wody gruntowej z dnia poprzedzającego w warstwach 0÷5 cm i 0÷80 cm, dla sum opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 7 i 10 dni w warstwach o miąższości 0÷20 cm, 0÷60 cm i 0÷100 cm. Tylko dla warstwy 0÷40 cm najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby wносиła temperatura gleby na głębokości 5 cm. W okresie zimowym 2004/2005 oraz 2002÷2004 i 2002÷2005 zasoby wodne w warstwach 0÷20 cm i o większej miąższości w największym stopniu wyjaśniały stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1 i 2 dni.

#### 6.1.6. Kwiecień

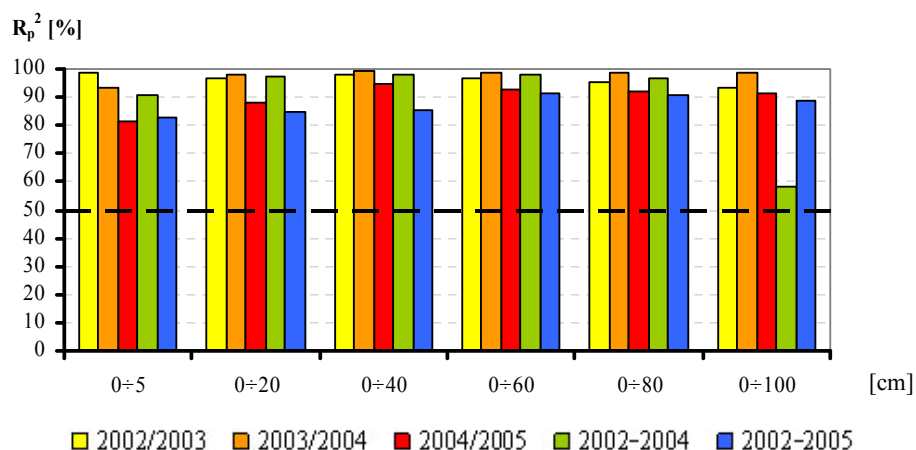
Dla warstw gleby pod powierzchnią nieporośniętą w kwietniu otrzymano wyraźnie gorsze dopasowania wyprowadzonych równań. W tym przypadku wyjaśniały one zasoby wodne gleby od 16 do 99%, natomiast pod powierzchnią pokrytą trawą wartości poprawionych współczynników determinacji wahały się od 58 do 99% (tab. od 35 do 39). W pierwszym sezonie badań dla ugoru najniższe wartości  $R_p^2$  otrzymano dla warstwy 0÷40 cm (16%), natomiast dla warstw 0÷20 cm, 0÷80 cm i 0÷100 cm otrzymane równania wyjaśniały zasoby wodne w ponad 80%. W drugim i trzecim okresie badań oraz dla okresu 2002÷2005 najniższe wartości  $R_p^2$  otrzymano dla warstw 0÷20 cm, a dla okresu 2002÷2004 dla warstwy 0÷5 cm. W tych też okresach wyraźnie lepiej wyjaśniały zasoby wodne gleby formuły wyprowadzone dla warstwy o miąższości 0÷40 cm i tylko z wyjątkiem okresu 2002÷2005 otrzymane wartości współczynników determinacji wahały się od 94 do 99% i były bardzo wyrównane, niezależnie od miąższości warstwy gleby (rys. 21a). W przypadku powierzchni pod trawnikiem, w pierwszym i drugim sezonie badań oraz dla okresu 2002÷2005 w najmniejszym stopniu otrzymane formuły wyjaśniały zasoby wodne gleby w warstwie 0÷5 cm, natomiast w okresie 2002÷2004 w warstwie 0÷100 cm. W półroczu zimowym 2002/2003 zdolności predykcyjne wyprowadzonych równań były najlepsze dla warstwy 0÷5 cm (99%), w 2003/2004 (99%) oraz 2004/2005 (94%) dla warstwy 0÷40 cm, a dla okresów 2002÷2004 (98%) i 2002÷2005 (91%) dla warstwy 0÷60 cm. Najwyższą stabilnością charakteryzowały się wartości  $R_p^2$  otrzymane w pierwszym i drugim sezonie badawczym. W trzecim okresie zimowym taką stabilność obserwowano w przypadku warstw o miąższości 0÷40 cm i większej, natomiast dla okresów 2002÷2004 dla warstw o miąższości do 0÷80 cm (rys. 21b). Spośród elementów agrometeorologicznych, które wносиły największą ilość informacji o zasobach wodnych gleby do wyprowadzonych równań, dominowały stany wody gruntowej w przypadku obu powierzchni, jednak dla trawnika krok czasowy był znacznie krótszy (1, 3, 6 dni), natomiast dla ugoru wyraźnie się różnicował od 1 do 15 dni. Dla powierzchni nieporośniętej dużo częściej spośród elementów, które wносиły najwięcej do otrzymanych formuł, obserwowano także sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 1, 10, 11 i 15 dni. W przypadku ugoru, w półroczu zimowym 2002/2003, w warstwach o miąższości 0÷5 cm i 0÷20 cm największe wartości  $R_{cz}^2$  otrzymano dla temperatury gleby z głębokości 1÷2 cm z krokiem czasowym 1 i 12 dni, dla warstwy 0÷60 cm dla stanów wody gruntowej, a dla pozostałych warstw dla sum opadów atmosferycznych za okresy 10 i 11 dni poprzedzających. W drugim sezonie badań dla warstw o miąższości 0÷20 cm i większej i dla okresów

2002÷2004 oraz 2002÷2005 dla warstw o miąższości 0÷40 cm i większej w największym stopniu zasoby wodne gleby wyjaśniały średnie stany wody gruntowej za okresy 1, 4, 7, 13, 14 i 15 dni, natomiast w trzecim sezonie badań temperatura gleby z głębokości 20, 50 i 100 cm z krokiem czasowym 11, 12 i 13 dni, w zależności od miąższości warstwy gleby.

**a.**



**b.**



**Rys. 21.** Wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$  w kwietniu dla powierzchni **a.** nieporośniętej i **b.** pokrytej trawą

**Fig. 21.** Values of corrected determination coefficients  $R_p^2$  for April **a.** bare soil and **b.** grassy land

Tylko w półroczu 2004/2005 dla warstwy 0÷5 cm największą wartość  $R_{cz}^2$  obserwowano dla stanów wody gruntowej. W pozostałych analizowanych okresach były to opady atmosferyczne, podobnie jak dla warstwy 0÷20 cm, z krokiem czasowym 1 i 15 dni. W przypadku powierzchni pokrytej trawą, w okresie zimowym 2002/2003 najwięcej

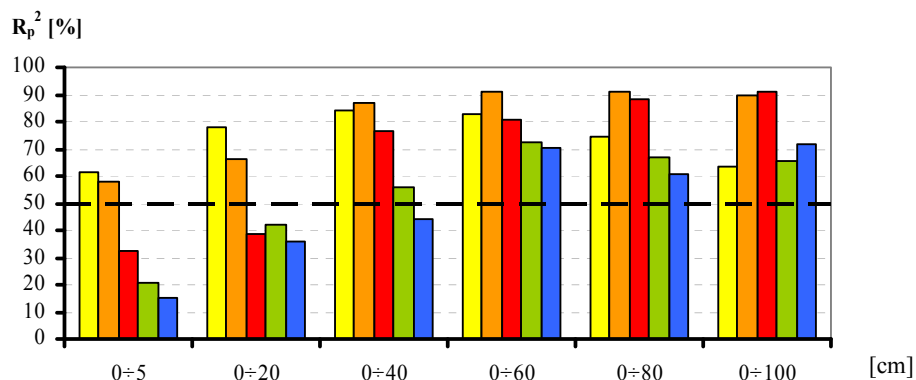
informacji o zasobach wodnych gleby w warstwie 0÷5 cm wnosili średnie wartości temperatury powietrza za okres 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby. Dla warstw o miąższości 0÷20 cm, 0÷40 cm, 0÷60 cm i 0÷80 cm najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  otrzymano dla temperatury gleby z głębokości 5 i 50 cm z krokiem czasowym 14 i 15 dni, natomiast dla warstwy 0÷100 cm dla średnich stanów wody gruntowej za okres 6 dni poprzedzających. W drugim sezonie badań oraz dla trzech okresów łącznie w warstwach o miąższości 0÷20 cm i większej, w największym stopniu zasoby wodne wyjaśniały stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1 i 3 dni, natomiast w warstwie 0÷5 cm odpowiednio średnia temperatura powietrza za okres 2 dni poprzedzające i temperatura gleby na głębokości 1÷2 cm za okres 14 dni poprzedzających. W trzecim sezonie badań obserwowano odmienną sytuację: dla warstw 0÷5 cm i 0÷20 cm najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  otrzymano dla stanów wody gruntowej, a dla pozostałych warstw dla temperatury gleby z głębokości 50 cm (0÷40 cm, 0÷60 cm) i 100 cm (0÷80 cm i 0÷100 cm) z krokiem czasowym 11 i 13 dni. Dla powierzchni pokrytej trawą, w kwietniu sumy opadów atmosferycznych jako ten element agrometeorologiczny, który wnosil najwięcej informacji do wyprowadzonych formuł o zasobach wodnych gleby, obserwowano jedynie dla warstwy 0÷100 cm dla okresu 2002÷2004. W odróżnieniu od warstw pod powierzchnią nieporośniętą czynnik ten jako dominujący w równaniach występował zdecydowanie częściej, zwłaszcza w warstwach 0÷5 cm i 0÷20 cm.

## 6.2. Zależności dla zróżnicowanych warstw gleby i powierzchni w okresie listopad – grudzień

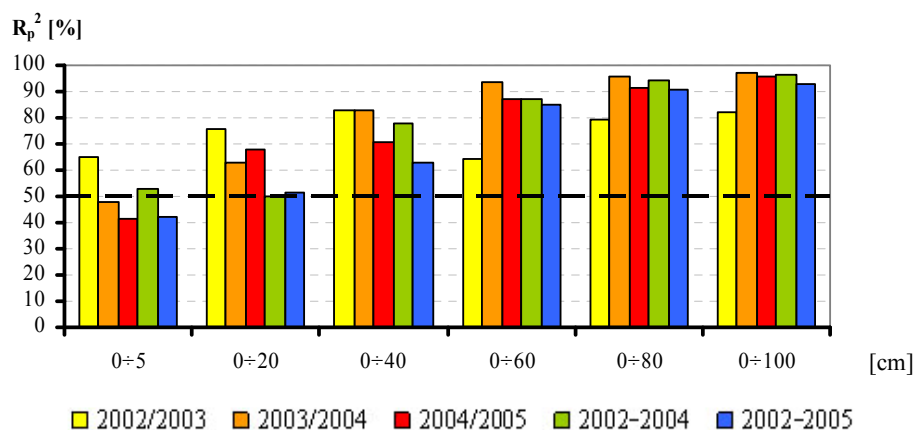
Taką samą analizę, jak przedstawiona powyżej dla poszczególnych miesięcy, przeprowadzono dla całych okresów zimowych (od listopada do kwietnia) 2002/2003, 2003/2004, 2004/2005 oraz 2002÷2004 i 2002÷2005, powstałych poprzez połączenie dwóch i trzech kolejnych okresów. Wyprowadzone równania wyjaśniały zasoby wodne gleby od 21 do 91% w warstwach gleby pod powierzchnią nieporośniętą oraz od 42 do 97% pod powierzchnią pokrytą trawą (tab. od 40 do 44). W przypadku ugoru, niezależnie od okresu badawczego, najniższe wartości poprawionych współczynników determinacji otrzymano dla warstwy gleby 0÷5 cm i wahały się od 15% do 51%. Dla powierzchni pokrytej trawą takie wartości obserwowano w pierwszym sezonie badań dla warstwy 0÷60 cm (64%), w drugim i trzecim oraz dla trzech sezonów łącznie dla warstwy 0÷5 cm (48, 42, 43%), a dla okresu 2002÷2004 dla warstwy 0÷20 cm (50%). Wyprowadzone formuły najlepiej wyjaśniały zasoby wodne gleby pod powierzchnią nieporośniętą w warstwie 0÷40 cm w półroczu zimowym 2002/2003 (84%), w warstwie 0÷80 cm w półroczu 2003/2004 (91%), w warstwie 0÷100 cm w półroczu 2004/2005 (91%) oraz dla okresu 2002÷2005 (72%), a dla okresu 2002÷2004 w warstwie 0÷60 cm (73%). Dla trawnika najwyższe wartości  $R_p^2$  w pierwszym sezonie badań otrzymano dla warstwy 0÷40 cm (83%), a dla pozostałych analizowanych okresów dla warstwy o miąższości 100 cm i wahały się od 83% w półroczu 2002/2003 do 97% w półroczu 2003/2004. W przypadku tej powierzchni często obserwowano tendencję rosnącą wartości współczynników determinacji jednocześnie ze wzrostem miąższości warstwy gleby

(rys. 22a, 22b). Spośród elementów agrometeorologicznych, które miały największy wkład w wyjaśnianiu zasobów wodnych gleby pod ugorem, przeważały stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1, 2, 14 i 15 dni oraz sumy opadów atmosferycznych za okresy 3, 6, 7, 8, 11 i 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby (w zależności od miąższości warstwy gleby). Dla powierzchni pokrytej trawą dla warstw o miąższości 0÷40 cm i większej – zdecydowanie dominowały stany wody gruntowej z dnia poprzedzającego bez względu na okres badawczy.

a.



b.



**Rys. 22.** Wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$  w okresach zimowych dla powierzchni **a.** nieporośniętej i **b.** pokrytej trawą

**Fig. 22.** Values of corrected determination coefficients  $R_p^2$  for winter periods **a.** bare soil and **b.** grassy land

W pierwszym półroczu zimowym (2002/2003) zasoby wodne w warstwie gleby 0÷5 cm pod powierzchnią nieporośniętą w największym stopniu wyjaśniała jej temperatura z głębokości 5 cm z krokiem czasowym 2 dni, w warstwach o miąższości 0÷20, 0÷60 cm i większej sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 8 i 15 dni, średnia temperatura powietrza za okres 15 dni poprzedzających. W półroczu 2003/2004 dla warstw o miąższości 0÷5 i 0÷20 cm najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  otrzymano dla sum opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 6 i 11 dni, dla warstwy 0÷40 cm dla temperatury gleby z głębokości 1÷2 cm z poprzedniego dnia, a w pozostałych przypadkach dla stanów wody gruntowej z krokiem czasowym 15 i 2 dni. W okresie zimowym 2004/2005, w wyprowadzonych równaniach dla warstw 0÷5 i 0÷20 cm pod ugiem dominowały sumy opadów atmosferycznych za okresy 3 i 7 dni poprzedzających, natomiast dla warstw o większej miąższości stany wody gruntowej z dnia poprzedzającego. Dla okresów 2002÷2004 i 2002÷2005 zasoby wodne w warstwie gleby 0÷5 cm w największym stopniu wyjaśniała temperatura powietrza z krokiem czasowym 1 dzień, w warstwie 0÷20 cm temperatura powietrza z krokiem czasowym 6 dni i sumy opadów atmosferycznych za okres 15 dni, a w pozostałych stany wody gruntowej z dnia poprzedzającego termin, na który zmierzono wilgotność. Pod powierzchnią pokrytą trawą elementy agrometeorologiczne, dla których uzyskano najwyższe wartości  $R_{cz}^2$ , różnicowały się w przypadku warstw o miąższości 0÷5 i 0÷20 cm i w zależności od analizowanego okresu zimowego były to sumy opadów atmosferycznych lub stany wody gruntowej. Dla warstw o większej miąższości najwięcej informacji o ich zasobach wodnych do wyprowadzonych równań wносиły stany wody gruntowej z dnia poprzedzającego.

### 6.3. Podsumowanie uzyskanych wyników

Przeprowadzone szczegółowe analizy materiałów obserwacyjnych pozwoliły na opracowanie 420 równań regresji, biorąc pod uwagę zróżnicowanie powierzchni, warstw gleby oraz okresów. Ich wiarygodność jest lepiej opisywana przez wartości poprawionych współczynników determinacji  $R_p^2$ , które są zawsze niższe od współczynników determinacji  $R^2$ , uzyskanych dla tych samych równań. Odnoszą się one jednak do całej populacji, a nie tylko do próby, dla której wyprowadzono zależności, co pozwala na ich wykorzystanie do obliczeń zasobów wodnych gleby na innych obszarach, nie objętych badaniami.

Analiza porównawcza poprawionych współczynników determinacji otrzymanych dla poszczególnych miesięcy okresu zimowego dla warstwy gleby 0÷5 cm pod powierzchnią nieporośniętą wykazała, że wyprowadzone równania najlepiej wyjaśniały jej zasoby wodne w grudniu w półroczu zimowym 2002/2003 ( $R_p^2=95\%$ ). Dla trawnika najwyższą wartość współczynnika  $R_p^2$  otrzymano dla kwietnia w okresie zimowym 2002/2003 (99%). Elementami agrometeorologicznymi, które wносиły najwięcej informacji o zasobach do tych równań, były sumy opadów atmosferycznych za okres 10 dni poprzedzających termin, w którym zmierzono wilgotność gleby dla powierzchni nieporośniętej oraz temperatura powietrza z krokiem czasowym 15 dni dla trawnika. Dla warstwy 0÷20 cm pod powierzchnią nieporośniętą otrzymane formuły w największym stopniu wyjaśniały zasoby wodne gleby w grudniu w pierwszym sezonie badań

( $R_p^2=99\%$ ) oraz podobnie w listopadzie w okresie 2002÷2004 ( $R_p^2=98\%$ ), a zmienne opisujące, dla których otrzymano najwyższe wartości cząstkowych współczynników determinacji w tych równaniach, stanowiły temperatura gleby z głębokości 10 cm z krokiem czasowym 4 dni oraz średnie stany wody gruntowej za okres 15 dni poprzedzających. W przypadku powierzchni pokrytej trawą najwyższą wartość poprawionego współczynnika determinacji otrzymano także w listopadzie dla dwóch okresów łącznie (98%) oraz równie wysoką wartość  $R_p^2$  obserwowano w kwietniu w okresie zimowym 2003/2004. Do wyprowadzonych równań najczęściej informacji wносиły stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1 i 14 dni. Dla warstwy o miąższości 0÷40 cm pod ugiem podobnie wysokie wartości współczynników  $R_p^2$  otrzymano w listopadzie w okresie 2002÷2004 (100%) oraz lutym w pierwszym sezonie badań (99%). Wyprowadzone równania dla trawnika najlepiej wyjaśniały zasoby wodne w tej warstwie gleby w kwietniu w półroczu zimowym 2002/2003 (99%), a w przypadku warstwy gleby 0÷60 cm pod obiema powierzchniami w listopadzie dla dwóch okresów łącznie ( $R_p^2=100\%$ ) dla powierzchni nieporośniętej i  $R_p^2=99\%$  dla powierzchni pokrytej trawą. W tych równaniach dla warstwy 0÷40 cm najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  stwierdzono dla stanów wody gruntowej oraz temperatury gleby na głębokości 5 cm z krokiem czasowym 15 dni dla powierzchni nieporośniętej, a dla trawnika dla średnich wartości temperatury gleby na głębokości 50 cm za okres 14 dni poprzedzających. Zasoby wodne w warstwie gleby 0÷60 cm pod obiema powierzchniami w największym stopniu wyjaśniały stany wody gruntowej z podobnym krokiem czasowym, odpowiednio 15 i 13 dni. Dla warstwy gleby 0÷80 cm pod ugiem podobnie wysokie wartości poprawionych współczynników determinacji otrzymano w listopadzie (100%) dla okresu 2002÷2004, w grudniu (99%) oraz w lutym (100%) w półroczu zimowym 2002/2003. Dla powierzchni pokrytej trawą zasoby wodne gleby w tym przypadku, podobnie jak dla powierzchni nieporośniętej, najlepiej wyjaśniały formuły wyprowadzone dla listopada dla okresu 2002÷2004 ( $R_p^2=98\%$ ), dla lutego w pierwszym okresie badawczym ( $R_p^2=99\%$ ), a także dla kwietnia w półroczu zimowym 2003/2004 ( $R_p^2=98\%$ ). W przypadku ugiu elementami dominującymi w tych równaniach były średnie stany wody gruntowej za okres 15 dni poprzedzających i temperatura gleby z głębokości 10 i 100 cm za okres odpowiednio 13 i 4 dni. W formułach wyprowadzonych dla trawnika najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  stwierdzono dla temperatury gleby na głębokości 10 cm z krokiem czasowym 15 dni, dla sum opadów atmosferycznych za okres 14 dni i dla średnich stanów wody gruntowej za okres 3 dni poprzedzających. Dla warstwy gleby 0÷100 cm pod obiema powierzchniami najwyższe wartości  $R_p^2$  stwierdzono dla listopada dla okresu 2002÷2004 i wynosiły one 100%. Spośród zmiennych opisujących, które wносиły największą ilość informacji do tych równań regresji były to stany wody gruntowej z krokiem czasowym 15 dni dla powierzchni nieporośniętej i 10 dni dla powierzchni pokrytej trawą.

Na podstawie analizy porównawczej poprawionych współczynników determinacji dla całych okresów zimowych oddzielnie oraz łącznie dla powierzchni nieporośniętej stwierdzono, że najwyższe wartości  $R_p^2$  dla warstw 0÷5 i 0÷20 cm otrzymano w okresie zimowym 2002/2003 (odpowiednio 62 i 78%), dla 0÷40, 0÷60 i 0÷80 cm w drugim sezonie badawczym (odpowiednio 89%, 91% i 91%), a dla warstwy 0÷100 cm w trzecim (91%). W przypadku warstw o miąższości 0÷5, 0÷20 i 0÷40 cm pod trawnikiem ich zasoby wodne w największym stopniu wyjaśniały równania otrzymane dla okresu zimowego

2002/2003, a dla warstw o większej miąższości: 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm taką sytuację obserwowano w drugim sezonie badawczym. Wartości poprawionych współczynników determinacji wahały się od 65% dla warstwy 0÷5 cm do 97% dla warstwy 0÷100 cm. Spośród elementów agrometeorologicznych, które wносиły najwięcej informacji o zasobach wodnych do tych równań dla ugoru obserwowano temperaturę gleby z głębokości 5 cm z krokiem czasowym 2 dni dla warstwy 0÷5 cm, sumy opadów z krokiem czasowym 8 dni dla warstwy 0÷20 cm i temperaturę gleby z głębokości 1÷2 cm z krokiem czasowym 15 dni dla warstwy 0÷40 cm. Dla warstw o większej miąższości: 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm najwyższe wartości  $R_{cz}^2$  obserwowano dla średnich stanów wody gruntowej za okresy odpowiednio 15, 2 i 1 dzień poprzedzające termin, na który zmierzono wilgotność gleby. Większą stabilizację tych elementów stwierdzono dla powierzchni pokrytej trawą. W równaniach otrzymanych dla warstw o miąższości 0÷5, 0÷20 i 0÷40 cm w największym stopniu wyjaśniały ich zasoby wodne sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym odpowiednio 8, 7 i 15 dni. W pozostałych przypadkach były to stany wody gruntowej z dnia poprzedzającego.

W 22 przypadkach wartości poprawionych współczynników determinacji nie przekroczyły 50%. W większości niskie wartości  $R_p^2$  otrzymano dla warstw 0÷5 cm i 0÷20 cm pod powierzchnią nieporośniętą dla oddzielnych okresów zimowych 2004/2005 oraz łącznych 2002÷2004 i 2002÷2005. Miesiącem, dla którego wyprowadzone formuły w najmniejszym stopniu wyjaśniały zasoby wodne gleby, był grudzień w półroczach zimowych 2003/2004 oraz 2004/2005. Taką sytuację obserwowano dla warstw o miąższości 0÷40 cm, 0÷60 cm, 0÷80 cm i 0÷100 cm, a wartości  $R_p^2$  wahały się od 37 do 45%. Rzadziej wartości poprawionych współczynników determinacji poniżej 50% obserwowano w kwietniu oraz marcu dla warstw 0÷5 cm, 0÷20 cm i 0÷40 cm i wahały się one od 16 do 40%. Dla powierzchni pokrytej trawą niskie wartości  $R_p^2$  otrzymano zaledwie w 6 przypadkach dla warstw 0÷5 cm i 0÷20 cm i 0÷100 cm. Spośród zmiennych opisujących zasoby wodne gleby wchodzących do tych równań przeważały sumy opadów atmosferycznych. Znaczącą rolę miała również temperatura powietrza, nieco rzadziej obserwowano stany wody gruntowej oraz temperaturę gleby na głębokości 1÷2 i 5 cm, a sporadycznie na większych głębokościach.



**Tabela 10**  
**Table 10**

Zależności zasobów wodnych gleby w listopadzie w okresie zimowym **2002/2003** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in November in winter period **2002/2003** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 4,64+0,06 \cdot x_1+0,10 \cdot x_2+0,03 \cdot x_3+0,12 \cdot x_4-0,13 \cdot x_5$	73,70	0,3
0÷20	$y = 22,59+0,21 \cdot x_1+0,16 \cdot x_2+0,13 \cdot x_3-0,11 \cdot x_4-8,26 \cdot x_5+8,12 \cdot x_6$	90,62	0,4
0÷40	$y = 56,63+0,21 \cdot x_1+0,14 \cdot x_2-1,62 \cdot x_3+1,17 \cdot x_4+0,22 \cdot x_5$	91,17	0,6
0÷60	$y = 128,14+0,34 \cdot x_1+0,28 \cdot x_2+0,67 \cdot x_3$	91,89	0,9
0÷80	$y = 194,41+0,47 \cdot x_1+1,47 \cdot x_2$	82,10	1,4
0÷100	$y = 252,84-5,85 \cdot x_1+6,26 \cdot x_2-3,77 \cdot x_3$	90,62	1,4
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 9,45+0,07 \cdot x_1+0,07 \cdot x_2+0,01 \cdot x_3$	89,91	0,1
0÷20	$y = 32,60+0,15 \cdot x_1+0,21 \cdot x_2-0,45 \cdot x_3+0,14 \cdot x_4$	86,12	0,6
0÷40	$y = 67,53+0,27 \cdot x_1+0,28 \cdot x_2+0,06 \cdot x_3-0,25 \cdot x_4$	86,22	0,8
0÷60	$y = 129,55+0,28 \cdot x_1+0,40 \cdot x_2$	88,09	1,3
0÷80	$y = 166,02-0,70 \cdot x_1-8,67 \cdot x_2-19,21 \cdot x_3+46,11 \cdot x_4-73,36 \cdot x_5+47,00 \cdot x_6$	91,63	1,6
0÷100	$y = 154,57+45,00 \cdot x_1+104,93 \cdot x_2-112,17 \cdot x_3-38,32 \cdot x_4$	90,95	2,1

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 4	P 3	P 7	WG 4	WG 1	TG100 15
2	P 1	P 9	P 4	P 7	TG100 8	TG20 14
3	P 15	P 15	TG1 10	TG50 15		TG50 8
4	TG1 4	P 13	TP 13			
5	TP 11	TG5 12	TP 4			
6		TG1 12				
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 3	P 6	P 7	WG 1	WG 1	TGT100 14
2	P 1	P 3	P 3	P 6	TGT50 8	TGT20 15
3	WG 1	TP 13	WG 1		TGT100 15	TGT50 15
4		P 9	TP 10		TGT20 14	TGT10 15
5					TGT10 14	
6					TGT5 14	

**Tabela 11**  
**Table 11**

Zależności zasobów wodnych gleby w listopadzie w okresie zimowym **2003/2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in November in winter period **2003/2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 12,57+0,11 \cdot x_1+0,06 \cdot x_2-0,22 \cdot x_3+0,05 \cdot x_4$	82,46	0,3
0÷20	$y = 25,87+0,20 \cdot x_1+0,09 \cdot x_2+0,08 \cdot x_3$	84,76	0,3
0÷40	$y = 22,85+0,10 \cdot x_1+0,12 \cdot x_2+0,11 \cdot x_3-0,33 \cdot x_4-0,06 \cdot x_5$	89,26	0,3
0÷60	$y = 37,36+0,13 \cdot x_1+0,15 \cdot x_2$	75,91	0,4
0÷80	$y = 68,26+0,15 \cdot x_1+0,14 \cdot x_2$	78,30	0,4
0÷100	$y = 103,62+0,18 \cdot x_1+0,13 \cdot x_2-0,21 \cdot x_3-0,14 \cdot x_4+0,14 \cdot x_5$	81,08	0,5
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 15,05+0,04 \cdot x_1+0,05 \cdot x_2+0,03 \cdot x_3$	92,51	0,1
0÷20	$y = 55,81+0,20 \cdot x_1+0,10 \cdot x_2+0,20 \cdot x_3$	93,41	0,2
0÷40	$y = 111,98+0,42 \cdot x_1+0,21 \cdot x_2+1,77 \cdot x_3-1,00 \cdot x_4$	89,36	0,3
0÷60	$y = 152,03+0,51 \cdot x_1+0,21 \cdot x_2+2,54 \cdot x_3-1,23 \cdot x_4$	78,82	0,5
0÷80	$y = 267,74+11,56 \cdot x_1-0,91 \cdot x_2-9,63 \cdot x_3-0,70 \cdot x_4+1,54 \cdot x_5+0,45 \cdot x_6$	81,28	0,5
0÷100	$y = 190,98+0,33 \cdot x_1+0,13 \cdot x_2$	73,66	0,6

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 1	TG5 1	P 6	P 6	P 6	P 6
2	WG 1	WG 5	TG20 1	TG10 1	TG10 1	P 15
3	TG5 15	P 5	P 15			TP 12
4	P 5		TG50 11			P 12
5			P 12			TG1 2
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 4	WG 15	WG 15	WG 15	WG 15	WG 15
2	WG 15	P 5	TP 4	TGT1 2	WG 4	P 5
3	P 13	TGT10 4	TGT20 14	TGT20 15	WG 14	
4			TGT20 12	TGT20 13	TP 11	
5					TGT100 1	
6					TP 15	

**Tabela 12**  
**Table 12**

Zależności zasobów wodnych gleby w listopadzie w okresie zimowym **2004/2005** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in November in winter period **2004/2005** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,76+0,05 \cdot x_1+0,01 \cdot x_2$	64,91	0,3
0÷20	$y = 12,80+0,09 \cdot x_1+0,13 \cdot x_2$	81,43	0,9
0÷40	$y = 42,52+0,17 \cdot x_1+0,12 \cdot x_2+4,24 \cdot x_3-5,14 \cdot x_4$	86,62	0,9
0÷60	$y = 71,66+0,23 \cdot x_1-3,13 \cdot x_2+4,28 \cdot x_3-2,56 \cdot x_4$	95,78	0,8
0÷80	$y = 114,84-6,96 \cdot x_1+13,84 \cdot x_2+13,71 \cdot x_3+3,23 \cdot x_4-21,61 \cdot x_5-5,12 \cdot x_6$	97,31	1,1
0÷100	$y = 190,20-7,34 \cdot x_1-2,69 \cdot x_2+2,75 \cdot x_3$	94,83	2,2
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 7,73-0,18 \cdot x_1+0,18 \cdot x_2$	75,79	0,4
0÷20	$y = 27,83+0,13 \cdot x_1+0,08 \cdot x_2+0,03 \cdot x_3$	95,48	0,7
0÷40	$y = 37,92+0,28 \cdot x_1+9,48 \cdot x_2+7,37 \cdot x_3-14,28 \cdot x_4-1,95 \cdot x_5$	95,16	1,2
0÷60	$y = 98,68+0,30 \cdot x_1+0,13 \cdot x_2$	91,64	2,1
0÷80	$y = 165,25+0,36 \cdot x_1+0,36 \cdot x_2$	93,51	2,7
0÷100	$y = 227,70-6,65 \cdot x_1-1,49 \cdot x_2$	93,85	4,0

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 2	P 11	P 11	P 14	TG1 14	TG100 15
2	P 6	P 2	P 2	TG50 4	TG1 5	TG5 5
3			TG10 14	TG20 11	TG1 12	TG1 12
4			TG50 10	TG50 15	TG20 3	
5					TG5 5	
6					TP 15	
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 4	P 13	P 15	P 15	P 13	TGT50 15
2	P 1	P 6	TGT1 4	WG 1	WG 1	TGT5 1
3		WG 1	TGT50 6			
4			TGT5 4			
5			TGT20 15			
6						

**Tabela 13**  
**Table 13**

Zależności zasobów wodnych gleby w listopadzie w okresie zimowym 2002÷2004 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in November in winter period 2002÷2004 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 10,75 + 0,05 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 + 0,05 \cdot x_3 - 0,16 \cdot x_4$	93,58	0,5
0÷20	$y = 47,48 + 0,25 \cdot x_1 + 0,21 \cdot x_2 + 3,62 \cdot x_3 - 2,94 \cdot x_4$	98,40	0,9
0÷40	$y = 107,19 + 0,65 \cdot x_1 + 6,94 \cdot x_2 - 5,47 \cdot x_3 + 0,21 \cdot x_4 + 1,4 \cdot x_5$	99,60	1,2
0÷60	$y = 184,01 + 1,05 \cdot x_1 + 7,30 \cdot x_2 - 2,95 \cdot x_3 + 0,21 \cdot x_4$	99,73	1,5
0÷80	$y = 273,65 + 1,48 \cdot x_1 + 12,56 \cdot x_2 - 22,20 \cdot x_3 + 17,23 \cdot x_4$	99,71	2,2
0÷100	$y = 372,78 + 1,93 \cdot x_1 + 16,31 \cdot x_2 - 28,63 \cdot x_3 + 21,64 \cdot x_4$	99,77	2,6
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 11,70 + 0,03 \cdot x_1 + 0,05 \cdot x_2 - 0,14 \cdot x_3$	95,61	0,2
0÷20	$y = 52,25 + 0,18 \cdot x_1 + 0,17 \cdot x_2$	98,35	0,7
0÷40	$y = 89,28 + 0,29 \cdot x_1 + 0,19 \cdot x_2 + 0,51 \cdot x_3$	98,44	1,1
0÷60	$y = 148,67 + 0,49 \cdot x_1 + 0,21 \cdot x_2 + 0,96 \cdot x_3$	99,37	1,3
0÷80	$y = 144,34 + 37,27 \cdot x_1 - 73,98 \cdot x_2 + 59,60 \cdot x_3 - 22,96 \cdot x_4$	98,11	3,1
0÷100	$y = 315,60 + 1,18 \cdot x_1 + 3,56 \cdot x_2$	99,59	2,1

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 6	WG 15	WG 15	WG 15	WG 15	WG 15
2	P 15	P 15	TG50 15	TG50 15	TG50 15	TG50 15
3	P 4	TG20 15	TG5 15	TG5 15	TG5 15	TG5 15
4	TP 14	TG5 15	P 15	P 15	TG1 15	TG1 15
5			TP 13			
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 6	WG 14	WG 8	WG 13	TGT5 15	WG 10
2	P 15	P 15	P 15	P 15	TGT10 15	TGT20 14
3	TGT5 14		TGT5 15	TGT20 14	TGT20 14	
4					TGT50 12	
5						
6						

**Tabela 14**  
**Table 14**

Zależności zasobów wodnych gleby w listopadzie w okresie zimowym 2002÷2005 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in November in winter period 2002÷2005 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 12,54 + 0,06 \cdot x_1$	73,14	0,9
0÷20	$y = 50,58 + 0,23 \cdot x_1 + 0,11 \cdot x_2$	86,60	2,3
0÷40	$y = 119,09 + 0,56 \cdot x_1 + 0,21 \cdot x_2$	85,98	5,7
0÷60	$y = 187,53 + 0,86 \cdot x_1 + 0,40 \cdot x_2$	87,12	8,5
0÷80	$y = 312,85 + 1,41 \cdot x_1 + 0,26 \cdot x_2$	93,00	9,5
0÷100	$y = 425,54 + 2,12 \cdot x_1 + 5,00 \cdot x_2$	96,69	8,4
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 12,47 - 0,05 \cdot x_1 + 0,04 \cdot x_2 + 0,08 \cdot x_3$	91,34	0,3
0÷20	$y = 47,81 + 0,15 \cdot x_1 + 0,13 \cdot x_2$	89,47	1,6
0÷40	$y = 82,52 + 0,23 \cdot x_1 + 0,27 \cdot x_2$	89,64	2,6
0÷60	$y = 138,69 + 0,42 \cdot x_1 + 0,27 \cdot x_2 + 0,58 \cdot x_3$	94,83	2,8
0÷80	$y = 221,10 + 0,74 \cdot x_1 + 0,28 \cdot x_2 + 0,82 \cdot x_3$	97,27	3,3
0÷100	$y = 310,00 + 1,08 \cdot x_1 + 0,32 \cdot x_2 + 0,92 \cdot x_3$	98,05	4,0

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 3	WG 13	WG 11	WG 11	WG 11	WG 14
2		P 15	P 15	P 15	P 15	TG100 1
3						
4						
5						
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 1	WG 2	WG 3	WG 1	WG 2	WG 2
2	P 15	P 15	P 15	P 15	P 15	P 15
3	WG 15			TGT10 1	TGT10 3	TGT10 4
4						
5						
6						

**Tabela 15**  
**Table 15**

Zależności zasobów wodnych gleby w grudniu w okresie zimowym **2002/2003** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in December in winter period **2002/2003** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 2,70 + 0,21 \cdot x_1 + 3,12 \cdot x_2 - 3,35 \cdot x_3$	94,81	0,5
0÷20	$y = 19,53 - 11,82 \cdot x_1 + 3,17 \cdot x_2 + 9,89 \cdot x_3$	98,68	0,9
0÷40	$y = 52,96 + 14,14 \cdot x_1 + 23,61 \cdot x_2 - 23,63 \cdot x_3 - 12,81 \cdot x_4$	98,71	1,3
0÷60	$y = 157,06 + 21,06 \cdot x_1 + 0,63 \cdot x_2 + 1,01 \cdot x_3 + 10,74 \cdot x_4 - 26,58 \cdot x_5$	98,88	1,6
0÷80	$y = 353,03 - 0,85 \cdot x_1 + 2,56 \cdot x_2 + 1,78 \cdot x_3 + 7,45 \cdot x_4$	99,03	1,7
0÷100	$y = 176,00 + 6,25 \cdot x_1$	95,79	2,7
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 2,09 + 0,56 \cdot x_1 + 0,33 \cdot x_2 - 0,52 \cdot x_3 + 0,38 \cdot x_4 - 0,66 \cdot x_5$	93,15	0,6
0÷20	$y = 40,56 + 0,70 \cdot x_1 + 0,74 \cdot x_2 + 0,14 \cdot x_3$	97,31	0,8
0÷40	$y = 78,20 + 1,47 \cdot x_1 + 0,24 \cdot x_2 + 0,26 \cdot x_3$	96,46	1,1
0÷60	$y = 90,01 + 9,28 \cdot x_1 + 0,63 \cdot x_2 - 6,74 \cdot x_3$	97,18	1,2
0÷80	$y = 220,16 + 0,68 \cdot x_1 + 0,51 \cdot x_2$	95,59	1,5
0÷100	$y = 274,87 + 0,68 \cdot x_1 + 0,39 \cdot x_2$	94,11	1,6

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 10	TG10 4	TG10 9	TG50 7	TG100 4	TG100 7
2	TG1 2	TG10 11	TG1 6	TP 2	TP 7	
3	TG5 2	TG1 4	TG5 6	WG 12	WG 13	
4			TG5 9	TP 9	TG5 15	
5				TG5 9		
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TGT5 3	TGT10 8	TGT5 9	TGT10 14	WG 2	WG 2
2	P 11	TGT1 4	WG 11	TP 6	TP 7	TP 6
3	P 8	WG 10	TP 2	TGT1 15		
4	P 12					
5	TGT1 10					
6						

**Tabela 16**  
**Table 16**

Zależności zasobów wodnych gleby w grudniu w okresie zimowym **2003/2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in December in winter period **2003/2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,31+0,06 \cdot x_1+0,15 \cdot x_2+0,03 \cdot x_3$	62,60	0,5
0÷20	$y = 10,68+0,15 \cdot x_1+0,11 \cdot x_2$	72,06	1,0
0÷40	$y = 22,67+0,18 \cdot x_1+0,10 \cdot x_2$	72,42	1,1
0÷60	$y = 26,49+0,22 \cdot x_1-4,84 \cdot x_2+6,48 \cdot x_3$	74,13	1,1
0÷80	$y = 70,82+0,19 \cdot x_1+0,38 \cdot x_2-0,31 \cdot x_3$	50,89	1,7
0÷100	$y = 105,02+0,13 \cdot x_1+0,13 \cdot x_2$	43,91	1,8
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 6,84+0,04 \cdot x_1+0,05 \cdot x_2-0,04 \cdot x_5$	62,70	0,3
0÷20	$y = 25,50+0,16 \cdot x_1-1,02 \cdot x_2+1,03 \cdot x_3$	73,40	0,8
0÷40	$y = 68,26+0,25 \cdot x_1-0,86 \cdot x_2+37,09 \cdot x_3+5,64 \cdot x_4-31,11 \cdot x_5-12,93 \cdot x_6$	84,93	1,0
0÷60	$y = 79,00-2,68 \cdot x_1+3,37 \cdot x_2-1,22 \cdot x_3+0,11 \cdot x_4$	80,11	1,5
0÷80	$y = 100,09+0,22 \cdot x_1-2,67 \cdot x_2+3,18 \cdot x_3$	61,36	1,7
0÷100	$y = 150,10-2,96 \cdot x_1+8,89 \cdot x_2-4,00 \cdot x_3-3,64 \cdot x_4$	80,10	1,8

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 5	P 15	P 11	P 5	P 5	P 11
2	TG5 1	P 5	P 5	TG1 15	P 13	P 5
3	P 15			TG50 10	P 14	
4						
5						
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 5	P 6	P 15	TGT1 12	P 14	TGT1 15
2	P 10	TP 15	TGT1 11	TGT10 5	TGT1 13	TGT20 6
3	P 12	TGT20 8	TGT20 8	TP 7	TGT50 7	TGT50 2
4			TGT50 15	P 8		TGT5 8
5			TGT50 8			
6			TGT5 8			

**Tabela 17**  
**Table 17**

Zależności zasobów wodnych gleby w grudniu w okresie zimowym **2004/2005** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in December in winter period **2004/2005** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = -18,44+0,24 \cdot x_1+0,12 \cdot x_2+0,37 \cdot x_3-0,34 \cdot x_4-0,15 \cdot x_5$	88,16	0,2
0÷20	$y = 46,12+0,55 \cdot x_1+0,15 \cdot x_2+0,27 \cdot x_3$	74,68	0,6
0÷40	$y = 78,97+0,35 \cdot x_1+0,12 \cdot x_2+0,37 \cdot x_3$	44,90	0,9
0÷60	$y = 99,47+0,50 \cdot x_1+0,12 \cdot x_2+0,28 \cdot x_3$	44,58	1,0
0÷80	$y = 94,83+0,47 \cdot x_1+0,07 \cdot x_2$	36,51	1,2
0÷100	$y = 128,24+0,61 \cdot x_1+0,08 \cdot x_2$	40,92	1,4
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 6,45+0,06 \cdot x_1+0,07 \cdot x_2$	78,00	0,2
0÷20	$y = 25,15+0,34 \cdot x_1+0,71 \cdot x_2$	77,25	0,6
0÷40	$y = 80,03+0,27 \cdot x_1+0,89 \cdot x_2+0,22 \cdot x_3$	63,80	1,1
0÷60	$y = 84,26+3,61 \cdot x_1+0,47 \cdot x_2-2,49 \cdot x_3$	71,47	1,1
0÷80	$y = 125,40+4,57 \cdot x_1+0,52 \cdot x_2-3,36 \cdot x_3$	68,00	1,2
0÷100	$y = 176,90+0,42 \cdot x_1+0,76 \cdot x_2$	47,44	1,8

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 1	TP 8	TP 6	TP 7	TP 7	TP 7
2	P 6	P 13	P 13	P 13	P 13	P 13
3	TP 10	WG 9	WG 6	WG 7		
4	TG5 1					
5	WG 5					
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 11	P 7	P 13	TGT5 3	TGT5 3	P 5
2	TP 4	TGT20 1	TP 12	P 5	P 5	TP 7
3			WG 11	TGT1 3	TGT1 3	
4						
5						
6						



**Tabela 18**  
**Table 18**

Zależności zasobów wodnych gleby w grudniu w okresie zimowym 2002÷2004 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in December in winter period 2002÷2004 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,68 + 1,06 \cdot x_1 + 0,07 \cdot x_2 - 0,93 \cdot x_3$	66,42	0,9
0÷20	$y = 17,59 + 9,71 \cdot x_1 - 9,38 \cdot x_2$	62,51	3,5
0÷40	$y = 72,46 + 0,39 \cdot x_1 + 3,11 \cdot x_2$	79,45	5,8
0÷60	$y = 150,19 + 0,68 \cdot x_1$	76,78	11,2
0÷80	$y = 264,48 + 1,26 \cdot x_1$	92,94	9,5
0÷100	$y = 379,87 + 1,76 \cdot x_1$	95,56	10,8
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 5,40 + 0,18 \cdot x_1 - 0,22 \cdot x_2 + 0,22 \cdot x_3$	87,59	0,7
0÷20	$y = 30,35 + 0,25 \cdot x_1 + 0,07 \cdot x_2 + 0,58 \cdot x_3$	86,40	1,4
0÷40	$y = 62,45 + 0,39 \cdot x_1 + 0,14 \cdot x_2 + 0,80 \cdot x_3$	88,71	1,8
0÷60	$y = 131,10 + 0,32 \cdot x_1$	75,32	5,5
0÷80	$y = 228,79 + 0,79 \cdot x_1 + 0,85 \cdot x_2$	97,37	3,4
0÷100	$y = 316,43 + 0,31 \cdot x_1 + 0,81 \cdot x_2 + 1,56 \cdot x_3$	98,96	3,2

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 2	TG1 5	WG 14	WG 15	WG 1	WG 6
2	P 14	TG5 5	TG50 15			
3	TG5 2					
4						
5						
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 2	P 15	P 15	WG 15	WG 1	WG 2
2	WG 15	WG 6	WG 15		TGT10 1	WG 15
3	WG 1	TGT20 4	TGT50 15			TGT10 1
4						
5						
6						

**Tabela 19**  
**Table 19**

Zależności zasobów wodnych gleby w grudniu w okresie zimowym 2002÷2005 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in December in winter period 2002÷2005 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,69+0,09 \cdot x_1+1,06 \cdot x_2-0,18 \cdot x_3+0,37 \cdot x_4-1,11 \cdot x_5$	65,61	0,8
0÷20	$y = 14,35+7,44 \cdot x_1+0,17 \cdot x_2-17,77 \cdot x_3+14,97 \cdot x_4-4,66 \cdot x_5$	73,90	2,4
0÷40	$y = 92,73+0,45 \cdot x_1+8,45 \cdot x_2-10,98 \cdot x_3+3,30 \cdot x_4$	92,45	2,9
0÷60	$y = 171,99+0,86 \cdot x_1+0,83 \cdot x_2$	90,12	6,0
0÷80	$y = 271,88+1,36 \cdot x_1+3,27 \cdot x_2$	91,61	8,5
0÷100	$y = 346,50+1,77 \cdot x_1+5,30 \cdot x_2$	86,34	16,1
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 10,81+1,56 \cdot x_1-1,48 \cdot x_2+0,03 \cdot x_3$	81,29	0,8
0÷20	$y = 34,00+0,72 \cdot x_1+0,08 \cdot x_2+0,17 \cdot x_3$	80,81	1,4
0÷40	$y = 71,26+0,17 \cdot x_1+0,86 \cdot x_2+0,15 \cdot x_3$	80,69	2,0
0÷60	$y = 140,30+1,17 \cdot x_1-0,76 \cdot x_2$	91,21	2,7
0÷80	$y = 227,13+0,78 \cdot x_1+0,65 \cdot x_2$	94,45	3,2
0÷100	$y = 310,27+1,09 \cdot x_1+2,39 \cdot x_2$	97,42	4,1

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 11	TG1 4	WG 2	WG 2	WG 15	WG 15
2	TG1 2	P 13	TG1 10	TP 1	TP 13	TG100 3
3	TP 4	TG5 4	TG20 9			
4	TG1 4	TG10 4	TG50 15			
5	TG5 2	TG20 3				
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 15	TGT10 4	WG 2	WG 2	WG1	WG 15
2	TGT1 13	WG 2	TGT10 4	WG 9	TGT10 1	TGT20 1
3	WG 2	P 13	P 14			
4						
5						
6						

Tabela 20

Table 20

Zależności zasobów wodnych gleby w styczniu w okresie zimowym 2002/2003 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in January in winter period 2002/2003 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 6,89 + 0,53 \cdot x_1$	65,10	2,4
0÷20	$y = 23,91 + 6,98 \cdot x_1 + 0,62 \cdot x_2 + 0,22 \cdot x_3 + 2,23 \cdot x_4$	91,34	1,9
0÷40	$y = -2,27 + 7,50 \cdot x_1 + 0,74 \cdot x_2 + 1,01 \cdot x_3 - 1,27 \cdot x_4$	90,27	2,6
0÷60	$y = 105,65 + 6,05 \cdot x_1 + 106,65 \cdot x_2 + 0,83 \cdot x_3 - 70,17 \cdot x_4 + 0,50 \cdot x_5 + 6,72 \cdot x_6$	97,06	2,1
0÷80	$y = 163,50 - 72,44 \cdot x_1 + 1,04 \cdot x_2 + 16,57 \cdot x_3 + 117,92 \cdot x_4$	95,97	2,7
0÷100	$y = 179,14 - 2,82 \cdot x_1 + 0,49 \cdot x_2 + 1,06 \cdot x_3 - 1,23 \cdot x_4 + 5,90 \cdot x_5 + 71,67 \cdot x_6$	96,28	2,5
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 1,56 + 0,60 \cdot x_1 + 3,92 \cdot x_2 + 0,11 \cdot x_3 - 0,10 \cdot x_4 - 0,86 \cdot x_5$	97,37	0,5
0÷20	$y = 67,30 + 6,37 \cdot x_1 + 36,20 \cdot x_2 - 0,60 \cdot x_3 + 0,80 \cdot x_4 - 25,57 \cdot x_5$	97,46	0,9
0÷40	$y = 69,69 + 15,26 \cdot x_1 + 22,77 \cdot x_2 + 0,29 \cdot x_3 - 16,78 \cdot x_4 - 31,17 \cdot x_5$	97,95	1,0
0÷60	$y = 118,18 + 20,11 \cdot x_1 + 5,59 \cdot x_2 + 0,16 \cdot x_3 + 1,77 \cdot x_4$	94,67	2,1
0÷80	$y = 140,37 + 16,06 \cdot x_1 + 6,65 \cdot x_2 + 11,04 \cdot x_3 + 2,98 \cdot x_4$	93,63	2,4
0÷100	$y = 161,14 + 0,79 \cdot x_1 - 1,37 \cdot x_2 + 13,63 \cdot x_3 + 9,11 \cdot x_4$	95,29	2,1

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 1	TG20 2	TG20 2	TG10 3	TG5 15	TP 15
2		TP 1	WG 3	TG10 15	P 7	WG 1
3		P 15	TP 1	P 7	TG20 2	TP 1
4		TG1 8	WG 13	TG5 15	TG10 15	WG 13
5				TP 1		TG1 4
6				TG20 6		TG20 15
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 9	TGT1 9	TGT1 9	TGT10 15	TGT1 15	WG 1
2	TGT1 15	TGT10 15	TGT5 15	TGT10 8	TGT10 8	WG 6
3	P 6	WG 5	P 8	P 8	TGT100 8	TGT1 15
4	WG 5	WG 10	TGT5 9	TGT5 2	TGT10 2	TGT20 8
5	TGT5 6	TGT5 15	TGT20 15			
6						

**Tabela 21**  
**Table 21**

Zależności zasobów wodnych gleby w styczniu w okresie zimowym **2003/2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in January in winter period **2003/2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 0,91+0,07 \cdot x_1+0,06 \cdot x_2+0,02 \cdot x_3-0,35 \cdot x_4+0,06 \cdot x_5$	94,23	0,3
0÷20	$y = 4,03-2,70 \cdot x_1-0,05 \cdot x_2+1,29 \cdot x_3-1,98 \cdot x_4+3,34 \cdot x_5+3,80 \cdot x_6$	96,40	1,0
0÷40	$y = 26,20+0,82 \cdot x_1+4,17 \cdot x_2$	80,01	2,8
0÷60	$y = 18,85+5,56 \cdot x_1-5,46 \cdot x_2-24,63 \cdot x_3-47,48 \cdot x_4+13,66 \cdot x_5+86,38 \cdot x_6$	74,18	5,2
0÷80	$y = 117,47+1,66 \cdot x_1+1,52 \cdot x_2-1,18 \cdot x_3$	85,85	5,6
0÷100	$y = 297,63+7,33 \cdot x_1-5,95 \cdot x_2+2,73 \cdot x_3$	85,50	14,3
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 1,89+0,11 \cdot x_1+1,45 \cdot x_2-0,03 \cdot x_3-1,36 \cdot x_4$	95,77	0,5
0÷20	$y = 21,19+0,19 \cdot x_1+3,64 \cdot x_2-4,82 \cdot x_3-0,03 \cdot x_4$	95,30	0,9
0÷40	$y = 65,50+0,11 \cdot x_1+1,06 \cdot x_2-1,09 \cdot x_3-6,87 \cdot x_4+4,51 \cdot x_5$	93,90	1,2
0÷60	$y = 140,46+0,15 \cdot x_1+6,73 \cdot x_2-15,97 \cdot x_3$	91,98	2,0
0÷80	$y = 185,37+0,07 \cdot x_1+2,08 \cdot x_2-23,77 \cdot x_3$	94,34	2,9
0÷100	$y = 274,54+0,52 \cdot x_1-74,17 \cdot x_2+52,15 \cdot x_3$	92,26	4,9

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 7	TG10 2	TP 5	TP 8	TP 6	WG 1
2	P 11	WG 15	TG20 1	TP 12	WG 1	WG 2
3	WG 1	TP 7		TG10 10	WG 4	TP 9
4	TG1 6	TP 11		TG1 9		
5	P 6	TG5 6		TG20 1		
6		TG20 1		TG10 9		
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 12	P 15	P 15	WG 1	WG 2	WG 1
2	TGT1 6	TGT1 6	TP 7	TGT1 6	TP 8	TGT50 8
3	WG 11	TGT5 9	TP 11	TGT50 8	TGT50 15	TGT50 5
4	TGT5 8	WG 14	TGT50 1			
5			TGT1 6			
6						

**Tabela 22**  
**Table 22**

Zależności zasobów wodnych gleby w styczniu w okresie zimowym **2004/2005** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in January in winter period **2004/2005** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 0,38+0,09 \cdot x_1+0,11 \cdot x_2$	84,02	0,3
0÷20	$y = 12,16+0,14 \cdot x_1+0,41 \cdot x_2+0,12 \cdot x_3$	89,11	0,5
0÷40	$y = 32,51+0,22 \cdot x_1+0,45 \cdot x_2$	84,80	0,7
0÷60	$y = 75,24+0,35 \cdot x_1+0,37 \cdot x_2+0,66 \cdot x_3-1,41 \cdot x_4-0,29 \cdot x_5$	93,95	0,7
0÷80	$y = 238,27+0,23 \cdot x_1-9,55 \cdot x_2+8,90 \cdot x_3-16,79 \cdot x_4$	91,75	1,2
0÷100	$y = 321,72+1,37 \cdot x_1+0,83 \cdot x_2-6,41 \cdot x_3$	92,35	3,8
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 6,90+0,10 \cdot x_1+0,10 \cdot x_2+0,07 \cdot x_3-0,09 \cdot x_4-0,08 \cdot x_5$	89,23	0,2
0÷20	$y = 31,57+0,13 \cdot x_1+0,20 \cdot x_2+2,35 \cdot x_3+11,95 \cdot x_4-16,60 \cdot x_5$	90,90	0,5
0÷40	$y = 60,09+0,17 \cdot x_1-5,65 \cdot x_2+10,29 \cdot x_3+0,21 \cdot x_4-5,98 \cdot x_5-0,45 \cdot x_6$	92,40	0,7
0÷60	$y = 125,15+0,29 \cdot x_1+0,31 \cdot x_2+0,20 \cdot x_3+0,72 \cdot x_4$	93,27	1,0
0÷80	$y = 180,16+0,42 \cdot x_1+0,56 \cdot x_2+8,23 \cdot x_3-6,96 \cdot x_4$	89,34	1,9
0÷100	$y = 241,19+0,53 \cdot x_1+0,64 \cdot x_2+10,20 \cdot x_3-8,59 \cdot x_4$	82,94	2,9

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 13	P 13	P 13	P 13	WG 1	WG 1
2	TP 1	TG1 1	TG1 1	WG 1	TG100 12	P 8
3		P 3		TP 9	TG1 15	TG100 12
4				TG10 8	TG100 4	
5				WG 15		
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 6	P 6	P 6	P 11	WG 15	WG 15
2	P 13	P 2	TGT50 7	WG 15	P 11	P 11
3	P 3	TGT5 15	TGT10 7	P 6	TP 15	TP 15
4	P 5	TGT10 10	P 3	TGT20 7	TP 14	TP 14
5	P 14	TGT20 10	TGT5 7			
6			TP 7			

Tabela 23

Table 23

Zależności zasobów wodnych gleby w styczniu w okresie zimowym 2002÷2004 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in January in winter period 2002÷2004 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 9,91+0,31 \cdot x_1-3,07 \cdot x_2+1,86 \cdot x_3+0,05 \cdot x_4$	68,31	2,1
0÷20	$y = 18,02+0,41 \cdot x_1-12,15 \cdot x_2+7,37 \cdot x_3+0,23 \cdot x_4$	88,68	2,6
0÷40	$y = 50,50-14,98 \cdot x_1+4,83 \cdot x_2+32,55 \cdot x_3-34,60 \cdot x_4$	90,99	4,4
0÷60	$y = 88,44-25,33 \cdot x_1+70,19 \cdot x_2-66,94 \cdot x_3$	87,30	8,1
0÷80	$y = 155,61-147,57 \cdot x_1+85,27 \cdot x_2+39,62 \cdot x_3$	92,08	9,0
0÷100	$y = 416,16-227,95 \cdot x_1+365,53 \cdot x_2-200,40 \cdot x_3-30,95 \cdot x_4+27,84 \cdot x_5$	90,40	14,3
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 9,87+1,40 \cdot x_1+1,96 \cdot x_2$	78,23	1,3
0÷20	$y = 36,34+0,29 \cdot x_1+0,25 \cdot x_2-9,85 \cdot x_3+6,52 \cdot x_4+3,29 \cdot x_5$	92,55	1,5
0÷40	$y = 78,50+0,10 \cdot x_1+0,38 \cdot x_2-8,41 \cdot x_3+7,76 \cdot x_4+1,57 \cdot x_5$	89,82	2,2
0÷60	$y = 114,19+0,67 \cdot x_1-0,64 \cdot x_2-29,94 \cdot x_3+21,80 \cdot x_4+0,67 \cdot x_5$	91,09	3,1
0÷80	$y = 194,82+44,16 \cdot x_1+0,33 \cdot x_2+21,76 \cdot x_3-53,41 \cdot x_4+44,41 \cdot x_5-73,80 \cdot x_6$	97,14	3,0
0÷100	$y = 226,42-38,36 \cdot x_1+0,66 \cdot x_2+27,67 \cdot x_3+22,26 \cdot x_4-24,35 \cdot x_5$	97,05	4,0

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 1	TP 1	TG50 9	TG50 9	TG50 9	TG100 8
2	TG5 12	TG20 10	TG10 2	TG5 15	TG50 5	TG20 15
3	TG5 5	TG1 9	TG5 15	TG10 15	TG20 15	TG10 15
4	WG 15	P 6	TG10 15			WG 15
5						WG 14
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TGT1 1	TP 2	WG 1	WG 1	TGT50 14	TGT50 9
2	TGT1 10	P 8	P 8	WG 3	WG 1	WG 1
3		TGT20 15	TGT50 7	TGT20 15	TGT50 5	TGT100 2
4		TGT1 15	TGT1 14	TGT5 15	TGT50 9	TGT5 14
5		TGT5 10	TGT5 4	TP 9	TGT5 15	TGT20 14
6					TGT20 15	

Tabela 24

Table 24

Zależności zasobów wodnych gleby w styczniu w okresie zimowym 2002÷2005 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in January in winter period 2002÷2005 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 10,49 + 0,36 \cdot x_1 - 7,48 \cdot x_2 + 6,38 \cdot x_3 + 0,06 \cdot x_4$	61,74	1,9
0÷20	$y = 39,52 + 0,43 \cdot x_1 + 0,22 \cdot x_2 + 3,66 \cdot x_3 - 3,81 \cdot x_4$	68,85	3,5
0÷40	$y = 80,75 + 8,14 \cdot x_1 - 7,95 \cdot x_2 + 3,55 \cdot x_3 - 6,71 \cdot x_4 + 13,24 \cdot x_5 - 11,26 \cdot x_6$	81,03	5,2
0÷60	$y = 184,37 + 19,61 \cdot x_1 - 19,29 \cdot x_2 + 0,68 \cdot x_3 + 3,08 \cdot x_4$	82,01	8,1
0÷80	$y = 263,85 + 21,56 \cdot x_1 - 20,92 \cdot x_2 + 1,70 \cdot x_3 - 1,35 \cdot x_4 - 13,38 \cdot x_5 + 9,05 \cdot x_6$	86,59	9,6
0÷100	$y = 364,52 + 1,24 \cdot x_1 - 19,53 \cdot x_2 + 5,11 \cdot x_3$	80,75	17,5
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 8,18 + 0,39 \cdot x_1 - 3,15 \cdot x_2 + 0,11 \cdot x_3 + 2,44 \cdot x_4$	63,39	1,4
0÷20	$y = 42,14 + 3,03 \cdot x_1 - 4,12 \cdot x_2 + 0,29 \cdot x_3 + 0,11 \cdot x_4 + 1,48 \cdot x_5$	68,51	2,7
0÷40	$y = 85,57 + 0,31 \cdot x_1 + 0,23 \cdot x_2 + 1,27 \cdot x_3 + 4,98 \cdot x_4 - 5,01 \cdot x_5$	76,07	3,0
0÷60	$y = 142,90 + 0,59 \cdot x_1 - 8,23 \cdot x_2 + 8,05 \cdot x_3$	78,39	4,1
0÷80	$y = 245,41 + 0,75 \cdot x_1 + 12,74 \cdot x_2 - 12,56 \cdot x_3 + 1,48 \cdot x_4$	88,93	4,9
0÷100	$y = 334,97 + 0,91 \cdot x_1 + 15,68 \cdot x_2 - 15,31 \cdot x_3 + 1,69 \cdot x_4$	89,02	6,5

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 1	P 6	WG 15	WG 15	WG 15	WG 1
2	TG5 10	WG 15	WG 14	WG 14	WG 14	TG100 14
3	TG5 9	TG1 7	TG1 2	WG 1	WG 1	TG1 7
4	WG 15	TG20 15	TG50 1	TG10 1	WG 4	
5			TG20 15		TG100 15	
6			TG50 15		TG20 15	
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 8	TGT1 2	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	TGT5 7	TGT20 1	P 8	WG 14	WG 15	WG 15
3	P 6	P 7	TGT10 1	WG 15	WG 14	WG 14
4	TGT1 8	WG 1	WG 15		TGT50 5	TGT50 15
5		TGT1 14	WG 14			
6						

**Tabela 25**  
**Table 25**

Zależności zasobów wodnych gleby w lutym w okresie zimowym **2002/2003** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in February in winter period **2002/2003** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = -1,93+0,20 \cdot x_1-0,04 \cdot x_2$	81,28	0,3
0÷20	$y = 18,74+1,41 \cdot x_1+0,75 \cdot x_2+4,16 \cdot x_3$	96,40	0,9
0÷40	$y = 40,64+16,45 \cdot x_1+1,24 \cdot x_2+0,22 \cdot x_3-8,57 \cdot x_4-1,81 \cdot x_5$	99,45	0,8
0÷60	$y = 51,32+35,94 \cdot x_1-0,40 \cdot x_2$	98,81	1,8
0÷80	$y = 147,13+44,53 \cdot x_1+42,38 \cdot x_2+11,77 \cdot x_3-44,38 \cdot x_4$	99,63	1,5
0÷100	$y = 229,73+32,44 \cdot x_1+2,97 \cdot x_2$	98,32	2,5
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 4,65+2,29 \cdot x_1-0,77 \cdot x_2-0,05 \cdot x_3$	97,90	0,5
0÷20	$y = 41,48+2,53 \cdot x_1+0,15 \cdot x_2-1,87 \cdot x_3+0,23 \cdot x_4$	97,44	1,0
0÷40	$y = -47,49+5,07 \cdot x_1+44,68 \cdot x_2-1,76 \cdot x_3+0,84 \cdot x_4$	97,91	1,1
0÷60	$y = 120,48+5,97 \cdot x_1+18,87 \cdot x_2-19,55 \cdot x_3$	98,28	1,3
0÷80	$y = 170,19+0,80 \cdot x_1+0,31 \cdot x_2+2,06 \cdot x_3$	98,56	1,2
0÷100	$y = 253,37+0,49 \cdot x_1+4,15 \cdot x_2$	98,25	1,4

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 5	TP 15	TG5 15	TG5 15	TG10 13	TG5 13
2	WG 15	TP 5	TP 5	WG 15	TG5 5	TG5 5
3		TG20 4	P 15		TG50 2	
4			TG50 15		TG10 5	
5			TG20 5			
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 15	TP 15	TGT1 8	TP 15	P 14	WG 1
2	TP 10	WG 15	TGT50 15	TGT20 15	WG 15	TGT1 14
3	WG 15	TGT1 8	WG 15	TGT50 1	P 5	
4		P 13	WG 12			
5						
6						



**Tabela 26**  
**Table 26**

Zależności zasobów wodnych gleby w lutym w okresie zimowym **2003/2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in February in winter period **2003/2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 0,92+0,24 \cdot x_1-0,07 \cdot x_2+0,06 \cdot x_3-1,00 \cdot x_4+0,77 \cdot x_5$	61,62	0,7
0÷20	$y = 28,18+15,90 \cdot x_1+2,71 \cdot x_2-3,04 \cdot x_3+0,16 \cdot x_4-17,04 \cdot x_5$	82,84	1,2
0÷40	$y = 59,78+0,33 \cdot x_1+0,37 \cdot x_2-6,19 \cdot x_3$	71,45	2,3
0÷60	$y = 146,46+2,88 \cdot x_1+15,63 \cdot x_2-2,02 \cdot x_3-9,56 \cdot x_4$	92,20	5,6
0÷80	$y = 279,23+1,62 \cdot x_1+29,73 \cdot x_2-15,39 \cdot x_3$	92,32	6,0
0÷100	$y = 327,53+67,19 \cdot x_1+3,32 \cdot x_2-75,51 \cdot x_3$	86,00	12,5
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 9,15+1,94 \cdot x_1+0,60 \cdot x_2-2,37 \cdot x_3+0,17 \cdot x_4$	63,00	1,0
0÷20	$y = 55,13+1,92 \cdot x_1+0,85 \cdot x_2+0,30 \cdot x_3-4,35 \cdot x_4-2,78 \cdot x_5+1,44 \cdot x_6$	87,54	1,2
0÷40	$y = 77,16+0,23 \cdot x_1+0,84 \cdot x_2$	68,80	2,8
0÷60	$y = 210,00-32,05 \cdot x_1+18,96 \cdot x_2+0,72 \cdot x_3+0,62 \cdot x_4-4,03 \cdot x_5$	94,34	2,1
0÷80	$y = 99,01-37,64 \cdot x_1+0,40 \cdot x_2+54,09 \cdot x_3+53,20 \cdot x_4-53,89 \cdot x_5$	97,88	2,0
0÷100	$y = 306,70-29,89 \cdot x_1+0,75 \cdot x_2+21,51 \cdot x_3$	93,85	3,4

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 1	TG5 13	WG 1	WG 10	WG 9	TG100 15
2	WG 15	TG5 1	P 15	TG1 15	TG20 12	WG 3
3	WG 5	TG20 1	TG50 12	WG 5	TG50 9	TG50 14
4	TG5 1	WG 1		TG50 10	TG50 14	
5	TG1 1	TG10 13				
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TGT1 1	TGT1 15	WG 1	TGT50 14	TGT20 15	TGT50 14
2	P 15	P 5	TGT20 1	TGT1 15	WG 15	WG 15
3	TGT5 1	WG 1		WG 15	TGT5 15	TGT5 15
4	TP 7	TGT20 11		P 15	TGT100 15	
5		TGT5 1		TP 14	TGT50 14	
6		TGT1 1				

**Tabela 27**  
**Table 27**

Zależności zasobów wodnych gleby w lutym w okresie zimowym **2004/2005** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in February in winter period **2004/2005** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 2,17+0,39 \cdot x_1$	51,09	0,5
0÷20	$y = -61,39+3,23 \cdot x_1-0,73 \cdot x_2+0,15 \cdot x_3$	96,62	0,7
0÷40	$y = -73,07+5,18 \cdot x_1-1,00 \cdot x_2+0,21 \cdot x_3-2,34 \cdot x_4-1,57 \cdot x_5$	95,69	1,0
0÷60	$y = 71,50+2,58 \cdot x_1+5,57 \cdot x_2+2,39 \cdot x_3-2,29 \cdot x_4$	90,48	1,7
0÷80	$y = 21,33+4,41 \cdot x_1-8,41 \cdot x_2+7,66 \cdot x_3+2,57 \cdot x_4-3,45 \cdot x_5+0,19 \cdot x_6$	95,76	1,2
0÷100	$y = 183,31+26,72 \cdot x_1+2,97 \cdot x_2-20,13 \cdot x_3$	65,54	3,4
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 6,37+2,23 \cdot x_1+0,11 \cdot x_2+1,93 \cdot x_3-3,49 \cdot x_4$	87,52	0,9
0÷20	$y = -40,15+2,32 \cdot x_1+0,19 \cdot x_2-0,68 \cdot x_3$	90,15	1,3
0÷40	$y = -23,88+3,0 \cdot x_1-0,91 \cdot x_2+5,52 \cdot x_3-4,04 \cdot x_4$	89,55	1,4
0÷60	$y = 23,11+0,22 \cdot x_1+4,39 \cdot x_2-0,75 \cdot x_3-2,52 \cdot x_4$	87,46	1,5
0÷80	$y = 72,83+2,87 \cdot x_1+1,88 \cdot x_2-0,82 \cdot x_3$	84,80	1,6
0÷100	$y = 144,83+3,11 \cdot x_1+0,15 \cdot x_2-0,56 \cdot x_3$	84,84	1,6

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 2	TG10 3	TG10 3	TG1 6	TG5 6	TG5 6
2		WG 13	WG 14	TG5 15	WG 15	TP 5
3		P 7	P 15	TG1 3	WG 14	TG1 6
4			TP 13	TP 15	TG5 2	
5			TG50 3		TP 15	
6					P 15	
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TGT1 3	TGT1 5	TP 15	P 15	TGT1 8	TGT1 7
2	P 15	P 15	WG 13	TGT5 5	TP 15	P 15
3	TGT1 1	WG 12	TGT5 7	WG 13	WG 13	WG 14
4	TGT5 1		TGT20 3	TGT20 4		
5						
6						

Tabela 28

Table 28

Zależności zasobów wodnych gleby w lutym w okresie zimowym 2002÷2004 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in February in winter period 2002÷2004 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

a.

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = -1,04 + 0,10 \cdot x_1 + 0,95 \cdot x_2 - 0,04 \cdot x_3 + 0,13 \cdot x_4$	71,53	0,7
0÷20	$y = 10,84 + 2,65 \cdot x_1 - 4,70 \cdot x_2 + 3,12 \cdot x_3 - 1,19 \cdot x_4 + 0,36 \cdot x_5$	87,90	1,6
0÷40	$y = 47,40 + 0,51 \cdot x_1 - 2,55 \cdot x_2 + 0,19 \cdot x_3 - 12,29 \cdot x_4 + 5,10 \cdot x_5$	86,13	2,9
0÷60	$y = 165,69 + 0,92 \cdot x_1 + 6,61 \cdot x_2 - 9,02 \cdot x_3 - 0,87 \cdot x_4$	89,34	6,3
0÷80	$y = 212,92 + 2,24 \cdot x_1 - 10,88 \cdot x_2 - 15,74 \cdot x_3 + 5,96 \cdot x_4$	85,52	8,8
0÷100	$y = 407,07 + 1,92 \cdot x_1 + 34,00 \cdot x_2 + 2,56 \cdot x_3 - 3,44 \cdot x_4 + 10,79 \cdot x_5 - 7,07 \cdot x_6$	88,41	11,9
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 17,40 + 2,03 \cdot x_1 + 1,98 \cdot x_2 - 2,00 \cdot x_3 + 0,11 \cdot x_4 - 4,04 \cdot x_5 + 1,31 \cdot x_6$	93,56	0,8
0÷20	$y = 48,32 + 0,41 \cdot x_1 + 0,25 \cdot x_2 - 2,91 \cdot x_3 + 2,65 \cdot x_4 - 4,06 \cdot x_5$	89,89	1,7
0÷40	$y = 81,63 + 0,33 \cdot x_1 - 27,19 \cdot x_2 + 15,62 \cdot x_3 + 19,97 \cdot x_4 - 9,40 \cdot x_5$	89,50	2,4
0÷60	$y = 148,73 + 0,55 \cdot x_1 + 0,71 \cdot x_2$	92,70	2,8
0÷80	$y = 221,11 + 0,57 \cdot x_1 + 0,22 \cdot x_2$	94,27	3,1
0÷100	$y = 301,00 + 0,55 \cdot x_1 + 0,35 \cdot x_2 - 6,28 \cdot x_3$	93,11	3,2

b.

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 1	TP 15	P 15	WG 8	WG 8	WG 15
2	TG5 15	TG1 14	TG5 15	TP 15	TG5 15	TG100 1
3	WG 15	TG5 15	WG 14	TG50 7	TG10 15	P 12
4	TP 15	TG5 1	TG10 14	P 15	TP 15	P 4
5		P 15	TP 15			TG10 1
6						TG1 1
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 15	P 15	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	TGT1 1	WG 15	TGT20 12	TGT1 1	WG 12	WG 11
3	TGT5 1	TGT20 10	TGT50 10			TGT100 15
4	WG 13	TP 15	TGT5 14			
5	TGT1 15	TGT1 15	TGT10 14			
6	TGT5 15					

Tabela 29

Table 29

Zależności zasobów wodnych gleby w lutym w okresie zimowym 2002÷2005 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in February in winter period 2002÷2005 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = -1,51+0,69 \cdot x_1-0,04 \cdot x_2+0,86 \cdot x_3-0,60 \cdot x_4-0,53 \cdot x_5$	62,45	0,7
0÷20	$y = 20,24+0,20 \cdot x_1+0,53 \cdot x_2+0,12 \cdot x_3$	72,71	2,3
0÷40	$y = 30,69+0,24 \cdot x_1+4,11 \cdot x_2-4,07 \cdot x_3-13,64 \cdot x_4+10,45 \cdot x_5$	74,97	3,5
0÷60	$y = 150,85+1,19 \cdot x_1-21,92 \cdot x_2+13,74 \cdot x_3-0,33 \cdot x_4$	69,31	8,8
0÷80	$y = 186,56+4,65 \cdot x_1-3,80 \cdot x_2-18,78 \cdot x_3+9,25 \cdot x_4$	79,66	9,1
0÷100	$y = 288,78-37,77 \cdot x_1+1,14 \cdot x_2-107,65 \cdot x_3+88,83 \cdot x_4+33,35 \cdot x_5$	69,86	15,8
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 13,66+1,16 \cdot x_1-2,34 \cdot x_2+0,51 \cdot x_3+0,09 \cdot x_4+0,15 \cdot x_5$	87,06	1,1
0÷20	$y = 34,51+0,29 \cdot x_1+0,11 \cdot x_2+0,67 \cdot x_3$	78,19	2,3
0÷40	$y = 78,65+0,44 \cdot x_1+0,33 \cdot x_2+0,85 \cdot x_3-4,21 \cdot x_4+2,28 \cdot x_5$	85,34	2,5
0÷60	$y = 140,70+0,55 \cdot x_1+0,30 \cdot x_2+7,36 \cdot x_3-7,87 \cdot x_4$	90,19	2,8
0÷80	$y = 196,67+0,72 \cdot x_1+8,53 \cdot x_2-6,27 \cdot x_3$	87,04	4,0
0÷100	$y = 169,22+20,63 \cdot x_1-192,02 \cdot x_2+123,39 \cdot x_3+113,75 \cdot x_4+34,06 \cdot x_5-86,83 \cdot x_6$	84,06	4,3

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 1	P 15	P 15	WG 4	WG 12	TG5 1
2	WG 14	TP 3	WG 14	TG10 9	WG 15	WG 3
3	TG1 13	WG 6	WG 15	TG1 9	TG20 15	TG10 7
4	TG1 11		TG20 13	WG 15	TG5 15	TG5 7
5	TG5 1		TG10 14			TG10 1
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 15	P 15	P 15	WG 1	WG 1	TGT5 15
2	TGT1 14	WG 1	WG 3	P 15	TGT100 14	TGT50 14
3	TGT1 1	TGT1 1	TGT1 1	TGT50 15	TGT50 14	TGT100 11
4	WG 12		TGT1 14	TGT20 13		TGT50 15
5	P 15		TGT10 13			TGT20 13
6						TGT100 10

**Tabela 30**  
**Table 30**

Zależności zasobów wodnych gleby w marcu w okresie zimowym **2002/2003** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in March in winter period **2002/2003** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,40 + 0,17 \cdot x_1 + 0,09 \cdot x_2 + 0,07 \cdot x_5$	50,07	0,8
0÷20	$y = 8,61 + 0,94 \cdot x_1 - 0,09 \cdot x_2 - 0,51 \cdot x_3 + 0,29 \cdot x_4 + 3,99 \cdot x_5 - 4,52 \cdot x_6$	88,47	0,8
0÷40	$y = 29,59 + 1,02 \cdot x_1 + 0,37 \cdot x_2 - 0,54 \cdot x_3 - 5,10 \cdot x_4 + 3,80 \cdot x_5$	88,33	0,9
0÷60	$y = 56,00 + 0,27 \cdot x_1 + 0,21 \cdot x_2 + 0,40 \cdot x_3 + 0,13 \cdot x_4$	88,69	1,2
0÷80	$y = 100,78 + 0,41 \cdot x_1 + 0,63 \cdot x_2 + 0,47 \cdot x_3$	85,40	1,7
0÷100	$y = 194,60 + 0,34 \cdot x_1 + 0,31 \cdot x_2 + 0,32 \cdot x_3$	88,12	1,5
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = -8,97 + 0,97 \cdot x_1 + 0,38 \cdot x_2 - 0,12 \cdot x_3 + 0,53 \cdot x_4$	91,26	1,0
0÷20	$y = 20,90 + 1,64 \cdot x_1 + 0,52 \cdot x_2$	92,57	1,7
0÷40	$y = 34,14 + 2,61 \cdot x_1 + 0,38 \cdot x_2 - 6,59 \cdot x_3 + 6,30 \cdot x_4 - 0,53 \cdot x_5 - 0,13 \cdot x_6$	97,30	1,1
0÷60	$y = 86,94 + 2,43 \cdot x_1 + 0,64 \cdot x_2$	92,85	2,3
0÷80	$y = 138,42 + 2,38 \cdot x_1 + 0,69 \cdot x_2$	92,57	2,4
0÷100	$y = 192,49 + 2,31 \cdot x_1 + 0,71 \cdot x_2$	91,40	2,6

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 2	P 2	P 2	P 11	P 15	P 8
2	TP 1	WG 10	P 8	TP 1	P 3	P 15
3	P 8	P 5	P 5	P 2	TP 8	P 3
4		P 8	TG50 11	P 15		
5		TG1 15	TG20 11			
6		TG5 14				
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 9	TP 9	TP 9	TP 9	TP 9	TP 9
2	P15	P 15	P 15	P 15	P 15	P 15
3	WG 2		TGT10 7			
4	TGT1 15		TGT1 15			
5			TP 1			
6			WG 2			

**Tabela 31**  
**Table 31**

Zależności zasobów wodnych gleby w marcu w okresie zimowym **2003/2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in March in winter period **2003/2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 2,23+3,82 \cdot x_1+0,05 \cdot x_2-4,06 \cdot x_3$	69,40	0,6
0÷20	$y = 13,49+0,49 \cdot x_1+0,15 \cdot x_2-0,47 \cdot x_3$	87,00	1,0
0÷40	$y = 31,72+1,77 \cdot x_1-32,52 \cdot x_2+17,19 \cdot x_3+23,31 \cdot x_4-14,76 \cdot x_5$	98,28	3,2
0÷60	$y = 70,24+2,04 \cdot x_1-4,71 \cdot x_2$	96,90	5,5
0÷80	$y = 108,74+2,19 \cdot x_1-5,76 \cdot x_2$	97,14	5,5
0÷100	$y = 186,79+2,25 \cdot x_1-3,40 \cdot x_2$	97,15	5,5
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 11,10+0,03 \cdot x_1+0,09 \cdot x_2$	78,50	0,3
0÷20	$y = 30,49+0,28 \cdot x_1-1,38 \cdot x_2+0,40 \cdot x_3$	96,13	0,6
0÷40	$y = 75,00-8,85 \cdot x_1+26,05 \cdot x_2+30,37 \cdot x_3-49,18 \cdot x_4$	90,12	3,0
0÷60	$y = 122,82+0,69 \cdot x_1-2,63 \cdot x_2+0,16 \cdot x_3$	97,32	1,9
0÷80	$y = 159,13+0,43 \cdot x_1+13,37 \cdot x_2-4,45 \cdot x_3$	87,63	3,9
0÷100	$y = 230,82+0,72 \cdot x_1-3,46 \cdot x_2-0,18 \cdot x_3$	96,93	2,0

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 15	P 10	P 9	P 10	P 10	P 10
2	P 7	P 3	TG20 13	TG50 14	TG50 14	TG50 14
3	TG5 15	P 7	TG1 8			
4			TG10 15			
5			TG5 7			
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 1	P 7	TGT5 13	P 10	WG 1	P 10
2	P 1	TGT10 13	TGT50 2	TGT50 11	TGT100 9	TGT50 11
3		TP 11	TGT20 9	WG 1	TGT20 12	WG 1
4			TGT50 3			
5						
6						

**Tabela 32**  
**Table 32**

Zależności zasobów wodnych gleby w marcu w okresie zimowym **2004/2005** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in March in winter period **2004/2005** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,9 - 0,60 \cdot x_1 + 0,31 \cdot x_2 - 0,02 \cdot x_3 + 0,10 \cdot x_4$	82,41	0,2
0÷20	$y = 23,65 + 0,39 \cdot x_1 - 0,32 \cdot x_2 - 0,08 \cdot x_3 - 0,71 \cdot x_4 + 0,57 \cdot x_5$	92,77	0,7
0÷40	$y = 102,17 + 1,63 \cdot x_1 + 3,74 \cdot x_2 - 1,04 \cdot x_3 - 2,19 \cdot x_4$	97,08	3,5
0÷60	$y = 170,44 + 0,65 \cdot x_1 + 8,74 \cdot x_2 - 0,71 \cdot x_3 - 0,89 \cdot x_4$	96,74	4,7
0÷80	$y = 236,68 + 30,75 \cdot x_1 - 54,27 \cdot x_2 - 1,73 \cdot x_3 - 134,84 \cdot x_4 + 146,20 \cdot x_5$	96,47	6,7
0÷100	$y = 320,79 + 31,41 \cdot x_1 - 57,06 \cdot x_2 - 1,78 \cdot x_3 - 143,58 \cdot x_4 + 156,48 \cdot x_5$	96,26	6,9
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 9,10 + 0,21 \cdot x_1 - 0,06 \cdot x_2$	32,96	0,7
0÷20	$y = 44,19 + 0,36 \cdot x_1 - 0,26 \cdot x_2 - 0,19 \cdot x_3$	88,98	1,8
0÷40	$y = 107,35 + 0,59 \cdot x_1 - 0,27 \cdot x_2 - 0,20 \cdot x_3 + 2,10 \cdot x_4 - 3,03 \cdot x_5$	96,41	2,7
0÷60	$y = 179,39 + 0,48 \cdot x_1 - 10,04 \cdot x_2 + 4,06 \cdot x_3 + 35,51 \cdot x_4 - 28,46 \cdot x_5$	96,76	3,5
0÷80	$y = 241,14 + 0,65 \cdot x_1 + 4,59 \cdot x_2 - 27,59 \cdot x_3 + 26,01 \cdot x_4$	96,32	4,2
0÷100	$y = 295,59 + 0,68 \cdot x_1 - 0,56 \cdot x_2 - 6,86 \cdot x_3 + 3,63 \cdot x_4$	94,81	5,1

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG5 10	WG 2	WG 2	WG 1	TP 15	TP 15
2	TP 14	WG 3	TP 12	TP 15	TG50 6	TG50 6
3	WG 5	P 15	WG 3	P 15	P 15	P 15
4	TG5 2	TG20 3	TG10 3	TG20 6	TGT1 12	TGT1 12
5		TP 15			TG5 15	TG5 15
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 5	WG 2	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	P 15	WG 8	WG 9	TGT1 9	TP 11	P 15
3		P 15	P 15	TP 11	TGT10 9	TGT20 8
4			TP 11	TGT20 15	TGT20 15	TP 12
5			TGT50 1	TGT50 10		
6						

Tabela 33

Table 33

Zależności zasobów wodnych gleby w marcu w okresie zimowym 2002÷2004 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in March in winter period 2002÷2004 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

a.

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,68+0,04 \cdot x_1+0,31 \cdot x_2-0,27 \cdot x_3$	56,04	0,7
0÷20	$y = 14,55+0,16 \cdot x_1-0,62 \cdot x_2+0,36 \cdot x_3$	58,64	1,7
0÷40	$y = -52,40+14,26 \cdot x_1-0,98 \cdot x_2-10,74 \cdot x_3+12,99 \cdot x_4-7,54 \cdot x_5$	88,30	6,1
0÷60	$y = 71,29+1,90 \cdot x_1+0,15 \cdot x_2-4,42 \cdot x_3+4,75 \cdot x_4$	95,86	5,3
0÷80	$y = 20,66+22,20 \cdot x_1-8,44 \cdot x_2-5,57 \cdot x_3+0,61 \cdot x_4$	87,20	8,9
0÷100	$y = 202,18+2,04 \cdot x_1-9,81 \cdot x_2-8,77 \cdot x_3+10,61 \cdot x_4$	94,94	5,2
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 21,47+6,06 \cdot x_1-3,18 \cdot x_2+0,16 \cdot x_3+0,13 \cdot x_4+0,65 \cdot x_5-4,60 \cdot x_6$	83,02	1,0
0÷20	$y = 50,10+0,24 \cdot x_1+1,68 \cdot x_2-2,80 \cdot x_3$	73,12	2,6
0÷40	$y = 88,96+0,28 \cdot x_1+0,31 \cdot x_2+0,11 \cdot x_3+1,24 \cdot x_4-1,77 \cdot x_5$	94,13	2,3
0÷60	$y = 136,79+0,45 \cdot x_1+13,76 \cdot x_2-8,11 \cdot x_3+4,27 \cdot x_4-30,18 \cdot x_5+21,19 \cdot x_6$	93,08	3,4
0÷80	$y = 227,40+0,89 \cdot x_1+0,72 \cdot x_2-19,83 \cdot x_3+15,08 \cdot x_4-3,97 \cdot x_5$	93,43	3,5
0÷100	$y = 347,81+0,91 \cdot x_1-0,62 \cdot x_2-65,73 \cdot x_3-5,27 \cdot x_4+87,55 \cdot x_5-30,96 \cdot x_6$	92,14	3,6

b.

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 11	P 11	TG50 14	P 8	TG50 14	P 10
2	TP 1	TG10 10	WG 11	WG 7	TG20 7	TG100 15
3	TG5 1	TP 8	TG20 7	TP 7	WG 15	TP 9
4			TG1 10	TG20 3	WG 1	TG10 9
5			TG10 6			
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 15	WG 1	WG 1	WG 1	P 15	WG 1
2	TGT5 15	TP 15	P 15	TGT50 15	WG 15	WG 2
3	WG 15	TGT20 15	WG 9	TGT10 4	TGT20 15	TGT100 14
4	P 15		TP 5	TGT1 4	TGT10 15	TGT50 3
5	TP 6		TGT5 4	TGT20 15	TGT100 15	TGT50 15
6	TP 14			TGT10 14		TGT20 15



**Tabela 34**  
**Table 34**

Zależności zasobów wodnych gleby w marcu w okresie zimowym 2002÷2005 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in March in winter period 2002÷2005 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,99+0,04 \cdot x_1$	28,67	0,8
0÷20	$y = 16,73+0,14 \cdot x_1+0,34 \cdot x_2-0,51 \cdot x_3+0,03 \cdot x_4$	56,38	1,7
0÷40	$y = 100,71+0,80 \cdot x_1+1,06 \cdot x_2-10,69 \cdot x_3+10,94 \cdot x_4-3,39 \cdot x_5$	69,17	10,8
0÷60	$y = 150,88+0,95 \cdot x_1+0,81 \cdot x_2$	74,50	13,9
0÷80	$y = 205,19+1,07 \cdot x_1+0,65 \cdot x_2$	69,23	16,8
0÷100	$y = 447,58+1,43 \cdot x_1-56,14 \cdot x_2+77,83 \cdot x_3-41,12 \cdot x_4-5,75 \cdot x_5$	71,70	15,3
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 17,65+0,17 \cdot x_1+0,43 \cdot x_2-3,50 \cdot x_3+0,12 \cdot x_4+2,07 \cdot x_5$	52,00	1,5
0÷20	$y = 42,37+0,30 \cdot x_1-0,15 \cdot x_2$	64,05	3,4
0÷40	$y = 87,44+0,68 \cdot x_1-4,71 \cdot x_2+5,46 \cdot x_3-0,34 \cdot x_4$	82,98	5,4
0÷60	$y = 179,62+0,77 \cdot x_1-6,39 \cdot x_2+15,28 \cdot x_3-13,74 \cdot x_4$	88,84	5,7
0÷80	$y = 229,73+0,81 \cdot x_1-10,67 \cdot x_2+14,45 \cdot x_3-5,89 \cdot x_4$	87,92	6,3
0÷100	$y = 292,79+0,85 \cdot x_1-5,93 \cdot x_2+16,01 \cdot x_3-15,79 \cdot x_4$	86,43	6,6

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 9	P 11	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2		TP 1	P 7	P 7	P 7	TG100 15
3		TG10 9	TG50 4			TG20 14
4		WG 1	TG20 5			TG5 14
5			TP 15			TG20 5
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 15	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	TP 6	WG 15	TGT1 15	TGT1 15	TGT5 15	TGT1 15
3	TGT5 14		TGT10 14	TGT10 15	TGT10 15	TGT10 15
4	WG 15		WG 15	TGT50 15	TGT50 14	TGT50 14
5	TGT1 15					
6						

**Tabela 35**  
**Table 35**

Zależności zasobów wodnych gleby w kwietniu w okresie zimowym **2002/2003** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in April in winter period **2002/2003** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,89+0,03 \cdot x_1$	31,46	0,2
0÷20	$y = 9,98+3,21 \cdot x_1-1,15 \cdot x_2-0,86 \cdot x_3+0,38 \cdot x_4-1,34 \cdot x_5$	88,65	0,4
0÷40	$y = 32,27-0,17 \cdot x_1$	16,09	0,9
0÷60	$y = 69,28+6,19 \cdot x_1-3,6 \cdot x_2-2,44 \cdot x_3$	66,81	0,8
0÷80	$y = 86,33-0,42 \cdot x_1-2,78 \cdot x_2+11,13 \cdot x_3-9,02 \cdot x_4+2,95 \cdot x_5$	81,59	0,8
0÷100	$y = 98,35-0,41 \cdot x_1-13,63 \cdot x_2+21,22 \cdot x_3-10,72 \cdot x_4-2,86 \cdot x_5+1,80 \cdot x_6$	80,73	1,0
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 19,31-0,20 \cdot x_1+0,10 \cdot x_2-0,14 \cdot x_3$	98,56	0,2
0÷20	$y = 35,41-1,13 \cdot x_1-0,15 \cdot x_2-0,28 \cdot x_3$	96,66	0,4
0÷40	$y = 62,61-2,02 \cdot x_1-0,2 \cdot x_2$	97,91	0,4
0÷60	$y = 119,67-2,48 \cdot x_1+0,16 \cdot x_2$	96,62	0,7
0÷80	$y = 174,84-2,29 \cdot x_1+0,21 \cdot x_2$	95,06	0,9
0÷100	$y = 235,21+0,27 \cdot x_1-11,14 \cdot x_2+8,10 \cdot x_3$	93,43	1,0

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 1	TG1 12	P 10	WG 11	P 11	P 11
2		TP 12		WG 8	TG50 5	TG100 15
3		TG1 6		WG 15	TG100 12	TG100 13
4		TG5 3			TG50 15	TG50 15
5		TG10 13			TG100 1	WG 8
6						WG 15
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 15	TGT5 15	TGT50 14	TGT50 15	TGT50 15	WG 6
2	WG 3	P 15	TGT20 1	WG 15	WG 15	TGT50 7
3	TGT1 7	TGT20 9				TGT20 9
4						
5						
6						

**Tabela 36**  
**Table 36**

Zależności zasobów wodnych gleby w kwietniu w okresie zimowym **2003/2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in April in winter period **2003/2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 3,28+0,12 \cdot x_1+0,01 \cdot x_2+0,01 \cdot x_3$	85,47	0,1
0÷20	$y = 27,36+0,17 \cdot x_1+1,43 \cdot x_2-1,08 \cdot x_3$	85,25	0,5
0÷40	$y = 93,80+0,57 \cdot x_1+1,52 \cdot x_2-0,49 \cdot x_3$	98,61	0,8
0÷60	$y = 155,57+0,66 \cdot x_1+0,84 \cdot x_2$	98,45	1,1
0÷80	$y = 213,12+0,79 \cdot x_1$	98,18	1,3
0÷100	$y = 284,51+0,75 \cdot x_1$	98,30	1,3
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 9,41-0,30 \cdot x_1+0,03 \cdot x_2$	93,19	0,3
0÷20	$y = 47,20+0,21 \cdot x_1-0,30 \cdot x_2$	98,12	0,4
0÷40	$y = 108,1+0,55 \cdot x_1-0,25 \cdot x_2$	99,13	0,6
0÷60	$y = 173,63+0,72 \cdot x_1-0,61 \cdot x_2$	98,66	1,1
0÷80	$y = 221,72+0,63 \cdot x_1-0,42 \cdot x_2+0,11 \cdot x_3$	98,49	1,2
0÷100	$y = 266,78+0,62 \cdot x_1-0,63 \cdot x_2-0,41 \cdot x_3+0,05 \cdot x_4$	98,35	1,3

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 1	WG 1	WG 7	WG 7	WG 1	WG 4
2	WG 6	TG5 11	TG50 6	TG50 6		
3	P 9	TG1 12	TG10 15			
4						
5						
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 2	WG 1	WG 1	WG 1	WG 3	WG 3
2	P 15	TGT1 1	TP 1	TP 14	P 1	P 1
3					WG 13	TP 1
4						P 15
5						
6						

**Tabela 37**  
**Table 37**

Zależności zasobów wodnych gleby w kwietniu w okresie zimowym 2004/2005 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in April in winter period 2004/2005 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = -2,16 - 0,25 \cdot x_1 + 0,21 \cdot x_2 + 1,77 \cdot x_3 - 1,56 \cdot x_4$	91,58	0,1
0÷20	$y = 20,99 + 0,18 \cdot x_1 + 0,07 \cdot x_2 - 0,67 \cdot x_3 + 1,13 \cdot x_4 - 1,81 \cdot x_5 + 1,19 \cdot x_6$	89,34	0,2
0÷40	$y = 73,93 - 1,49 \cdot x_1 + 0,13 \cdot x_2 + 0,18 \cdot x_3 + 0,70 \cdot x_4$	94,25	0,5
0÷60	$y = 115,61 - 3,71 \cdot x_1 + 0,17 \cdot x_2 + 0,77 \cdot x_3$	96,59	1,1
0÷80	$y = 186,13 - 15,90 \cdot x_1 + 0,39 \cdot x_2 + 18,33 \cdot x_3 - 8,19 \cdot x_4 + 2,05 \cdot x_5 - 2,96 \cdot x_6$	98,41	1,0
0÷100	$y = 266,26 - 2,55 \cdot x_1 + 0,31 \cdot x_2 + 0,34 \cdot x_3$	96,90	1,4
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 15,94 + 0,10 \cdot x_1 - 0,91 \cdot x_2 + 2,00 \cdot x_3$	81,72	0,5
0÷20	$y = 49,36 + 0,23 \cdot x_1 - 4,15 \cdot x_2 + 3,65 \cdot x_3$	88,35	1,1
0÷40	$y = 75,73 - 5,64 \cdot x_1 + 0,19 \cdot x_2 + 3,48 \cdot x_3$	94,38	1,3
0÷60	$y = 149,18 - 5,06 \cdot x_1 + 0,27 \cdot x_2 + 2,65 \cdot x_3$	92,83	2,0
0÷80	$y = 217,35 - 4,15 \cdot x_1 + 0,29 \cdot x_2$	92,09	2,3
0÷100	$y = 269,60 - 4,24 \cdot x_1 + 0,28 \cdot x_2$	91,45	2,4

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 11	P 1	TG20 13	TG50 13	TG100 11	TG50 12
2	WG 12	WG 1	P 6	P 6	P 5	P 5
3	TG5 15	TP 11	WG 15	TG10 6	TG50 7	WG 14
4	TG1 15	TG10 10	TP 15		TG20 7	
5		TG5 9			TG10 3	
6		TG1 9			TP 5	
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 1	WG 1	TGT50 13	TGT50 13	TGT100 11	TGT100 11
2	TGT1 8	TGT20 13	P 8	WG 1	WG 1	WG 1
3	TGT5 7	TGT5 14	TGT50 5	TGT50 4		
4						
5						
6						

**Tabela 38**  
**Table 38**

Zależności zasobów wodnych gleby w kwietniu w okresie zimowym 2002÷2004 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in April in winter period 2002÷2004 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,90+0,01 \cdot x_1+0,07 \cdot x_2+0,02 \cdot x_3$	53,94	0,2
0÷20	$y = 9,52+0,04 \cdot x_1+0,17 \cdot x_2+0,75 \cdot x_3-0,78 \cdot x_4$	64,20	0,8
0÷40	$y = 123,86+1,14 \cdot x_1+8,29 \cdot x_2-3,47 \cdot x_3-0,13 \cdot x_4$	96,70	2,4
0÷60	$y = 169,17+1,73 \cdot x_1+15,83 \cdot x_2-5,17 \cdot x_3$	96,61	5,1
0÷80	$y = 226,60+1,93 \cdot x_1+19,51 \cdot x_2-0,30 \cdot x_3-6,51 \cdot x_4$	97,74	3,6
0÷100	$y = 294,18+1,33 \cdot x_1+5,78 \cdot x_2$	96,67	3,1
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 16,48-0,23 \cdot x_1+0,19 \cdot x_2-0,13 \cdot x_3-0,13 \cdot x_4$	90,97	0,3
0÷20	$y = 45,85-1,07 \cdot x_1+0,12 \cdot x_2+0,13 \cdot x_3+0,74 \cdot x_4-0,85 \cdot x_5$	97,45	0,4
0÷40	$y = 98,15+0,46 \cdot x_1-0,20 \cdot x_2+0,04 \cdot x_3$	98,11	0,9
0÷60	$y = 174,14+0,66 \cdot x_1+2,19 \cdot x_2-1,56 \cdot x_3+0,23 \cdot x_4$	98,34	1,3
0÷80	$y = 235,77+0,81 \cdot x_1+0,54 \cdot x_2+0,16 \cdot x_3$	96,77	2,0
0÷100	$y = 214,85+0,43 \cdot x_1-4,45 \cdot x_2+2,90 \cdot x_3$	58,17	6,5

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 15	P 15	WG 1	WG 14	WG 1	WG 1
2	P 1	TP 15	TG50 15	TG50 14	TG100 15	TG100 15
3	TG5 3	WG 7	TG20 15	TP 15	P 15	
4		WG 5	P 15		TG50 14	
5						
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TGT1 14	TGT1 13	WG 3	WG 1	WG 1	P 15
2	WG 1	WG 1	TGT1 10	TGT1 10	TGT1 10	TGT1 10
3	TGT1 1	P 7	P 15	TP 9	WG 15	TP 9
4	WG 7	TP 11		WG 13		
5		TGT20 7				
6						

**Tabela 39**  
**Table 39**

Zależności zasobów wodnych gleby w kwietniu w okresie zimowym 2002÷2005 od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań

Soil water reserves dependences in April in winter period 2002÷2005 from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,65 + 1,08 \cdot x_1 - 0,76 \cdot x_2 - 0,36 \cdot x_3 + 0,01 \cdot x_4$	39,64	0,3
0÷20	$y = 13,98 + 0,05 \cdot x_1$	31,92	1,0
0÷40	$y = 96,93 + 0,84 \cdot x_1 + 3,02 \cdot x_2$	90,30	3,7
0÷60	$y = 176,95 + 1,64 \cdot x_1 + 6,81 \cdot x_2$	86,01	8,9
0÷80	$y = 256,57 + 1,96 \cdot x_1 + 8,60 \cdot x_2 - 0,39 \cdot x_3$	86,87	7,9
0÷100	$y = 288,64 + 0,97 \cdot x_1 + 0,25 \cdot x_2$	78,85	7,4
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 10,89 - 2,21 \cdot x_1 + 0,02 \cdot x_2 + 0,55 \cdot x_3 - 0,08 \cdot x_4 + 0,35 \cdot x_5$	82,87	0,5
0÷20	$y = 48,82 + 0,26 \cdot x_1 - 2,97 \cdot x_2 + 2,19 \cdot x_3 - 0,09 \cdot x_4$	84,82	2,1
0÷40	$y = 110,71 + 0,58 \cdot x_1$	85,61	2,8
0÷60	$y = 179,51 + 0,53 \cdot x_1 + 0,34 \cdot x_2$	91,42	3,1
0÷80	$y = 238,03 + 0,52 \cdot x_1 + 0,42 \cdot x_2$	90,42	3,6
0÷100	$y = 285,43 + 0,52 \cdot x_1 + 0,37 \cdot x_2$	88,51	3,8

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TG1 15	P 15	WG 13	WG 15	WG 1	WG 15
2	TG5 15		TG50 13	TG50 15	TG100 15	P 15
3	TP 15				P 15	
4	P 15					
5						
6						
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TGT1 14	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	P 15	TGT5 13		WG 15	WG 15	WG 15
3	TP 14	TGT10 12				
4	TP 1	WG 8				
5	TGT5 13					
6						

**Tabela 40**  
**Table 40**

Zależności zasobów wodnych gleby w okresie zimowym **2002/2003** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań  
Soil water reserves dependences in winter period **2002/2003** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = -1,17+0,14 \cdot x_1+0,61 \cdot x_2-0,67 \cdot x_3-0,03 \cdot x_4$	61,55	1,7
0÷20	$y = 5,97+0,35 \cdot x_1+1,65 \cdot x_2-7,09 \cdot x_3+5,85 \cdot x_4-2,55 \cdot x_5+2,45 \cdot x_6$	78,14	3,3
0÷40	$y = 46,35-0,10 \cdot x_1+4,80 \cdot x_2-35,90 \cdot x_3+5,43 \cdot x_4+24,33 \cdot x_5$	84,29	4,9
0÷60	$y = 100,16+0,77 \cdot x_1+17,97 \cdot x_2-22,72 \cdot x_3+4,75 \cdot x_4+0,39 \cdot x_5$	82,83	7,4
0÷80	$y = 138,69+1,34 \cdot x_1+20,31 \cdot x_2-15,42 \cdot x_3+0,74 \cdot x_4$	74,33	11,5
0÷100	$y = 248,91+0,55 \cdot x_1+0,62 \cdot x_2-2,98 \cdot x_3+3,51 \cdot x_4-5,19 \cdot x_5+5,82 \cdot x_6$	63,49	7,9
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 14,48+0,20 \cdot x_1+0,09 \cdot x_2+0,42 \cdot x_3-0,22 \cdot x_4$	65,26	1,7
0÷20	$y = 41,52+0,35 \cdot x_1+0,38 \cdot x_2-0,22 \cdot x_3+3,03 \cdot x_4-2,45 \cdot x_5$	76,03	2,8
0÷40	$y = 69,40+0,28 \cdot x_1+0,21 \cdot x_2+2,27 \cdot x_3-13,95 \cdot x_4+12,23 \cdot x_5$	82,99	2,9
0÷60	$y = 125,60+0,70 \cdot x_1-0,41 \cdot x_2+0,58 \cdot x_3$	63,97	4,7
0÷80	$y = 192,65+0,47 \cdot x_1+0,54 \cdot x_2-0,67 \cdot x_3+0,39 \cdot x_4$	79,13	3,8
0÷100	$y = 250,06+1,00 \cdot x_1-0,42 \cdot x_2+3,93 \cdot x_3-2,92 \cdot x_4$	82,18	3,7

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 15	P 8	WG 14	P 15	P 15	P 15
2	TP 2	TP 8	TG50 15	TG50 15	TG100 15	WG 1
3	TG5 2	TG5 9	TG5 15	TG20 15	TG50 15	TG1 1
4	WG 4	TG10 9	TP 15	TP 13	WG 14	TG100 13
5		WG 15	TG1 15	WG 14		TG20 1
6		WG 14				TG5 1
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 8	P 7	P 15	WG 1	WG 1	WG 1
2	WG 1	WG 1	WG 1	WG 12	P 10	WG 5
3	TP 9	WG 15	TP 15	P 2	TGT1 1	TGT100 1
4	TGT1 4	TGT5 9	TGT10 15		TP 1	TGT20 15
5		TGT1 11	TGT20 15			
6						

**Tabela 41**  
**Table 41**

Zależności zasobów wodnych gleby w okresie zimowym **2003/2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań  
Soil water reserves dependences in winter period **2003/2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,42+0,02 \cdot x_1+0,13 \cdot x_2+0,03 \cdot x_3-0,05 \cdot x_4$	58,09	0,6
0÷20	$y = 15,74+0,15 \cdot x_1+0,69 \cdot x_2+0,04 \cdot x_3-0,49 \cdot x_4$	66,48	2,0
0÷40	$y = 48,17+26,01 \cdot x_1+0,33 \cdot x_2+0,66 \cdot x_3+11,07 \cdot x_4-25,40 \cdot x_5-7,52 \cdot x_6$	86,82	5,9
0÷60	$y = 109,07+0,74 \cdot x_1+10,23 \cdot x_2+0,67 \cdot x_3-3,05 \cdot x_4$	90,78	9,4
0÷80	$y = 159,72+0,93 \cdot x_1+14,78 \cdot x_2+0,30 \cdot x_3-5,52 \cdot x_4$	91,26	10,0
0÷100	$y = 271,10+0,42 \cdot x_1+17,18 \cdot x_2+1,01 \cdot x_3-6,07 \cdot x_4$	89,44	16,7
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 8,77+0,06 \cdot x_1+0,01 \cdot x_2-0,32 \cdot x_3+0,19 \cdot x_4$	48,08	1,2
0÷20	$y = 34,21+0,14 \cdot x_1+0,29 \cdot x_2+14,67 \cdot x_3-18,64 \cdot x_4$	62,88	2,4
0÷40	$y = 71,65+0,21 \cdot x_1+0,31 \cdot x_2+3,55 \cdot x_3-2,70 \cdot x_4$	82,68	3,6
0÷60	$y = 134,93+0,42 \cdot x_1+0,18 \cdot x_2+0,88 \cdot x_3$	93,34	4,4
0÷80	$y = 208,11+0,75 \cdot x_1+2,56 \cdot x_2$	96,00	5,5
0÷100	$y = 274,07+0,94 \cdot x_1+2,28 \cdot x_2$	97,20	5,9

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 6	P 11	TG1 15	WG 15	WG 2	WG 15
2	TP 2	TP 5	WG 1	TG50 14	TG50 14	TG50 12
3	P 9	WG 15	P 7	P 15	P 15	WG 1
4	TG5 1	TG1 4	TG50 15	TG10 14	TG10 14	TG1 13
5			TG5 15			
6			TG10 14			
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 12	P 15	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	WG 15	TGT20 15	P 8	P 15	TGT100 14	TGT100 14
3	TGT5 15	TGT5 15	TGT50 15	TGT50 14		
4	TP 5	TGT10 15	TGT20 15			
5						
6						



**Tabela 42**  
**Table 42**

Zależności zasobów wodnych gleby w okresie zimowym **2004/2005** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań  
Soil water reserves dependences in winter period **2004/2005** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,81+0,04 \cdot x_1+0,57 \cdot x_2-0,57 \cdot x_3+0,01 \cdot x_4$	32,68	0,6
0÷20	$y = 9,68+0,10 \cdot x_1+8,13 \cdot x_2-8,36 \cdot x_3-0,05 \cdot x_4$	38,45	2,0
0÷40	$y = 55,89+0,60 \cdot x_1+0,76 \cdot x_2-0,37 \cdot x_3+19,80 \cdot x_4-12,58 \cdot x_5-6,25 \cdot x_6$	76,48	5,9
0÷60	$y = 135,52+0,65 \cdot x_1+2,39 \cdot x_2-10,12 \cdot x_3+10,65 \cdot x_4$	81,03	7,5
0÷80	$y = 191,60+1,00 \cdot x_1+1,99 \cdot x_2+6,70 \cdot x_3-1,21 \cdot x_4+3,07 \cdot x_5-5,14 \cdot x_6$	88,41	8,5
0÷100	$y = 309,56+1,39 \cdot x_1+2,89 \cdot x_2$	90,81	13,3
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 7,87+0,05 \cdot x_1+0,07 \cdot x_2-0,05 \cdot x_3-0,46 \cdot x_4+0,35 \cdot x_5$	41,71	1,1
0÷20	$y = 35,72+0,24 \cdot x_1-0,18 \cdot x_2+0,16 \cdot x_3-0,73 \cdot x_4+0,66 \cdot x_5$	67,72	2,4
0÷40	$y = 85,31+0,64 \cdot x_1-0,40 \cdot x_2+0,43 \cdot x_3$	70,50	5,1
0÷60	$y = 157,74+0,49 \cdot x_1-33,84 \cdot x_2+0,22 \cdot x_3-22,33 \cdot x_4+56,07 \cdot x_5$	87,24	5,5
0÷80	$y = 224,10+0,77 \cdot x_1+1,02 \cdot x_2+0,14 \cdot x_3$	91,71	6,2
0÷100	$y = 290,20+0,89 \cdot x_1+0,13 \cdot x_2+0,26 \cdot x_3$	95,73	5,5

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 3	P 7	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	TG1 1	TG5 6	TP 3	TP 15	TP 6	TG10 8
3	TG5 1	TG10 6	WG 15	TG1 15	TG100 15	
4	P 15	WG 15	TG5 7	TG10 15	TG5 15	
5			TG1 7		TG20 1	
6			TG20 7		TG50 1	
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	P 6	WG 15	WG 15	TGT50 15	TGT50 15	P 14
3	WG 9	P 7	TGT1 13	P 15	P 15	TP 15
4	TGT5 15	TGT1 15		TGT1 15		
5	TGT1 5	TGT5 3		TGT20 15		
6						

**Tabela 43**  
**Table 43**

Zależności zasobów wodnych gleby w okresie zimowym **2002÷2004** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań  
Soil water reserves dependences in winter period **2002÷2004** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 1,59+0,17 \cdot x_1+0,06 \cdot x_2-0,10 \cdot x_3$	20,76	1,9
0÷20	$y = 20,65+0,88 \cdot x_1-7,44 \cdot x_2+5,74 \cdot x_3+0,26 \cdot x_4-0,22 \cdot x_5+0,83 \cdot x_6$	41,79	4,3
0÷40	$y = 60,66+0,32 \cdot x_1+11,80 \cdot x_2+0,62 \cdot x_3-9,05 \cdot x_4$	56,15	9,9
0÷60	$y = 129,16+0,72 \cdot x_1+26,12 \cdot x_2-21,18 \cdot x_3+0,38 \cdot x_4$	72,60	13,4
0÷80	$y = 179,22+1,13 \cdot x_1+11,65 \cdot x_2-22,28 \cdot x_3+37,09 \cdot x_4-18,28 \cdot x_5+0,21 \cdot x_6$	66,68	18,2
0÷100	$y = 299,06+1,32 \cdot x_1+4,29 \cdot x_2$	65,47	26,2
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 9,42+0,26 \cdot x_1+0,07 \cdot x_2+0,02 \cdot x_3+0,96 \cdot x_4-0,96 \cdot x_5$	53,11	1,6
0÷20	$y = 33,01+0,11 \cdot x_1+0,54 \cdot x_2-0,14 \cdot x_3-0,34 \cdot x_4$	50,12	3,5
0÷40	$y = 70,28+0,17 \cdot x_1+0,18 \cdot x_2+0,19 \cdot x_3+1,21 \cdot x_4-1,13 \cdot x_5$	77,51	3,7
0÷60	$y = 133,27+0,39 \cdot x_1+0,28 \cdot x_2$	87,10	4,8
0÷80	$y = 200,76+0,64 \cdot x_1+12,14 \cdot x_2-18,98 \cdot x_3+9,53 \cdot x_4+0,13 \cdot x_5$	94,03	5,1
0÷100	$y = 254,07+0,67 \cdot x_1+28,50 \cdot x_2-50,21 \cdot x_3+25,80 \cdot x_4+0,35 \cdot x_5$	96,10	5,5

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 1	TP 6	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	P 15	TG5 5	TG20 15	TG20 14	TG100 15	TG100 15
3	TP 11	TG1 5	P 7	TG10 15	TG10 15	
4		WG 1	TG10 15	P 15	TG5 15	
5		WG 7			TG1 15	
6		TG20 10			P 15	
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	P 9	P 15	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	WG 1	WG 1	P 15	P 15	TGT100 15	TGT100 15
3	TP 15	WG 14	P 8		TGT50 15	TGT50 15
4	TGT1 14	WG 2	TP 15		TGT20 15	TGT20 15
5			TGT1 11		WG 15	WG 15
6						

**Tabela 44**  
**Table 44**

Zależności zasobów wodnych gleby w okresie zimowym **2002÷2005** od wybranych elementów agrometeorologicznych: **a.** równania regresji, poprawione współczynniki determinacji  $R_p^2$ , standardowe błędy estymacji SE, **b.** wykaz zmiennych opisujących wchodzących do równań  
Soil water reserves dependences in winter period **2002÷2005** from selected agrometeorological elements: **a.** regression equations, corrected determination coefficients  $R_p^2$ , standard errors of estimation SE, **b.** variables in equation

**a.**

H (cm)	Równania regresji Regression equation	$R_p^2$ (%)	SE (mm)
Powierzchnia nieporośnięta Bare soil			
0÷5	$y = 2,30+0,14 \cdot x_1+0,10 \cdot x_2-0,30 \cdot x_3+0,19 \cdot x_4$	14,91	1,7
0÷20	$y = 16,28+0,14 \cdot x_1+0,88 \cdot x_2-0,78 \cdot x_3+0,03 \cdot x_4$	36,12	3,9
0÷40	$y = 59,33+0,63 \cdot x_1+1,93 \cdot x_2-0,37 \cdot x_3$	44,02	10,6
0÷60	$y = 131,47+0,77 \cdot x_1+8,31 \cdot x_2-12,17 \cdot x_3+0,22 \cdot x_4+14,86 \cdot x_5-5,26 \cdot x_6$	70,10	12,8
0÷80	$y = 185,00+0,81 \cdot x_1+3,71 \cdot x_2$	61,03	18,4
0÷100	$y = 280,76+1,56 \cdot x_1+29,56 \cdot x_2-32,98 \cdot x_3+10,60 \cdot x_4$	71,68	23,8
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land			
0÷5	$y = 9,50+0,08 \cdot x_1-0,06 \cdot x_2+0,21 \cdot x_3-0,49 \cdot x_4+0,34 \cdot x_5$	42,49	1,6
0÷20	$y = 34,45+0,24 \cdot x_1-0,17 \cdot x_2+0,12 \cdot x_3$	51,14	3,4
0÷40	$y = 75,51+0,44 \cdot x_1-0,23 \cdot x_2+0,64 \cdot x_3+0,13 \cdot x_4$	63,08	5,3
0÷60	$y = 142,04+0,51 \cdot x_1+0,22 \cdot x_2+6,13 \cdot x_3-5,19 \cdot x_4+0,53 \cdot x_5$	85,01	5,5
0÷80	$y = 214,66+0,76 \cdot x_1+2,83 \cdot x_2-0,94 \cdot x_3$	91,00	6,4
0÷100	$y = 269,11+0,98 \cdot x_1+15,82 \cdot x_2-26,55 \cdot x_3+13,58 \cdot x_4$	92,60	7,4

**b.**

Powierzchnia nieporośnięta Bare soil						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	TP 1	P 15	WG 1	WG 1	WG 1	WG 14
2	P 2	TP 6	TG50 1	TG50 15	TG50 12	TG10 15
3	TG5 8	TG20 2	WG 9	TG10 11		TG50 14
4	TG1 11	WG 1		P15		TG5 14
5				TG5 11		
6				TG1 12		
Powierzchnia pokryta trawą Grassy land						
x	0÷5 cm	0÷20 cm	0÷40 cm	0÷60 cm	0÷80 cm	0÷100 cm
1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1	WG 1
2	WG 15	WG 15	WG 15	P 10	TGT100 15	TGT100 15
3	TP 5	P 10	TGT50 15	TGT50 14	TGT50 14	TGT50 15
4	TGT1 10		P 15	TGT20 15		TGT20 15
5	TP 15			TP 6		
6						

## **7. WERYFIKACJA UZYSKANYCH RÓWNAŃ REGRESJI OPISUJĄCYCH ZASOBY WODNE GLEBY NA MATERIALE NIEZALEŻNYM**

Ostatnim etapem przeprowadzanych analiz związku zasobów wodnych gleby w okresie zimowym z wybraną grupą elementów agrometeorologicznych była ocena jakości otrzymanych równań regresji. Polegała ona na przeprowadzonej w ograniczonym zakresie weryfikacji uzyskanych wyników, w postaci równań regresji, na materiale niezależnym z listopada i grudnia z okresu zimowego 2005/2006. W tym celu wyliczono zasoby wodne gleby pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą na każdy dzień powyższych miesięcy oddzielnie, w oparciu o wyprowadzone formuły oraz materiały niezależne w postaci danych agrometeorologicznych z listopada i grudnia 2005 roku. Następnie otrzymane wyniki obliczeń zasobów wodnych gleby porównano z rzeczywistymi dobowymi wartościami z tego samego okresu, pochodzącymi z bezpośrednich pomiarów terenowych. Statystycznej oceny równań dokonano w oparciu o względne błędy prognozy. Analizę porównawczą przeprowadzono dla każdej warstwy gleby pod powierzchnią nieporośniętą oraz pokrytą trawą oddzielnie. Do tego celu wykorzystano wyprowadzone równania regresji dla listopada i grudnia z trzech kolejnych okresów zimowych łącznie 2002÷2005, dla każdej z warstw gleby pod obiema powierzchniami. Dają one możliwość oszacowania zasobów wodnych gleby na każdy dowolny dzień weryfikowanych miesięcy.

Uwzględnionymi w wyprowadzonych równaniach regresji dla listopada z okresu 2002÷2005 zmiennymi opisującymi zasoby wodne dla wszystkich warstw gleby pod powierzchnią nieporośniętą były następujące elementy agrometeorologiczne:

- sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 15 dni
  - średnie stany wody gruntowej z krokiem czasowym 3, 11, 13 i 14 dni
  - średnia temperatura gleby na głębokości 100 cm z krokiem czasowym 1 dzień
- dla grudnia natomiast:
- sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 11 dni
  - średnie stany wody gruntowej z krokiem czasowym 2 i 15 dni
  - średnia temperatura powietrza z krokiem czasowym 1, 4 i 13 dni
  - średnia temperatura gleby na głębokości 1÷2 cm z krokiem czasowym 2, 4 i 10 dni
  - średnia temperatura gleby na głębokości 5 cm z krokiem czasowym 2 i 4 dni
  - średnia temperatura gleby na głębokości 10 cm z krokiem czasowym 4 dni
  - średnia temperatura gleby na głębokości 20 cm z krokiem czasowym 3 i 9 dni

- średnia temperatura gleby na głębokości 50 cm z krokiem czasowym 15 dni
- średnia temperatura gleby na głębokości 100 cm z krokiem czasowym 3 dni

Dla powierzchni pokrytej trawą zmienne opisujące uwzględnione w równaniach dla listopada stanowiły:

- sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 15 dni
- średnie stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1, 2, 3 i 15 dni
- średnia temperatura gleby na głębokości 10 cm z krokiem czasowym 1, 3 i 4 dni

a dla grudnia:

- sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 13 i 14 dni
- średnie stany wody gruntowej z krokiem czasowym 1, 2, 9 i 15 dni
- średnia temperatura powietrza z krokiem czasowym 15 dni
- średnia temperatura gleby na głębokości 1÷2 cm z krokiem czasowym 13 dni
- średnia temperatura gleby na głębokości 10 cm z krokiem czasowym 1 i 4 dni
- średnia temperatura gleby na głębokości 20 cm z krokiem czasowym 1 dzień

## 7.1. Analiza błędów względnych oszacowanych zasobów wodnych gleby

Wartości współczynników determinacji  $R^2$  określają, w jakim stopniu zmienne niezależne wyjaśniają zmienną zależną. Otrzymane w pracy wyniki wykazują, że ich wysokie wartości nie zawsze pozwalają dostatecznie opisać w tym przypadku zasoby wodne gleby. Wykorzystanie do weryfikacji równań wyprowadzonych dla trzech połączonych okresów zimowych (a nie uśrednionych) pozwoliło na rozszerzenie spektrum zmian wszystkich analizowanych w pracy elementów. Mimo tego duża zmienność warunków agrometeorologicznych oraz zasobów wodnych gleby we wspomnianym okresie wskazuje, że jest on zbyt krótki do uchwycenia pełnych zmian zarówno zasobów, jak i elementów agrometeorologicznych, jakie mogą wystąpić w okresie zimowym w okolicach Wrocławia. Wydłużenie okresu badawczego, poprzez połączenie trzech półroczy zimowych, spowodowało w większości przypadków obniżenie wartości poprawionych współczynników determinacji, dlatego postanowiono zbadać, czy przeprowadzona weryfikacja potwierdzi ich najmniejszą przydatność.

Na podstawie analizy porównawczej warunków agrometeorologicznych w listopadzie, dla którego wykonano weryfikację, stwierdzono niższe stany wody gruntowej, niezależnie od kroku czasowego, w porównaniu do ich średnich wartości dla tych samych kroków czasowych w listopadzie dla okresu 2002÷2005. Różnice wahały się od 12,0 cm dla okresu 15 dni poprzedzających do 18,5 cm dla 1 dnia. Podobnie sumy opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 15 dni w weryfikowanym miesiącu były niższe o 12,2 mm od średnich w listopadzie z okresu 2002÷2005. Występujące w równaniach średnie wartości temperatury gleby, na głębokości 100 cm pod powierzchnią nieporośniętą z dnia poprzedzającego termin pomiaru wilgotności gleby oraz średnie wartości temperatury gleby pokrytej trawą, na głębokości 10 cm z krokiem czasowym 3 i 4 dni były niewiele wyższe od średnich wartości dla tych kroków czasowych dla listopada z okresu 2002÷2005, a różnica nie przekraczała 1,0°C. Tylko w przypadku

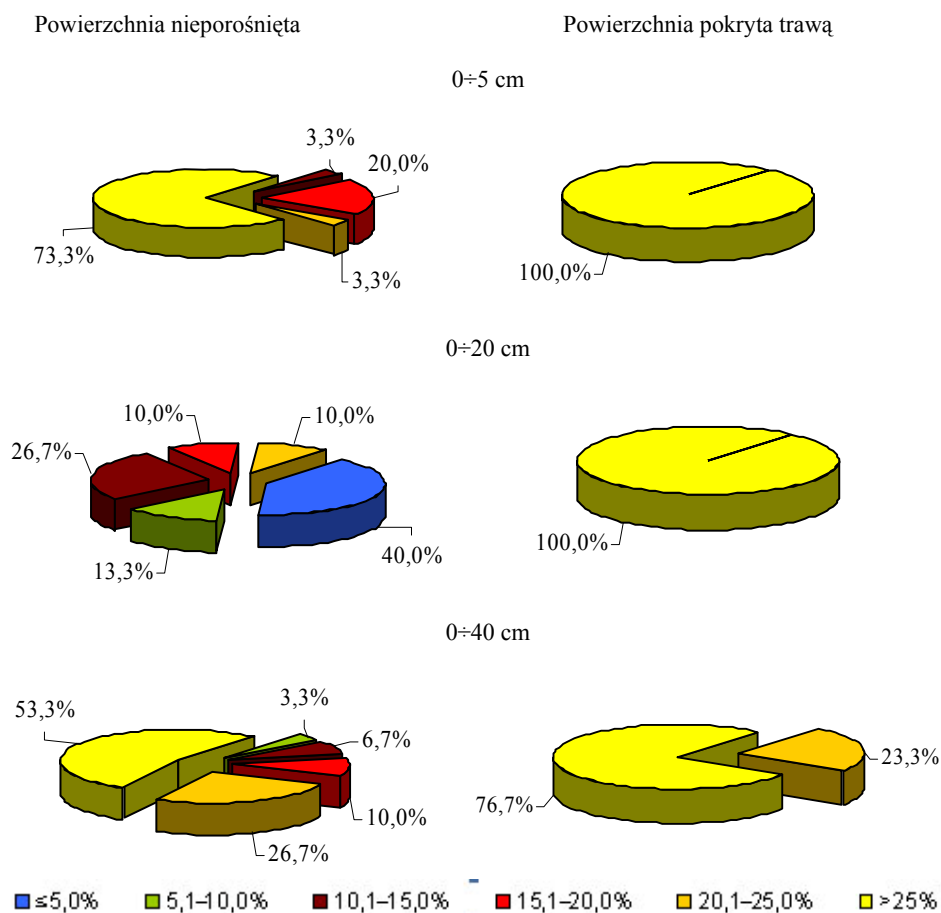
średnich wartości temperatury gleby na głębokości 10 cm z dnia poprzedzającego pod trawnikiem obserwowano wartości niższe o 1,4°C w porównaniu do listopada z okresu 2002÷2005.

Średnie stany wody gruntowej z krokami czasowymi 1, 2, 9 i 15 dni w grudniu, dla którego wykonano weryfikację były, podobnie jak dla listopada, niższe w porównaniu do ich średnich wartości w tym miesiącu z okresu 2002÷2005. Różnice wartości wahały się od 7,3 cm dla stanów wody gruntowej z krokiem czasowym 1 dzień do 20,0 mm dla 15 dni. Sumy opadów atmosferycznych, które w weryfikowanych równaniach regresji występowały za okresy 11, 13 i 14 dni poprzedzające termin, w którym zmierzono wilgotność gleby, były w grudniu 2005 r. ponad czterokrotnie wyższe od średnich sum dla tych kroków czasowych dla grudnia z okresu 2002÷2005. Ich różnice wahały się od 24,1 mm dla sum opadów z krokiem czasowym 11 dni do 27,4 mm dla 14 dni. Średnie wartości temperatury powietrza z krokiem czasowym 1 i 4 dni w weryfikowanym miesiącu były wyższe o 0,4°C od średnich dla tych kroków czasowych w grudniu z okresu 2002÷2005. Dla dłuższych okresów poprzedzających: 13 i 15 dni obserwowano ich niższe wartości, a różnice wynosiły odpowiednio 0,5 i 0,7°C. Średnie wartości temperatury gleby na głębokości 1÷2 i 5 cm pod powierzchnią nieporośniętą z krokiem czasowym 2 i 4 dni, na głębokości 10 cm za okres 4 dni poprzedzające oraz na głębokości 20 i 100 cm za okres 3 dni poprzedzające w grudniu, dla którego wykonano weryfikację, były wyższe od średnich dla powyższych kroków czasowych dla grudnia z okresu 2002÷2005, a różnice wartości wahały się od 0,1 do 0,6°C. Natomiast średnie wartości temperatury gleby dla dłuższych kroków czasowych w weryfikowanym miesiącu, takie jak: temperatura gleby na głębokości 1÷2 cm z krokiem czasowym 10 dni, na głębokości 20 cm z krokiem czasowym 9 dni i na głębokości 50 cm z krokiem czasowym 15 dni były niższe odpowiednio o 0,2, 0,4 i 0,6°C. W przypadku powierzchni pokrytej trawą średnie wartości temperatury gleby na głębokości 1÷2 cm z krokiem czasowym 13 dni, na głębokości 10 cm za okres 1 i 4 dni poprzedzające i na głębokości 20 cm z dnia poprzedzającego termin pomiaru wilgotności gleby były wyższe od ich średnich wartości dla tych samych kroków czasowych dla grudnia z okresu 2002÷2005. Różnice wartości wahały się od 0,3 do 1,0°C.

Ze względu na fakt, że w dostępnej literaturze brak jest jednoznacznych kryteriów do wyznaczania zakresu dopuszczalnych błędów prognoz, do oceny wyprowadzonych równań regresji szacujących zasoby wodne gleby nieporośniętej i pokrytej trawą dla dwóch miesięcy zimowych: listopada i grudnia wyznaczono sześć przedziałów wielkości błędów względnych:  $\leq 5,0\%$ ,  $5,1\div 10,0\%$ ,  $10,1\div 15,0\%$ ,  $20,1\div 25,0\%$  oraz  $\geq 25,1\%$ . Przyjęto za zadowalające te prognozy, dla których uzyskano błędy względne poniżej 25%. Dla zobrazowania uzyskanych wyników na rys. 23, 24, 25 i 26 przedstawiono procentową strukturę błędów względnych, biorąc pod uwagę zróżnicowanie warstw gleby i powierzchni w listopadzie i grudniu.

Wyraźnie lepsze wyniki weryfikacji wyprowadzonych równań regresji dla listopada dla powierzchni nieporośniętej otrzymano dla warstw o miąższości 0÷5 cm, 0÷20 cm i 0÷40 cm (rys. 23). Dla warstw 0÷5 cm i 0÷40 cm ponad połowę stanowiły błędy powyżej 25,0%, natomiast dla warstwy o miąższości 0÷20 cm 40% stanowiły błędy z przedziału poniżej 5,0%, a wszystkie błędy nie przekraczały przyjętego progu 25,0%. W przypadku powierzchni pokrytej trawą dla warstw 0÷5 i 0÷20 cm, w żadnym

przypadku nie otrzymano zadowalającej zgodności prognoz, a dla warstwy 0÷40 cm niewiele ponad 20% stanowiły błędy poniżej 25,0%. Dla warstw o miąższości 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod powierzchnią trawnika otrzymano zadowalające wyniki: dla warstwy 0÷60 cm większość stanowiły błędy względne poniżej 15,0%, dla warstwy 0÷80 cm nie przekraczały one 10,0%, a dla warstwy o miąższości 0÷100 cm 5,0%. Większymi błędami obarczone były prognozy zasobów wodnych tych warstw pod powierzchnią nieporośniętą, a zwłaszcza warstwa 0÷60 cm, w przypadku której ponad 20% stanowiły błędy z przedziału  $\geq 25,1\%$ , a ponad połowę z przedziału 20,1÷25,0%.



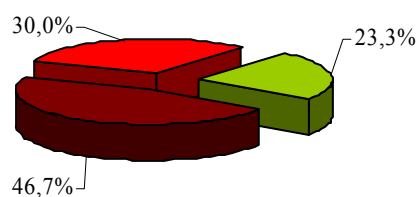
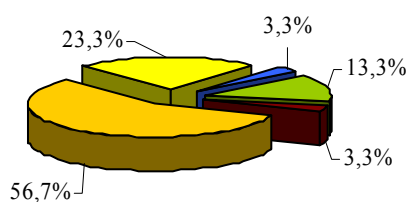
**Rys. 23.** Struktura błędów względnych prognoz dla warstw 0÷5, 0÷20 i 0÷40 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w listopadzie

**Fig. 23.** Structure of estimation errors for soil layers 0÷5, 0÷20 i 0÷40 cm under bare soil and grassy land in November

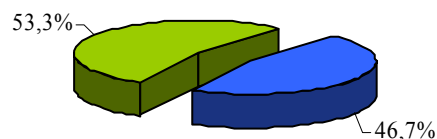
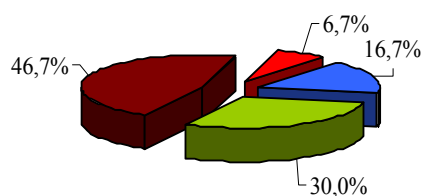
Powierzchnia nieporośnięta

Powierzchnia pokryta trawą

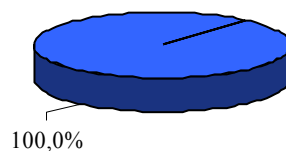
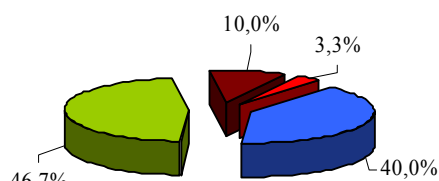
0÷60 cm



0÷80 cm



0÷100 cm



■  $\leq 5,0\%$  ■ 5,1-10,0% ■ 10,1-15,0% ■ 15,1-20,0% ■ 20,1-25,0% ■  $\geq 25\%$

**Rys. 24.** Struktura błędów względnych prognoz dla warstw 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w listopadzie

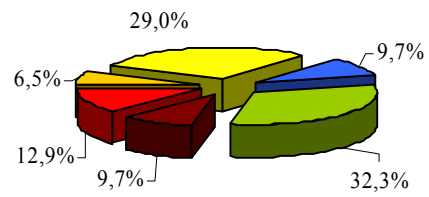
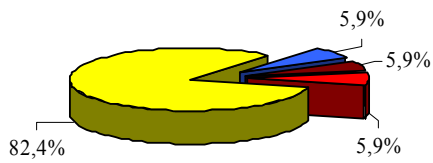
**Fig. 24.** Structure of estimation errors for soil layers 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm under bare soil and grassy land in November



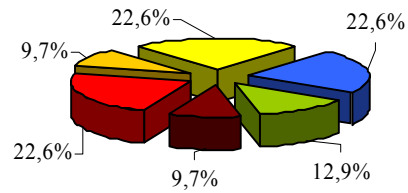
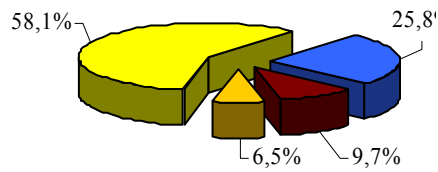
Powierzchnia nieporośnięta

Powierzchnia pokryta trawą

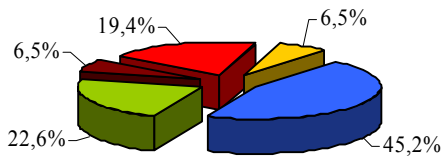
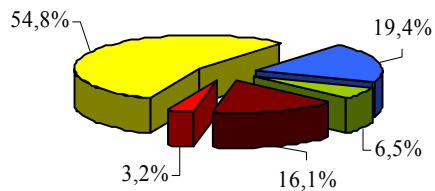
0÷5 cm



0÷20 cm



0÷40 cm



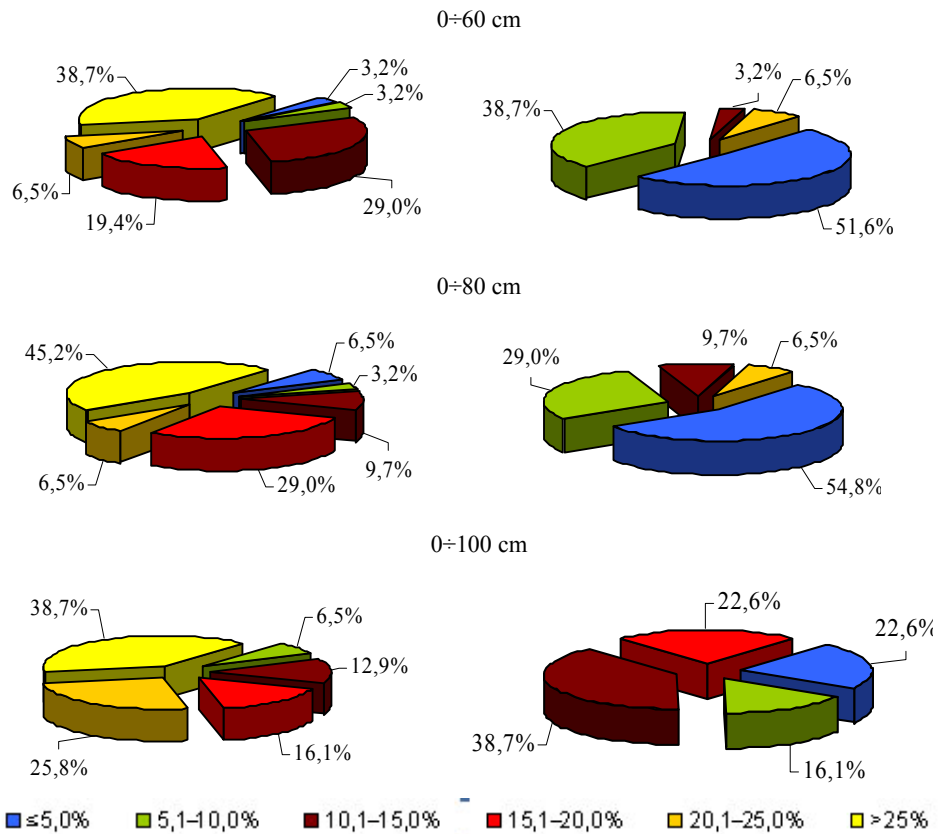
■ ≤5,0%   ■ 5,1-10,0%   ■ 10,1-15,0%   ■ 15,1-20,0%   ■ 20,1-25,0%   ■ ≥25%

Rys. 25. Struktura błędów względnych prognoz dla warstw 0÷5, 0÷20 i 0÷40 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w grudniu

Fig. 25. Structure of estimation errors for soil layers 0÷5, 0÷20 i 0÷40 cm under bare soil and grassy land in December

Powierzchnia nieporośnięta

Powierzchnia pokryta trawą



Rys. 26. Struktura błędów względnych prognoz dla warstw 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą w grudniu

Fig. 26. Structure of estimation errors for soil layers 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm under bare soil and grassy land in December

Dla zasobów wodnych w warstwie 0÷80 cm zdolności predykcyjne równania były dużo lepsze, gdyż prawie połowę stanowiły względne błędy prognoz poniżej 10,0%, a największą zgodność, lecz wyraźnie gorszą w odniesieniu do powierzchni pokrytej trawą, otrzymano dla warstwy 0÷100 cm, w przypadku której prawie 90% stanowiły błędy względne prognoz poniżej 10,0% (rys. 24).

Lepszymi zdolnościami predykcyjnymi charakteryzowały się równania regresji otrzymane dla grudnia dla powierzchni pokrytej trawą, niezależnie od miąższości warstwy gleby (rys. 25 i 26). Tylko w przypadku warstw 0÷5 cm i 0÷20 cm uzyskano błędy względne prognoz powyżej 25,1%, stanowiące odpowiednio 29,0 i 22,6% wszystkich wartości. Dla warstwy 0÷5 cm 9,7% stanowiły błędy poniżej 5,0%, a 32,3% z przedziału 5,1÷10,0%, natomiast dla warstwy 0÷20 cm odpowiednio 22,6 i 12,9%. Zdolności predykcyjne otrzymanych równań były najlepsze dla warstw gleby o miąższości 0÷40, 0÷60 i 0÷80 cm, gdzie dominowały błędy względne prognoz poniżej 5,0% oraz stosunkowo duży udział stanowiły błędy z przedziału 5,1÷10,0 %.

Dla warstwy o miąższości 0÷100 cm otrzymane wartości błędów nie przekraczały 20,0%. W przypadku powierzchni nieporośniętej największymi błędami obarczona była prognoza zasobów wodnych w warstwie gleby 0÷5 cm, gdyż ponad 80% przypadków stanowiły błędy powyżej 25,1%, a ich procentowy udział zmniejszał się jednocześnie ze wzrostem miąższości warstw gleby i równocześnie malał udział błędów poniżej 5,0%. W porównaniu do powierzchni pokrytej trawą wzrosła liczba błędów z przedziałów 10,1÷15,0% oraz 15,1÷20,0%, a błędy względne z przedziału 5,1÷10,0% nie przekraczały 6,5%.

Średnie błędy względne oszacowanych zasobów wodnych gleby w listopadzie pod ugiem nie przekraczały przyjętego progu 25,1% w przypadku warstw 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm, a w grudniu tylko dla warstw 0÷60 i 0÷80 cm. Pod powierzchnią pokrytą trawą takie wartości błędów w pierwszym przypadku otrzymano dla warstw o miąższości 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm, a w grudniu dla wszystkich analizowanych w pracy warstw.

## **7.2. Analiza estymacji błędów otrzymanych równań regresji**

Analiza oszacowanych wartości zasobów wodnych gleby we wszystkich warstwach dla kolejnych dni listopada 2005 r., mieszczących się w granicach standardowych błędów estymacji SE (tab. 14), wskazała na największy ich udział (80,0%) dla warstwy gleby 0÷20 cm pod powierzchnią nieporośniętą oraz dla warstwy 0÷100 cm (73,3%) pod trawnikiem. Pod ugiem niezależnie od miąższości warstwy gleby uzyskano zdecydowanie większą liczbę przypadków, dla których obliczone na podstawie równań regresji wartości zasobów wodnych gleby były niższe w porównaniu do wartości rzeczywistych, pochodzących z bezpośrednich pomiarów terenowych. Pod powierzchnią pokrytą trawą w znakomitej większości otrzymano wyższe wartości w odniesieniu do rzeczywistych, a dla warstw o miąższości 0÷5, 0÷20, 0÷40 i 0÷60 cm znacznie przekraczały one wartości dopuszczalnych błędów SE.

W grudniu największą liczbę przypadków w granicach standardowych błędów estymacji równań (tab. 19), spośród wszystkich warstw, otrzymano dla warstwy gleby 0÷20 cm pod powierzchnią nieporośniętą (32,3%) i dla warstwy 0÷5 cm – pod trawnikiem (51,6%). Podobnie jak dla listopada – w grudniu w większości obliczono niższe wartości zasobów wodnych gleby pod ugiem w stosunku do ich rzeczywistych wartości, a pod trawnikiem wyższe. Jednak w pierwszym przypadku szczegółowa analiza wykazała, że w warstwach o miąższości 0÷20 i 0÷60 cm ponad połowę stanowiły wartości zawyżone, natomiast w drugim w warstwach o miąższości 0÷5, 0÷40 i 0÷80 cm – zaniżone.

## 8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Uwzględnienie w opracowaniu wartości dobowych, pochodzących tylko z trzech okresów zimowych, umożliwiło statystyczną interpretację uzyskanych wyników. Przeprowadzone oceny zmienności wybranych elementów agrometeorologicznych wziętych pod uwagę ułatwiły ich ocenę na tle wartości wieloletnich. Zastosowana technika pomiarów wilgotności gleby pozwoliła na uzyskanie jednorodnych ciągów informacji o zasobach wodnych gleby. Jednocześnie pomiary w okresach zimowych dały możliwość sprawdzenia przydatności urządzenia i metody TDR często w ekstremalnych warunkach. Analiza zmienności codziennych wartości zasobów wodnych gleby, uzyskanych tą metodą pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą, umożliwiła ocenę dynamiki i zróżnicowania związanego z miąższością warstw gleby pod różnymi powierzchniami. Zależności pomiędzy wygenerowanymi, w oparciu o wartości dobowe, wielkościami (sumy, średnie dla różnych kroków czasowych) wybranych elementów agrometeorologicznych i zasobami wodnymi gleby pozwoliły na uzyskanie informacji o możliwości pośredniego ich szacowania. Na podstawie prezentowanych w pracy obliczeń i analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Analiza porównawcza przebiegów codziennych wartości zasobów wodnych gleby w okresach zimowych, pod obiema powierzchniami, wykazała mniejsze ich wahania pod trawnikiem. W okresie zmian stwierdzono, że w obu przypadkach w zdecydowanej większości występowały one w zbliżonych terminach, jednak pod powierzchnią pokrytą trawą zwykle nieco później i były mniejsze w porównaniu do powierzchni nieporośniętej.
2. W drugim i trzecim sezonie badawczym wyraźna zmiana zasobów wodnych do wartości maksymalnej dla każdej z warstw gleby, zwłaszcza 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod obiema powierzchniami, nastąpiła dopiero w 2. i 3. dekadzie marca. Pomimo utrzymującej się tendencji malejącej zasobów wodnych gleby prawie w całym profilu do końca kwietnia, w przypadku warstwy 0÷100 cm ilość wody w glebie utrzymywała się pomiędzy połową a pełną pojemnością wodną.
3. Podczas okresu zimowego 2002/2003, sklasyfikowanego jako bardzo suchy, dla warstw gleby 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm pod powierzchnią nieporośniętą elementem, który wносił najwięcej informacji do wyprowadzonych równań regresji, była suma opadów atmosferycznych z krokiem czasowym 8 i 15 dni. Zarówno dla powierzchni pokrytej trawą w półroczu zimowym 2002/2003, jak i w obu wariantach dla okresów 2003/2004 i 2004/2005 w większości przypadków sumy opadów atmosferycznych z krokami czasowymi 3, 6, 7, 8, 11, 12 i 15 dni, pomimo ich zróżnicowanych warunków agrometeorologicznych, były elementami w największym stopniu wyjaśniającymi zasoby wodne w warstwach gleby 0÷5 i 0÷20 cm.

4. Analiza uwzględnionych w pracy elementów agrometeorologicznych wykazała, że jako zmienne opisujące najwięcej informacji o zasobach wodnych w okresie zimowym, w warstwach gleby 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm, wnoszą stany wody gruntowej zarówno dla powierzchni nieporośniętej, jak i pokrytej trawą. W większości analizowanych sytuacji odnoszą się one do kroku czasowego 1 dzień, sporadycznie 2 i 15 dni.
5. W przypadku powierzchni pokrytej trawą w otrzymanych formułach opisujących zasoby wodne gleby w okresie zimowym, niezależnie od przedziału czasowego, dla warstwy 0÷5 cm najliczniej występowały sumy opadów atmosferycznych, a dla warstw o większej miąższości – stany wody gruntowej.
6. Zarówno dla powierzchni nieporośniętej, jak i pokrytej trawą jednocześnie ze wzrostem miąższości warstwy gleby malał udział sum opadów atmosferycznych w otrzymanych równaniach, a wzrastał udział stanów wody gruntowej.
7. Na podstawie opracowanych równań regresji dla listopada otrzymano zadowalające wyniki oszacowania codziennych wartości zasobów wodnych w warstwach gleby 0÷20, 0÷60, 0÷80 cm pod powierzchnią nieporośniętą oraz w warstwie 0÷60 cm pod trawnikiem; dobre dla warstwy 0÷100 cm pod ugiem i 0÷80 cm pod trawnikiem, a bardzo dobre, z względnymi błędami poniżej 5%, dla warstwy 0÷100 cm pod trawnikiem. W grudniu dobre możliwości szacowania zasobów wodnych gleby stwierdzono dla wszystkich warstw pod powierzchnią pokrytą trawą.
8. Przeprowadzona wstępna weryfikacja uzyskanych wyników na ograniczonym materiale obserwacyjnym pochodzącym z listopada i grudnia 2005 r. wykazała, że otrzymane równania regresji dla listopada i grudnia charakteryzuje generalna tendencja do zaniżania codziennych wartości zasobów wodnych gleby w obu miesiącach pod powierzchnią nieporośniętą, natomiast pod powierzchnią pokrytą trawą – do ich zawyżania.

## 9. LITERATURA

- Arble W.C., Shaw M.D., 1959. Bibliography on the methods for determining soil moisture. Eng. Res. Bull. B – 78, Coll. of Eng. End. Arch., Univ. Park, Penn.
- Aslyng H.C., Hansen S., 1985. Radiation, water and nitrogen balance in crop production. Field experiments and simulation models WARCROS and NITCROS. Hydrotechnical Laboratory, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- Atlas uwilgotnienia gleby w Polsce 1995. Praca zbiorowa pod redakcją Cz. Koźmińskiego i B. Michalskiej, AR Szczecin.
- Bac S., Rojek M., 1999. Meteorologia i klimatologia w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu.
- Bac S., Żyromski A., 1984. Dynamika dekadowych zmian retencji glebowej w warunkach bez podsiąku kapilarnego. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, nr 147, Melioracja XXVI: 143–148.
- Bac S., Żyromski A., 1990. Ocena roli podsiąku w procesie parowania terenowego gleby bez pokrywy roślinnej. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, nr 195, Melioracja XXXVIII: 115–123.
- Bac S., Żyromski A., 2005. Kształtowanie wiosennych zasobów wody w glebie przez czynniki hydrometeorologiczne. Acta Agrophysica, 117, vol. 5 (3): 487–499.
- Baranowski P., Kossowski J., Usowicz B., 1994. Spatial variability of soil water content in cultivated fields. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 405: 9–19.
- Barański L.A., Mrugalski J., 1988. Możliwości wykorzystania teledetekcyjnych pomiarów satelitarnych HRPT do określania temperatury i wilgotności powierzchni ziemi. Przegląd Geofizyczny, XXXIII, z. 3: 257–261.
- Baruah T.Ch., Hasegawa S., 2001. In situ measurement of soil evaporation from a volcanic ash soil by TDR technique using soil water diffusivity. Geoderma, 102: 317–328.
- Beldring S., Gottschalk L., Seibert J., Tallaksen L. M., 1999. Distribution of soil moisture and groundwater levels at patch and catchment scales. Agricultural and Forest Meteorology, 98-99: 305–324.
- Biniak M., 2004. Zmienność zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą i trawiastą w okresie zimy 2002/2003. Acta Agrophysica, 104, vol. 3 (1):13–19.
- Biniak M., 2005. Ocena związków pomiędzy opadami atmosferycznymi i zasobami wodnymi gleby pod powierzchnią nieporośniętą w okresie zimy. Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji, Biblioteka Monitoringu Środowiska: 349–359.

- Biniak M., Chmielewska I., Żyromski A., 2003. Ocena porównawcza możliwości prognozowania zasobów wodnych gleby dla różnych powierzchni na podstawie opadów atmosferycznych i stanów wód gruntowych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCLV, Melior. Inż. Środ.*, 24: 11–18.
- Biniak M., Chmielewska I., Żyromski A., 2007. Ocena zasobów wodnych gleby wiosną pod powierzchnią porośniętą roślinnością trawiastą w oparciu o temperaturę powietrza. *Wiad. Mel. i Łąk.*, 2007, t. L, nr 4: 188–189.
- Biniak M., Żyromski A., 2005. Temperatura powietrza jako czynnik prognostyczny zasobów wodnych gleby wiosną. *Acta Agrophysica*, 117, vol. 5 (3): 513–524.
- Bohne K., 1970. Untersuchung über den Jahresgang des Feuchtegehalts in einigen grundwasserfernen Böden auf der Grundlage von Beziehungen zwischen Witterung und Bodenfeuchte. *Albrecht – Thaer – Archiv, Berlin*, 14, 5: 433–443.
- Cassel D.K., Kachanoski R.G., Topp G.C., 1994. Practical considerations for using a TDR cable tester. *Soil Technology*, 7: 113–126.
- Chudecki Z., Duda L., Koźmiński Cz., 1971. Wpływ wielkości opadów atmosferycznych na zmianę uwilgotnienia gleby lekkiej na terenie RZD Lipki. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej w Szczecinie*, nr 37: 47–68.
- Chernyak G.Ya., 1967. Dielectric methods for investing moist soils. *Israel Program for Scientific and Technical Information, Springfield, Va.* 22151.
- Cieśliński Z., Miatkowski Z., 1995. Zabiegi agromelioracyjne w kształtowaniu retencji wodnej gleby. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 266, Konferencje VIII: 211–220.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1991. Wykorzystanie zdjęć NOAA do oszacowania ewapotranspiracji i wilgotności gleb. *Przegląd Geofizyczny*, XXXVI, z. 4: 309–320.
- Dasberg S., Dalton F.N., 1985. Time domain reflectometry field measurement of soil water content and electrical conductivity. *Soil Science Society American Journal*, 49: 293–297.
- Davis J., Chudobiak W.J., 1975. In situ meter for measuring relative permittivity of soils. *Geological Survey of Canada, Energy, Mines and Resources of Canada, Ottawa, Paper 75-1A: 75–79.*
- Dean T.J., Bell J.P., Baty A. J.B., 1987. Soil moisture measurement by an improved capacitance technique: I. Sensor design and performance. *Journal of Hydrology*, 93: 67–78.
- Dubicki A. i in., 2002. Zasoby wodne w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy. *IMGW, Warszawa*, s. Atlasy i monografie.
- Duda L., Friedrich M., 1976. Próba przewidywania przyrostu retencji do początku okresu wegetacyjnego na podstawie opadów okresu poprzedzającego w zlewni rzeki Regi. *Wiadomości Melioracyjne*, nr 4: 101–106.
- Easy Test D – LOG, 2000. Polowy rejestrator wilgotności oraz zasolenia gleby. Aparat nr 2199 (instrukcja).
- Evans S.P., Mayr T.R., Hollis J.M., Brown C.D., 1999. SWBC: a soil water balance capacity model for environmental applications in the UK. *Ecological Modeling*, 121: 17–49.



- Hanson J.D., Ahuja L.R., Shaffer M.D., Rojas K.W., DeCoursey D.G., Farahani H., Johnson K., 1998. RZWQM: Simulating the effects of management on water quality and crop production. *Agricultural Systems*, vol. 57, nr 2: 161–195.
- Hillel D., 1988. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego – London – Toronto.
- Iwański S., 2005. Zastosowanie przestrzennego generatora dobowych danych meteorologicznych do szacowania zasobów wodnych w glebie lekkiej w zmienionych warunkach klimatycznych. *Akademia Rolnicza we Wrocławiu*, (rozprawa doktorska, maszynopis).
- Janik G., 2004. Badania nad zastosowaniem reflektometrii czasowej (TDR) do oceny opadu efektywnego. *Acta Agrophysica*, 4 (2): 325–338.
- Janik G., 2005. Próba zastosowania reflektometrii domenowo czasowej (TDR) do szacowania spływu powierzchniowego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, z. 26, *Inżynieria Środowiska*, nr 420: 83–91.
- Janiszewski F., 1988. Wskazówka dla Posterunków Meteorologicznych. Wyd. II popr., Warszawa (instrukcja).
- Jaworski J., 1970. Próba określenia strat wodnych i zmian uwilgotnienia profilu glebowego za pomocą elementów meteorologicznych. Warszawa, *Prace Państwowego Instytutu Hydrolog.-Meteorolog.*, z. 99: 95–109.
- Jaworski J., 1991. Modelowanie zmian zapasów wody w strefie aeracji. Warszawa, *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, XXXV, z. 1–4: 23–34.
- Kaczmarek Z., 1994. Wpływ globalnych procesów geofizycznych na zasoby wodne Polski. *Przegląd Geofizyczny*, XXXIX, z. 1: 3–16.
- Kaczorowska Z., 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geograficzne*, 33, Instytut Geograficzny PAN.
- Kejna M., Uscka J., 2003. Termiczne pory roku w Koniczynie. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych, *Biblioteka Monitoringu Środowiska*: 96–103.
- Kędziora A., Tuchołka S., Kapuściński J., Paszyński I., Leśny J., Olejnik J., Moczko J., 1997. Impact of plant cover on heat and water balance in agricultural landscapes located in humidity gradient. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, CCXCIV: 271–301.
- Kostrzewska S., Pływaczyk A., Orzepowski W., Nowacki J., 1994. Odnawialność zasobów retencji wodnej gleb. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu* nr 246, *Konferencje III* (tom 2): 127–134.
- Kostrzewska S., Pływaczyk A., Pęczkowski G., 2001. Zmiany zasobów wodnych w glebach zdrenowanych z regularnym odpływem. *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie*, z. 22: 167–176.
- Kosturkiewicz A., Szafranski Cz., 1984. The role of surface and subsurface flow in the natural drainage of soil profile. *Int. Comm. of Irrigation and Drainage*, 12<sup>th</sup> Congr.: 827–834.
- Kowalkowski A., 1977. Wpływ różnej głębokości wody gruntowej na wilgotność i zasobność gleb rdzawych i bielcowanych pod drzewostanami sosnowymi. *Roczniki Gleboznawcze*, XXVIII, nr 3–4, Warszawa: 127–134.

- Koźmiński Cz., 1994. Określanie i prognozowanie pozimowych zapasów wody w glebie lekkiej na podstawie elementów meteorologicznych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, CCLVII: 33–49.
- Koźmiński Cz., Michalska B., 1995. Extreme soil moisture under winter crops in spring in Poland. Part 1. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 419: 59–67.
- Koźmiński Cz., Michalska B., 2005a. Zmienność czynników meteorologicznych kształtujących pozimowe zapasy wody w glebie lekkiej w Polsce. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, t. 5, z. 2 (15), Wyd. IMUZ: 67–92.
- Koźmiński Cz., Michalska B., 2005b. Ocena modeli do prognozowania pozimowych zapasów wody w glebie lekkiej. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, t. 5, z. 2 (15), Wyd. IMUZ: 93–110.
- Koźmiński Cz., Nidzgorska-Lencewicz J., 2002. Kształtowanie się zasobów w profilu gleby lekkiej w Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach koło Stargardu Szczecińskiego. *Acta Agrophysica*, 78: 133–150.
- Lundberg A., 1997. Laboratory calibration of TDR – probes for snow wetness measurements. *Cold Regions Science and Technology*, 25: 197–205.
- Łyczko W., Olszewska B., Pływaczyk L., 2000. Porównanie metody TDR oraz metody suszarkowo-wagowej do określania uwilgotnienia różnych typów gleb w dolinie Odry. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 385, Inżynieria Środowiska XI, Konferencje: 253–260.
- Łyczko W., Olszewska B., Pływaczyk L., 2002. Dynamika uwilgotnienia mad w dolinie rzecznej w latach 1998–2000. *IMUZ w Falentach, Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, t. 2, z. 2 (5): 47–58.
- Malicki M., 1980. Przegląd metod pomiaru wilgotności gleb i ocena ich przydatności w badaniach polowych. *Problemy Agrofizyki*, 31, Ossolineum.
- Malicki M.A., 1990. A reflectometric (TDR) meter of moisture content in soils and other capillary – porous materials. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 388: 107–114.
- Malicki M.A., 1999. Metodyczne zagadnienia monitoringu statusu wody w wybranych materiałach biologicznych. *Acta Agrophysica*, 19, PAN, Lublin.
- Malicki M.A., Kotliński J., 1998a. Dielectric determination of moisture of cereals grain using Time Domain Reflectometry. *International Agrophysics*, 12: 209–215.
- Malicki M.A., Kotliński J., 1998b. Dielectric determination of moisture of wood using Time Domain Reflectometry. *International Agrophysics*, 12: 217–220.
- Malicki M.A., Plagge R., Renger M., Walczak R.T., 1992. Application of time domain reflectometry (TDR) soil moisture miniprobe for the determination of unsaturated soil water characteristics from undisturbed soil cores. *Irrigation Science*, 13: 65–72.
- Malicki M.A., Skierucha W.M., 1989. A manually controlled TDR soil moisture meter operating with 300 ps rise – time needle pulse. *Irrigation Science*, 10: 153–163.
- Malicki M.A., Skierucha W., 2001. Zagadnienie doboru częstotliwości pola elektrycznego w dielektrycznym pomiarze wilgotności gleb zasolonych. *Acta Agrophysica*, 53: 109–115.

- Malicki M.A., Skierucha W., 2002. Elektryczny pomiar wilgotności gleby metodą TDR. *Acta Agrophysica*, 72: 89–98.
- Marcilonek S., 1962. Zmiany zasobów wodnych gleb lekkich w latach 1958–1961. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu*, nr 44, Melioracja VII: 107–123.
- Mastrorilli M., Katerji N., Rana G., Nouna B.B., 1998. Daily actual evapotranspiration measured with TDR technique in Mediterranean conditions. *Agricultural and forest meteorology*, 90: 81–89.
- Mazij S., Kowalski J., Woźny F., Szpikowski A., Krężel J., 1965. Ekspertyza hydrogeologiczna i gleboznawcza pól ustalonych na Swojcu k. Wrocławia – „Warunki hydrogeologiczne i glebowo-wodne pól ustalonych Instytutu Gospodarki Wodnej – położonych na terenie RZD w Swojcu k. Wrocławia. Katedra Agrometeorologii Akademii Rolniczej we Wrocławiu (maszynopis).
- Meade N.G., Hinzman L.D., Kane D.L., 1999. Spatial estimation of soil moisture using synthetic aperture radar in Alaska. *Adv. Space Res.*, vol. 24, nr 7: 935–940.
- Michalska B., Raszka E., 1999. Plonowanie pszenżyta w Polsce w zależności od kształtowania się ekstremalnego uwilgotnienia gleby. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie*, 202 (79): 147–154.
- Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny 1975–2000. IMGW Warszawa.
- Miller A., 1998. Modelowanie obszarowych zmienności różnych miar retencji. Praca wykonana w ramach grantu KBN, Wyd. AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu.
- Moeremans B., Dautrebande S., 2000. Soil moisture evaluation by means of multi – temporal ERS SAR PRI images interferometric coherence. *Journal of Hydrology*, 234: 162–169.
- Molga M., 1969. Studium agrometeorologiczne nad geograficznym rozkładem wody w glebie na początku okresu wegetacyjnego w Polsce. *Przegląd Geofizyczny*, XIV (XXII), z. 2: 151–179.
- Muttiah R.S., Wurbs R.A., 2002. Scale – dependent soil and climate variability effects on watershed water balance of the SWAT model. *Journal of Hydrology*, 256: 264–285.
- Nidzgorska-Lencewicz J., 2004. Dynamika uwilgotnienia gleby nieporośniętej oraz pod uprawą żyta i ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 104, Vol. 3 (1):125–132.
- Nidzgorska-Lencewicz J., 2005. Czynniki meteorologiczne a zmiany uwilgotnienia i zasobów wody w glebie lekkiej. *Akademia Rolnicza w Szczecinie (rozprawa doktorska, maszynopis)*.
- Nyc K., 1994. Rola retencji gruntowej w bilansowaniu zasobów wodnych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 248, Konferencje V: 247–251.
- Nyc K., Pokładek R., 1996. Rola małych piętrzeń w kształtowaniu zasobów retencji gruntowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 438: 83–90.
- Oleszczuk R., Brandyk T., Szatyłowicz J., 1998. Analiza możliwości zastosowania metody TDR do pomiaru uwilgotnienia w glebie torfowo-murszowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 458: 263–74.
- Oliver B.M., Cage J.M., 1971. *Electronic measurements and instrumentation*. Inter – University Electronics Series, vol. 12, McGraw – Hill Book Company, USA: 61–64.

- Olszewska B., Pływaczyk L., 1999. Groundwater participation in water management of the soils in the Odra valley in the region of the Brzeg Dolny dam. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCX, Melior. Inż. Środ.*, 20, cz. II: 211–221.
- Orzepowski W., Pęczkowski G., Kostrzewa S., 2005. Zmiany zasobów retencji glebowej na terenach przyległych do niewielkiego zbiornika wodnego w Rybnicy. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, nr 420, *Inżynieria Środowiska*, z. 26: 67–74.
- Overmeeren R.A., Sariowan S.V., Gehrels J.C., 1997. Ground penetrating radar for determining volumetric soil water content: results of comparative measurements at two test sites. *Journal of Hydrology*, 197: 316–338.
- Pasela E., 1971. Wpływ niektórych elementów meteorologicznych na kształtowanie się wilgoci w glebie pod rośliną uprawną i w profilu bez roślin. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej w Krakowie*, nr 68, *Melioracja*, z. 5: 99–123.
- Pellenq J., Kalma J., Boulet G., Saulnier G.M., Wooldridge S., Kerr Y., Chehbouni A., 2003. A disaggregation scheme for soil moisture based on topography and soil depth. *Journal of Hydrology*, 276: 112–127.
- Piotrowicz K., 2000. Sposoby wydzielenia pór roku. *Przegląd Geofizyczny*, XLV, z. 3–4: 261–277.
- Piotrowicz K., 2000/2001. A typology of winter thermal conditions. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia*, vol. LV/LVI, 34, sectio B: 277–284.
- Prigent K., Aires F., Rossow W.B, Robock A., 2005. Sensitivity of satellite microwave and infrared observations to soil moisture at a global scale: Relationship of satellite observations to in situ soil moisture measurements. *Journal of Geophysical Research*, vol. 110: DO7110-DO7124.
- Rewut I.B., 1980. *Fizyka gleby*. PWN, Warszawa.
- Robock A., Vinnikov K.Y., Schlosser A.C., Speranskaya N.A., Xue Y., 1995. Use of midlatitude soil moisture and meteorological observations to validate soil moisture simulations with biosphere and bucket models. *J. Climate*, 8: 15–35.
- Robock A., Mu M., Vinnikov K., Trofimova I.V., Adamenko T.I., 2005. Forty – five years of observed soil moisture in Ukraine: No summer desiccation (yet). *Geophysical Research Letters*, vol. 32: LO3401-LO3405.
- Rojek M., Wierciach T., 1995. Zmienność czasowa i przestrzenna parowania wskaźnikowego, ewapotranspiracji aktualnej i niedoborów opadowych w Polsce nizinnej w okresie 1951–1990. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 268, *Monografie VI*.
- Roth C.H., Malicki M.A., Plagge R., 1992. Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR. *Journal of Soil Science*, 43: 1–13.
- Rozbicki T., 1997. Związek między wskaźnikami opadów uprzednich i wilgotnością gruntu na wybranych typach gleb lekkich i ciężkich. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCXCI, Melior. Inż. Środ.*, 17: 105–116.

- Rozbicki T., 1998. Związek między wskaźnikami opadu i wilgotnością gleby dla ekosystemu stepu strefy umiarkowanej. *Przegląd Naukowy Wydz. Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie*, z. 16: 98–104.
- Rozporządzenie Dyrektora IMGW SO – 075/6/95, 1995, w sprawie wprowadzenia do stosowania nowego wzoru do obliczania średniej dobowej temperatury i wilgotności względnej powietrza.
- Ryden B.E., 1986. Winter soil moisture regime monitored by the Time-Domain-Reflectometry technique (TDR). *Geografiska Annalen*, vol. 68, ser. A, 3: 175–184.
- Seyfried M., 1998. Spatial variability constraints to modeling soil water at different scales. *Geoderma*, 85: 231–254.
- Skierucha W., Malicki M.A., 2004. TDR method for the measurement of water content and salinity of porous media. *Institut Agrofizyki PAN, Lublin*.
- Skierucha W., Walczak R.T., 2005. An intelligent probe for the simultaneous measurement of soil water content, electrical conductivity and temperature. *Review of current problems in agrophysics, Instytut Agrofizyki PAN, Lublin*.
- Sparks J.P., Campbell G.S., Black R.A., 2001. Water content, hydraulic conductivity and ice formation in winter stems of *Pinus contorta*: a TDR case study. *Oceanologia*, 127: 468–475.
- Srinivasan G., Robock A., Entin J.K., Luo L., Vinnikov K.Y., Viterbo P., 2000. Soil moisture simulations in revised AMIP models. *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, nr D21: 26,635–26,644.
- Stanisz A., 2001. *Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL na przykładach z medycyny*. StatSoft Polska, Kraków.
- Starks P. J., Heathman G.C., Ahuja L.R., Ma L., 2003. Use of limited soil property data and modeling to estimate root zone soil water content. *Journal of Hydrology*, 272: 131–147.
- StatSoft, Inc., 1997. *STATISTICA for Windows Computer program manual, wersja 5.1. G edycja '97, nr SP8068316302G51*.
- Stein J., Laberge G., Lévesque D., 1997. Monitoring the dry density and the liquid water content of snow using time domain reflectometry (TDR). *Cold Regions Science and Technology*, 25: 123–136.
- Stoffregen H., Yaramanci U., Zenker T., Wessolek G., 2002. Accuracy of soil water content measurements using ground penetrating radar: comparison of ground penetrating radar and lysimeter data. *Journal of Hydrology*, 267: 201–206.
- Szafranski Cz., 1992. Spływy powierzchniowe i erozja wodna gleb na bogato rzeźbionych terenach polodowcowych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, 35: 101–109.
- Szafranski Cz., 1997. Dynamika zmian uwilgotnienia wierzchnich warstw gleby na tle przebiegu warunków meteorologicznych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCXCI*: 93–103.
- Tansey K.J., Millington A.C., Battikhi A.M., White K.H., 1999. Monitoring soil moisture dynamics using satellite imaging radar in northeastern Jordan. *Applied Geography*, 19: 325–344.
- Thomas A.M., 1966. In situ measurement of moisture in soil and similar substances by fringe capacitance. *Journal Scientific Instrumentation*, 43: 21–27.

- Thomsen A., Hansen B., Schelde K., 2000. Application of TDR to water level measurement. *Journal of Hydrology*, 236: 252–258.
- Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements of coaxial transmission lines. *Water Resources Res.*, 3: 574–582.
- Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P., 1982. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: II Evaluation of installation and configuration of parallel transmission lines. *Soil Science Society American Journal*, 64: 313–321.
- Ugęła H., 1979. *Gleboznawstwo rolnicze*. PWN, Warszawa.
- Vinnikov K.Y., Robock A., Speranskaya N.A., Schlosser C.A., 1996. Scales of temporal and spatial variability of midlatitude soil moisture. *Journal of Geophysical Research*, vol 101, nr D3: 7163–7174.
- Walczak R., 1984. Modelowe badania zależności retencji wodnej od parametrów fazy stałej gleby. Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo, Wrocław (rozprawa habilitacyjna – streszczenie).
- Walczak R.T., Sławiński C., Malicki M., Sobczuk H., 1993. Measurement of water characteristics in soils using TDR technique: water characteristics of less soil under different treatment. *International Agrophysics*, 7: 175–182.
- Wąsek A., 1980. Zasoby wodne w górnej warstwie aeracji a wskaźnik wilgotności gruntu. *Przegląd Geofizyczny*, XXV (XXXIII), z. 1: 71–78.
- Witkowska-Walczak B., Walczak R., Sławiński C., 2004. Determination of water potential – moisture characteristics of soil porous media. Instytut Agrofizyki PAN, Lublin.
- Woś A., 1999. *Klimat Polski*. PWN, Warszawa.
- Wraith J.M., Robinson D.A., Jones S.B., Long D.S., 2005. Spatially characterizing apparent electrical conductivity and water content of surface soils with time domain reflectometry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 239–261.
- Zribi M., Dechambre M., 2002. A new empirical model to retrieve soil moisture and roughness from C – band radar data. *Remote Sensing of Environment*, 84: 42–52.
- Żyromski A., 1984. Ocena rzeczywistego przychodu wody z opadów atmosferycznych na podstawie kształtowania się odpływu w głębego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 288: 115–122.
- Żyromski A., 1990. Zmiany użytecznych zasobów wody w glebie pod trawnikiem na tle wybranych czynników meteorologicznych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 195, Melioracja XXXVIII: 97–104.
- Żyromski A., 1996. Ocena wiosennych zasobów wodnych gleby w oparciu o częstości dobowych sum opadów atmosferycznych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 283, Melioracja XLII: 225–233.
- Żyromski A., 2001. Czynniki agrometeorologiczne a kształtowanie się zasobów wody w glebie lekkiej z podsiąkiem wód gruntowych w okresie wiosennym. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, nr 404, Rozprawy CLXXVIII, Wrocław.

- Żyromski A., 2003. Ocena możliwości prognozowania zasobów wodnych gleby z różnym krokiem czasowym. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych, Biblioteka Monitoringu Środowiska: 129–139.
- Żyromski A., Biniak M., Kostrzewa S., 2005. Ocena wieloletniej zmienności temperatury gleby i pokrywy śnieżnej oraz ich zależności w okresach zimowych 1965/66 – 2003/04 we Wrocławiu-Swojcu. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, nr 520, Inżynieria Środowiska XIV:115–129.

# **AGROMETEOROLOGICAL ELEMENTS INFLUENCE ON SOIL WATER RESERVES VARIABILITY DURING WINTER HALF-YEAR**

## **S u m m a r y**

The aim of researches was to evaluate soil water reserves in winter period. On the base of daily measurements of soil moisture with TDR technique, soil water reserves were estimated for six soil layers 0÷5, 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 and 0÷100 cm under the bare soil and the lawn. Daily precipitation sums, air temperature means, soil temperature means at six levels and ground water level were taken into analysis from 3 winter periods: 2002/2003, 2003/2004 and 2004/2005, for 15 time steps: from 1 to 15 days, for which selected elements were summed up or averaged.

Analysis was carried out for sequent months and winter period, from the 1<sup>st</sup> of November till the 30<sup>th</sup> of April. It was also done for two and three periods together: for sequent months and for the whole winter periods. The most important stage was to educe step – wise regression equations and to find final groups of agrometeorological factors, that interpret soil water reserves in winter period, in six soil layers under the bare soil and the lawn. The most attention was paid to this variables, that gave the most information about soil water reserves to educed regression equations in sequent months and whole winter periods.

**Key words:** winter period, soil moisture, time domain reflectometry (TDR), agrometeorological factors



# **WPLYW ELEMENTÓW AGROMETEOROLOGICZNYCH NA ZMIENNOŚĆ ZASOBÓW WODNYCH GLEBY W PÓLROTCZU ZIMOWYM**

## **S t r e s z c z e n i e**

Celem pracy jest ocena zmienności zasobów wodnych gleby w okresie zimowym. W pracy wykorzystano codzienne wyniki pomiarów wilgotności gleby z zastosowaniem techniki TDR pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą oraz obliczone na ich podstawie zasoby wodne gleby w warstwach 0÷5, 0÷20, 0÷40, 0÷60, 0÷80 i 0÷100 cm. Spośród elementów agrometeorologicznych do analiz przyjęto: dobowe sumy opadów atmosferycznych, średnie dobowe wartości temperatury powietrza i gleby na 6 głębokościach, a także stany wody gruntowej z okresów zimowych 2002/2003, 2003/2004 oraz 2004/2005, sumowanych lub uśrednianych dla 15 kroków czasowych: od 1 do 15 dni poprzedzających termin, na który zmierzono wilgotność gleby.

Analizy przeprowadzono dla przedziału czasowego: miesiąc (listopad-kwiecień) i cały okres zimowy. Wykonywano je również dla dwóch i trzech okresów zimowych łącznie: analogicznie dla poszczególnych miesięcy i całych okresów zimowych. Najważniejszym etapem pracy było wyprowadzenie równań regresji i wyodrębnienie ostatecznego zbioru zmiennych w postaci elementów agrometeorologicznych, w najlepszy sposób opisujących zasoby wodne w sześciu warstwach gleby, pod powierzchnią nieporośniętą i pokrytą trawą oddzielnie. Przy ich interpretacji zwracano uwagę przede wszystkim na te zmienne opisujące, które wносиły najwięcej informacji o zasobach wodnych gleby w poszczególnych miesiącach i całym okresie zimowym.

**Słowa kluczowe:** okres zimowy, wilgotność gleby, reflektometria domenowo-czasowa (TDR), czynniki agrometeorologiczne