Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie

ACTA AGROPHYSICA

79

Ryszard Walczak, Janusz Ostrowski,
Barbara Witkowska-Walczak, Cezary Sławiński

HYDROFIZYCZNE CHARAKTERYSTYKI MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

Monografia

Lublin 2002

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny - prof. dr hab. Jan Gliński, czł. rzecz. PAN

Z-cy Redaktora Naczelnego:
prof. dr hab. Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN - fizyka środowiska
prof. dr hab. Bogusław Szot - fizyka materiałów roślinnych
prof. dr hab. Ryszard Dębicki - gleboznawstwo

Rada Redakcyjna

prof. dr hab. J. Haman, czł. rzecz. PAN - przewodniczący

prof. dr hab. T. Brandyk
prof. dr hab. I. Dechnik
prof. dr hab. D. Drozd
prof. dr hab. F. Dubert
prof. dr hab. J. Fornal
prof. dr hab. E. Kamiński
prof. dr hab. A. Kędziora
prof. dr hab. T. Kęsik
prof. dr hab. Cz. Koźmiński
prof. dr hab. J. Laskowski
prof. dr hab. P.P. Lewicki
prof. dr hab. S. Nawrocki, czł. rzecz. PAN
prof. dr hab. E. Niedźwiecki
prof. dr hab. J. Sielewiesiuk
prof. dr hab. W. Stępniewski
prof. dr hab. Z. Ślipek
prof. dr hab. S. Zawadzki, czł. rzecz. PAN

Redaktor tomu

doc. dr hab. Barbara Witkowska-Walczak

Opiniował do druku

prof. dr hab. Saturnin Zawadzki, czł. rzecz. PAN

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201
20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: editor@demeter.ipan.lublin.pl
http: //www.ipan.lublin.pl

Publikacja indeksowana przez
Polish Scientific Journals Contents - Life Sci. w sieci Internet
pod adresem http://www.psjc.icm.edu.pl

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2002

Publikacja została częściowo wykonana w ramach projektu badawczego nr P06B01215
finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

ISSN 1234 - 4125

Wydanie I. Nakład 150 egz. Ark. wyd. 10,0
Skład komputerowy: Agata Woźniak
Druk: Zakład Usług Poligraficznych TEKST s.c., ul. Wspólna 19, 20-344 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP 5
2. DOBÓR MATERIAŁU GLEBOWEGO 6
3. METODYKA BADAŃ 10
3.1. Retencja wodna 10
3.2. Przewodnictwo wodne 10
3.3. Dobór wartości charakteryzujących stan energetyczny wody w glebie 12
4. BAZA DANYCH O HYDROFIZYCZNYCH CHARAKTERYSTYKACH MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI 13
5. OPRACOWANIE KOMPUTEROWYCH MAP HYDROFIZYCZNYCH CHARAKTERYSTYK MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI 20
5.1. Koncepcja kartograficzna map właściwości hydrofizycznych gleb 20
5.2. Makiety barwne map właściwości hydrofizycznych 21
5.3. Budowa algorytmów przetwarzania i zasady generowania map 22
6. CHARAKTERYSTYKA HYDROFIZYCZNYCH WŁAŚCIWOŚCI MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI 24
6.1. Charakterystyka retencji wodnej 24
6.1.1. Retencja wody przy nasyceniu (pF 0) 24
6.1.2. Retencja wody odpowiadająca polowej pojemności wodnej (pF 2,2) 27
6.1.3. Retencja wody w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3) ... 29
6.1.4. Retencja wody w punkcie trwałego więdnięcia roślin (pF 4,2) 31
6.2. Charakterystyka zdolności retencyjnej (potencjalnych zasobów wodnych) ... 34
6.2.1. Zasoby wody wolnej – grawitacyjnej (pF 0 – pF 2,2) 34
6.2.2. Zasoby wody użytecznej dla roślin (pF 2,2 – pF 4,2) 36
6.2.3. Zasoby wody łatwo dostępnej dla roślin (pF 2,2 – pF 3) 39
6.2.4. Zasoby wody trudno dostępnej dla roślin (pF 3 – pF 4,2) 41
6.3. Charakterystyka przewodnictwa wodnego 43
6.3.1. Przewodnictwo wodne przy nasyceniu (pF 0) 43
6.3.2. Przewodnictwo wodne przy polowej pojemności wodnej (pF 2,2) 45
6.3.3. Przewodnictwo wodne w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3) 47

7. KARTOGRAFICZNA PREZENTACJA ZMIENNOŚCI I ZRÓŻNICOWANIA HYDROFIZYCZNYCH CHARAKTERYSTYK MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI 50
7.1. Charakterystyka retencji wodnej 50
7.1.1 . Retencja wody przy nasyceniu (pF 0) 50
7.1.2. Retencja wody odpowiadająca polowej pojemności wodnej (pF 2,2) 50
7.1.3. Retencja wody w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3) ... 51
7.1.4. Retencja wody w punkcie trwałego więdnięcia roślin (pF 4,2) 52
7.2. Charakterystyka potencjalnych zasobów wody 52
7.2.1. Zasoby wody wolnej – grawitacyjnej (pF 0 – pF 2,2) 52
7.2.2. Zasoby wody użytecznej dla roślin (pF 2,2 – pF 4,2) 53
7.2.3. Zasoby wody łatwo dostępnej dla roślin (pF 2,2 – pF 3) 53
7.2.4. Zasoby wody trudno dostępnej dla roślin (pF 3 – pF 4,2) 54
7.3. Charakterystyka przewodnictwa wodnego 55
7.3.1. Przewodnictwo wodne przy nasyceniu (pF 0) 55
7.3.2. Przewodnictwo wodne przy polowej pojemności wodnej (pF 2,2) 55
7.3.3. Przewodnictwo wodne w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3) 56
8. PODSUMOWANIE 57
9. PIŚMIENNICTWO 60
10. STRESZCZENIE 63
11. SUMMARY 64
MAPY (1-33)

1. WSTĘP

Właściwości hydrofizyczne gleb, tj. retencja wodna oraz przepuszczalność wodna w strefie nasyconej i nienasyconej, kształtują nie tylko bilans wodny gleb, ale mają także decydujący wpływ na warunki wzrostu, rozwoju i plonowania roślin. Determinują bowiem dostępność wody do systemu korzeniowego rośliny oraz przemieszczanie się jej wraz z rozpuszczonymi związkami chemicznymi do głębszych warstw gleby. Związki te to niezbędne do wzrostu i rozwoju roślin substancje pokarmowe, a także różnego rodzaju substancje chemiczne stanowiące zagrożenie dla środowiska. Panujące w glebach warunki wilgotnościowe w zasadniczy sposób wpływają na ich właściwości cieplne i mechaniczne, decydując o kształtowaniu się temperatury w profilu glebowym, a także o warunkach i efektywności oddziaływań mechanicznych na gleby podczas stosowania zabiegów agrotechnicznych. Znajomość właściwości hydrofizycznych jest zatem niezbędna do interpretacji i przewidywania przebiegu praktycznie wszystkich procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w glebach, a modelowanie tych procesów wymaga reprezentatywnych danych o ich hydrofizycznych charakterystykach [9,11,12,14,15,16,22,25,47,55].

Właściwości hydrofizyczne gleb są trudno mierzalne, wymagają użycia specjalistycznej i drogiej aparatury, są również czasochłonne. Dlatego też istniejące ich zbiory są nieliczne i rozproszone. Znajdują się one w poszczególnych placówkach naukowych jako wyniki prowadzonych tam badań. Są one również trudne do interpretacji i porównań ze względu na stosowanie różnej metodyki badań, co w szczególności dotyczy współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej [1-3,5,10,13,24,26,29-32,34-37,44,48,52].

Problem stworzenia banku danych o hydrofizycznych właściwościach gleb, jako bardzo istotny, został podjęty przez komisje naukowe Unii Europejskiej. W wyniku konieczności rozpoczęcia wspólnej strategii działania w tym zakresie, w roku 1995 powstał projekt "Using existing data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning", w którym uczestniczyło 18 instytutów naukowych z krajów Unii Europejskiej. Jego zadaniem było utworzenie wspólnej bazy danych hydrofizycznych charakterystyk gleb w oparciu o istniejące w poszczególnych krajach wyniki pomiarów [53,54]. W Polsce, w latach 1998-2001 w Instytucie Agrofizyki PAN, zrealizowano projekt badawczy, finansowany przez Komitet Badań Naukowych, pt. „Opracowanie bazy danych i map hydrofizycznych właściwości gleb ornych Polski", który jest kompatybilny z założeniami banku o hydrofizycznych właściwościach gleb Unii Europejskiej [27,28,38,40-43,49-51].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie opracowanych założeń tworzenia bazy danych oraz map hydrofizycznych charakterystyk gleb ornych Polski. Cel badawczy realizowano w następujących zadaniach:

- dobór reprezentatywnych profili mineralnych gleb ornych Polski,
- dobór i adaptacja aparatury oraz metod pomiarowych hydrofizycznych charakterystyk gleby,
- stworzenie bazy danych,
- opracowanie map komputerowych i przestrzenna charakterystyka hydrofizycznych właściwości mineralnych gleb ornych Polski.

2. DOBÓR MATERIAŁU GLEBOWEGO

Postawiony cel badawczy, tj. charakterystyka hydrofizycznych właściwości mineralnych gleb ornych Polski, wymagał pozyskania próbek glebowych z reprezentatywnego pod względem zmienności i zróżnicowania gleb, zestawu profili glebowych z obszaru całej Polski. Rozwiązanie tego problemu wymagało przyjęcia racjonalnego kompromisu między liczebnością badanych profili gleb i pobranych z nich próbek, spełniającą kryteria statystyczne, a środkami, które można było przeznaczyć na realizację przedsięwzięcia, polegającego na utworzeniu banku próbek glebowych [4,23].

Według stosowanej w Polsce systematyki [33] podział gleb na taksonomiczno-elemetarne jednostki glebowe jest zbyt szczegółowy dla celu niniejszej pracy. Dlatego też, ze względów ekonomicznych i organizacyjnych, przyjęto założenie, aby zebrane próbki pozwoliły na dokonanie charakterystyki ważniejszych gleb wywierających znaczący wpływ na warunki uprawy oraz potrzeby usprawnienia gleb ornych. Dla spełnienia tego warunku wytypowano 1000 reprezentatywnych profili gleb zlokalizowanych na terenie Polski, adekwatnie do zmienności i zróżnicowania pokrywy glebowej tak, aby umożliwiły dokonywanie ocen i kartograficzną ich prezentację na mapach w skali 1:1 500 000 do 1:2 500 000.

Dane o strukturze pokrywy glebowej zaczerpnięto z zestawień liczbowych zawartych w opracowaniu „Rolnicza przestrzeń produkcyjna Polski w liczbach" [46]. Na podstawie zastosowanego w tym opracowaniu podziału taksonomicznego mineralne gleby ome zostały zagregowane w 25 grup o zbliżonych właściwościach (Tab. 1). Reprezentują one wg klasyfikacji FAO: Nr 1-2: Rendzinas; Nr 3: Phaeozems; Nr 4-19: Cambisols, Luvisols and Podzols, Nr 20-22: Fluvisols i Nr 23-24: Gleysols. Wśród gleb ornych znajdują się niewielkie powierzchnie (0,7% w skali kraju) gleb będących na pograniczu mineralnych i organicznych. W kartografii glebowo-

rolniczej wydzielono je w grupie murszastych i murszowatych (Nr 25 w Tab. 1) nazywanych najczęściej piaskami murszastymi (Histic Haplaquolls) zaliczanymi do gleb zbożowo-pastewnych słabych (kompleks 9).

Zagregowane grupy gleb charakteryzują się zróżnicowanym obszarem występowania w kraju, który waha się w przedziale od 380 km^2 do 40 980 km^2. Spowodowało to konieczność ustalenia liczebności profili, które reprezentować będą poszczególne zagregowane grupy z zachowaniem odpowiedniej proporcjonalności. Przyjęto więc, że liczba profili reprezentować będzie gleby, których udział powierzchniowy nie przekracza wartości średniej przypadającej na jedną jednostkę glebową. Dodano do niej dwa profile gleby, aby zabezpieczyć się przed ewentualnymi przypadkami losowymi, tj. uszkodzeniem próbek, błędami w identyfikacji gleby.

Kolejnym etapem prac było rozwiązanie problemu lokalizacji badanych profili glebowych. Wymaga ono znajomości podstawowych atrybutów:

- kartograficznego odwzorowania struktury pokrywy glebowej w postaci mapy gleb,
- powierzchniowego udziału jednostek glebowych w strukturze pokrywy glebowej kraju.

Przeprowadzona analiza wykazała, że jedynym dostępnym źródłem informacji dla opracowania schematu rozmieszczenia badanych profili gleb jest opracowanie „Rolnicza przestrzeń produkcyjna Polski w liczbach„ [46]. Zawiera ono strukturę powierzchniową zagregowanych grup gleb według kompleksów rolniczej przydatności w obrębie poszczególnych województw (wg podziału administracyjnego Polski sprzed 1975 roku). Tak więc strukturę przestrzennego rozmieszczenia badanych profili utworzono poprzez wskazanie z których jednostek glebowych powinny być pobrane próby w obrębie tych województw i jaka liczba profili powinna je reprezentować. Dalszej lokalizacji profili badanych gleb na tle struktury pokrywy glebowej dokonano w oparciu o mapę glebowo-rolniczą lub mapy gleb w skali 1:500 000 i 1:300 000. W związku z różnorodnością morfologicznej budowy profili gleb i zróżnicowanymi sekwencjami poziomów glebowych, dla ujednolicenia sposobu wykonywania map, kartograficzną prezentację ich właściwości oparto na podziale profili gleb na trzy warstwy:

- warstwa orna, określana jako powierzchniowa, odpowiadająca poziomowi orno-próchnicznemu,
- warstwa podoma, nazywana poziomem podpowierzchniowym, wyróżniająca się przewagą procesów mineralizacji doprowadzanej do niej materii organicznej,
- warstwa podglebia (podścielająca), z przewagą naturalnych cech mineralnego substratu gleby.

Kierując się powyższymi przesłankami metodycznymi przeprowadzono badania terenowe dokumentując je:

- lokalizacją badanego profilu gleby na mapie topograficznej,
- opisem morfologicznych cech gleb,
- pobraniem próbek gleby, o nienaruszonej strukturze do standardowych cylindrów o pojemności 100 cm^3 i wysokości 5 cm, z ważniejszych poziomów diagnostycznych w obrębie warstwy powierzchniowej (ornej), podpowierzchniowej (podornej) i podglebia.

Uzyskany materiał dokumentacyjny i glebowy posłużył do założenia banku próbek glebowych [4]. Z zebranych w banku próbek glebowych wytypowano 290 profili reprezentujących zgeneralizowane jednostki glebowe z przeznaczeniem do badań hydrofizycznych właściwości gleb, kierując się jednorodnością danej grupy gleb oraz obszarem przez nie zajmowanym (Tab. 1). Ze względu na adekwatność oznaczeń zdecydowano podzielić jednostki glebowe wymienione w Tabeli 1 pod numerami 7, 8, 9 i 13 na podgrupy gleb brunatnych (a) i pseudobielicowych (b), co skutkuje w dalszej części pracy zwiększeniem liczby jednostek glebowych do 29.

Tabela 1. Zestawienie liczbowe dotyczące jednostek i badanych profili glebowych* [4,40]
Table 1. Quantity combination of the soil units and the investigated soil profiles* [4,40]

Zgeneralizowane jednostki glebowe	Powierzchnia		Symbole reprezentatywnych gleb wg mapy glebowo-rolniczej	Liczba badanych profili
	Tys. ha	%		
1	2	3	4	5
1. Rędziny "czyste"	190	1,2	R_c gsp.sk	10
2. Rędziny "mieszane"	45	0,3	R_b pgm-gs.sk	16
3. Czarnoziemy	236	1,5	Cli	8
4. Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słaboglinia-stych i luźnych	4098	27,0	Bps.pl, Bps:pl, Bpl	33
5. Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	163	1,1	Bpgl.ps, Bpgl.pl	9
6. Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	605	4,0	Bpgm.pgl	6
7. Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	1858	12,2	Bpgl:gl, Apgl:gl	41

c.d. **Tabeli 1.**

8.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	1897	12,5	Bpgm.gl,Apgm.gl	15
9.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	937	6,2	Bgl, Agl.gs	18
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	121	0,8	Bgs.gc	6
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	570	3,8	Bgl:ps	7
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	88	0,6	Bżp	7
13.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone pyłów wodnego pochodzenia	739	4,9	Bplg, Aplg.gl	13
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	1056	6,9	Bli	10
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	50	0,3	Bi	6
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	168	1,1	Bgs.sk, Bpli.sk	10
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	192	1,3	Bgcp:sk, Agsp.gc	5
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	38	0,3	Bi:sk	5
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	201	1,3	Bpli:sk	9
20.	Mady średnie i ciężkie	505	3,3	F_b gsp, F_ci	12
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	211	1,4	$F_b$pglp.ps	11
22.	Mady lekkie i średnie	70	0,4	$F_b$plg	8
23.	Czarne ziemie	660	4,3	Dglp, Dpli	12
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	394	2,6	Dpgl.pl	7
25.	Gleby murszaste i murszowate	114	0,7	Mps.pl, Mpl	6
	RAZEM:	15206	100		290

*nazewnictwo wg opracowania [4] (wg klasyfikacji PTGleb. nazwie „gleby pseudobielicowe" odpowiada określenie „gleby płowe").

3. METODYKA BADAŃ

3.1. Retencja wodna

Pomiary retencji wodnej gleb wykonano w procesie osuszania dla 11 wartości potencjału wody glebowej w zakresie od 0,1 $kJ \cdot m^{-3}$ do 1 500 $kJ \cdot m^{-3}$. Wartości potencjału wody glebowej, dla których wykonano pomiary były następujące i odpowiadały pF:

- 0,1 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 0;
- 1 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 1;
- 3,16 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 1,5;
- 9,8 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 2;
- 16 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 2,2;
- 31 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 2,5;
- 50 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 2,7;
- 100 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 3;
- 155 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 3,2;
- 500 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 3,7;
- 1500 $kJ \cdot m^{-3}$ - pF 4,2.

Pomiary wykonano przy użyciu zestawu pomiarowego LAB 012 firmy SoilMoisture Equipment Corporation, Santa Barbara, California,USA [7].

W niniejszym opracowaniu wilgotność (zawartość wody) przy poszczególnych wartościach potencjału wody glebowej wyrażono w [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$], gdyż ilość wody wiązanej różnymi siłami w jednostkowej objętości gleby określa możliwości poboru wody przez rośliny z profilu gleby obejmowanego systemem korzeniowym oraz umożliwia bilansowanie zasobów wodnych w różnych warstwach profilu glebowego.

3.2. Przewodnictwo wodne

Wartości współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej gleb (przepuszczalność wodną gleby) wyznaczono przy użyciu aparatu do pomiaru przepuszczalności wodnej firmy Ejkelkamp, Agrisearch Equipment, Holandia [8].

Wyznaczenie współczynników przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej wykonano metodą profili chwilowych, opartą na pomiarze wilgotności i potencjału wody glebowej w wybranych warstwach próbki glebowej przy pomocy zestawu pomiarowego TDR w procesie osuszania [17-20,45]. Pomiary wykonywane były w standardowych cylindrach z glebą, w których na wysokości 1, 2,5 i 4 cm od dołu zostały nawiercone otwory i zainstalowane sondy TDR mierzące wilgotność

oraz mikrotensjometry mierzące potencjał wody glebowej. Próbki glebowe nasycano wodą do pełnej pojemności wodnej i pozostawiano przykryte na 24 godziny w celu uzyskania równowagi termodynamicznej. Następnie próbki odkrywano i monitorowano wilgotność oraz potencjał wody glebowej w procesie parowania. Miernik TDR współpracował z komputerem, dlatego też pomiar odbywał się automatycznie, a zmierzone wartości wilgotności i potencjału wody glebowej były rejestrowane na nośniku komputerowym. Uzyskane z pomiarów dane o dynamice profili wilgotności i potencjału wody glebowej w czasie i przestrzeni pozwoliły wyznaczyć, m. in. współczynniki przewodnictwa wodnego.

Zakładając, że proces ruchu wody jest jednowymiarowy oraz odbywa się w warunkach izotermiczych do wyliczenia współczynnika przewodnictwa wodnego można użyć jednowymiarowego równania Darcy [6,15]:

$$q(z,t) = -k(\psi)\left(\frac{\partial\psi(z,t)}{\partial z} - 1\right)$$

oraz równania umożliwiającego wyliczenie strumieni z danych eksperymentalnych:

$$q(z,t) = -\int_{z=z_0}^{z} \frac{\partial\theta(z,t)}{\partial t} dz$$

Porównując powyższe równania otrzymamy związek umożliwiający wyznaczenie współczynnika przewodnictwa wodnego:
gdzie:

$$k(\psi) = \frac{\int_{z=z_0}^{z} \frac{\partial\theta(z,t)}{\partial t} dz}{\left(\frac{\partial\psi(z,t)}{\partial z} - 1\right)}$$

$q(z,t)$ – strumień wody przepływający w określonym czasie przez wybraną powierzchnię próbki glebowej [cm·doba^{-1}];
$k(\Theta)$ – współczynnik przewodnictwa wodnego [cm·doba^{-1}];
$\Theta(z,t)$ – zawartość wody (wilgotność) w wybranej warstwie próbki w określonym czasie[% m^3·m^{-3}];
$\Psi(z,t)$ – potencjał wody glebowej w wybranej warstwie próbki w określonym czasie [wyrażony wysokością słupa wody w cm].

Pomiary współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej gleb przeprowadzono do wartości potencjału wody glebowej odpowiadającego około 100 $kJ \cdot m^{-3}$ (~pF 3) [19].

3.3. Dobór wartości charakteryzujących stan energetyczny wody w glebie

Właściwości hydrofizyczne badano w 290 wybranych profilach gleb (Tab. 1) odrębnie w trzech warstwach profilu gleby: powierzchniowej, podpowierzchniowej i podglebia z uwzględnieniem zróżnicowania tych właściwości w zależności od wartości potencjału wody glebowej, charakteryzujących zachowanie wody w profilu gleby i jej dostępność dla roślin. W niniejszym opracowaniu przyjęto jako punkty rozgraniczające poszczególne kategorie zdolności retencyjnych gleb następujące wartości potencjału wody glebowej (pF)[6,15,55]:

- 0,1 $kJ \cdot m^{-3}$ (pF 0) - pełne nasycenie wodą gleby, (ekwiwalentna średnica porów glebowych > 1200 μm);
- 16 $kJ \cdot m^{-3}$ (pF 2,2) - polową pojemność wodną, (ekwiwalentna średnica porów glebowych = 18,5 μm);
- 100 $kJ \cdot m^{-3}$ (pF 3) - punkt początku hamowania wzrostu roślin, (ekwiwalentna średnica porów glebowych = 3 μm;
- 1500 $kJ \cdot m^{-3}$ (pF 4,2) - punkt trwalego więdnięcia roślin, (ekwiwalentna średnica porów glebowych = 0,2 μm).

Zmienność zdolności retencjonowania wody w glebach wyrażono różnicą jej zawartości w przedzialach potencjałów wody (pF):

- W(pF 0) - W(pF 2,2) – zasoby wody wolnej - grawitacyjnej,
- W(pF 2,2) - W(pF 4,2) - zasoby wody użytecznej dla roślin,
- W(pF 2,2) - W(pF 3) - zasoby wody łatwo dostępnej dla roślin,
- W(pF 3) - W(pF 4,2) - zasoby wody trudno dostępnej dla roślin.

Przewodnictwo wodne odniesiono do stanów nasycenia wodą gleby odpowiadającego:

- pełnemu nasyceniu (~pF 0),
- polowej pojemności wodnej (pF 2,2),
- początkowi hamowania wzrostu roślin (pF 3).

Takie ujęcie wyników badań umożliwiło wykonanie 33 map statycznych i dynamicznych charakterystyk hydrofizycznych mineralnych gleb ornych Polski.

4. BAZA DANYCH O HYDROFIZYCZNYCH CHARAKTERYSTYKACH MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

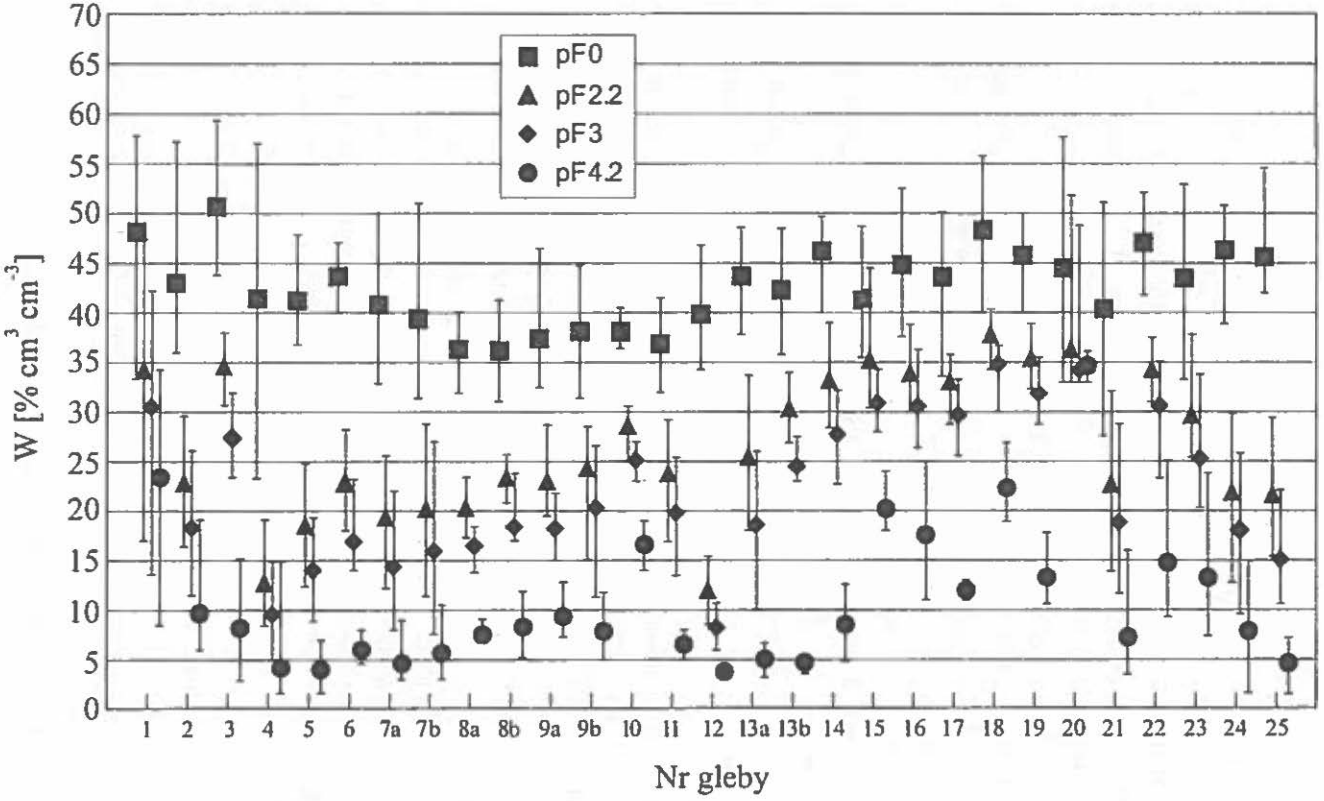
Baza danych o hydrofizycznych charakterystykach gleb ornych Polski to zestawiony w formie tabelarycznej zbiór wartości prezentujący właściwości poszczególnych jednostek glebowych. Każdą z nich dokumentują trzy tabele dotyczące wyróżnionych warstw gleby (orna, podorna, podglebie) w których dla profili gleb charakteryzujących daną jednostkę podano w kolumnach numery pobranych cylindrów oraz nazwę badanej właściwości, a w wierszach zapisano uzyskane wyniki. Bazę danych tworzą więc trzy zestawy po 87 tabel.:

- pierwszy zestaw zawiera dane dotyczące zagęszczenia oraz wilgotności (zawartości wody) w jednostkach masy [% $g \cdot g^{-1}$] przy badanych wartościach potencjału wody glebowej (pF 0 – pF 4,2),
- drugi zestaw zawiera dane dotyczące zagęszczenia i wilgotności (zawartości wody) w jednostkach objętości [% $m^3 \cdot m^{-3}$] przy badanych wartościach potencjału wody glebowej (pF 0 – pF 4,2),
- trzeci zestaw zawiera natomiast wartości współczynnika przewodnictwa wodnego [$cm \cdot doba^{-1}$] przy badanych wartościach potencjału wody glebowej (pF 0 – pF 3).

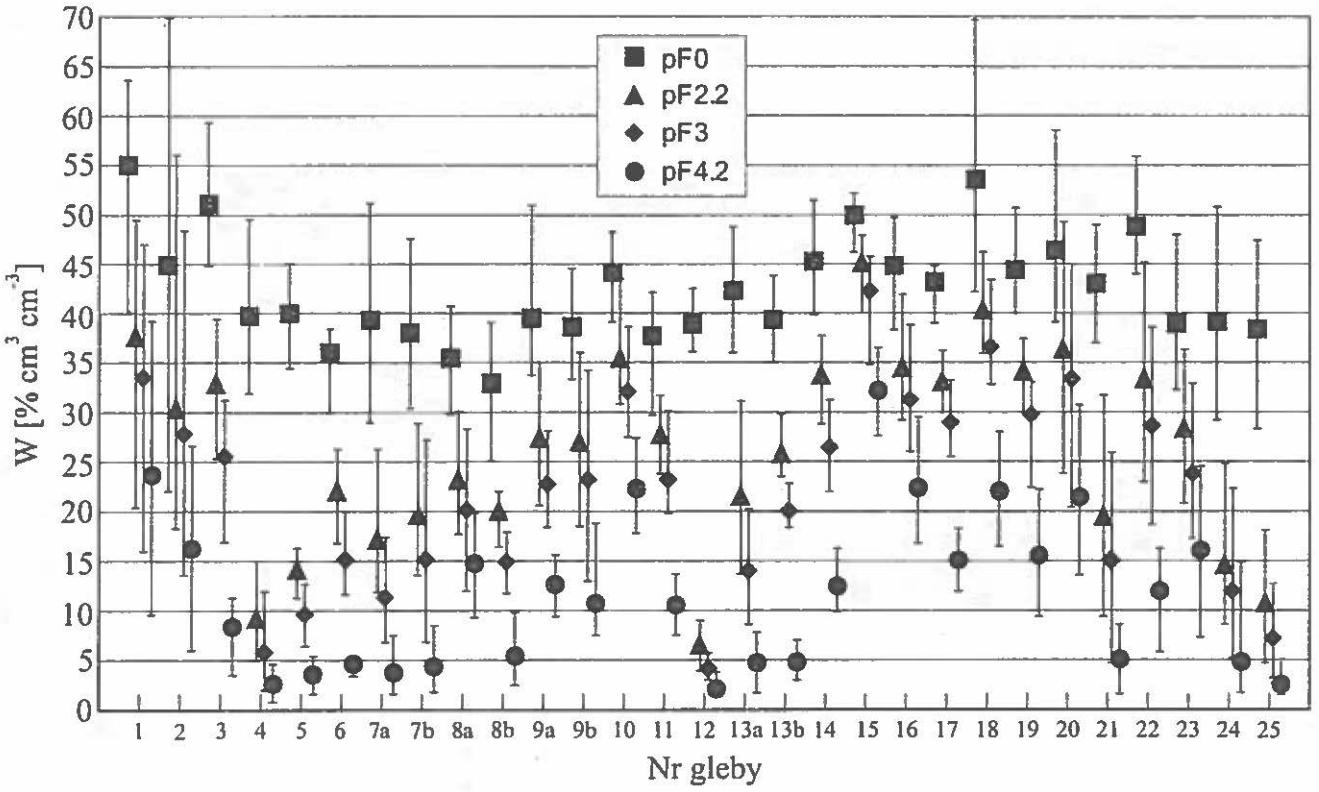
Ponadto w bazie znajdują się również wyliczone wartości średnie badanych parametrów dla poszczególnych charakterystyk hydrofizycznych w ramach zgeneralizowanych jednostek glebowych.

Zaczerpnięte z bazy danych wartości średnie posłużyły do opracowania map hydrofizycznych właściwości mineralnych gleb ornych Polski, tj. ich przestrzennej charakterystyki. Wartości średnie zostały także użyte do określenia potencjalnych zasobów wody (retencyjności wodnej), tj. wyliczenia ilości wody wolnej – grawitacyjnej, wody użytecznej dla roślin, wody łatwo i trudno dostępnej dla roślin, co jest równoznaczne z wyznaczeniem ilości makro-, mezo- i mikroporów w glebach.

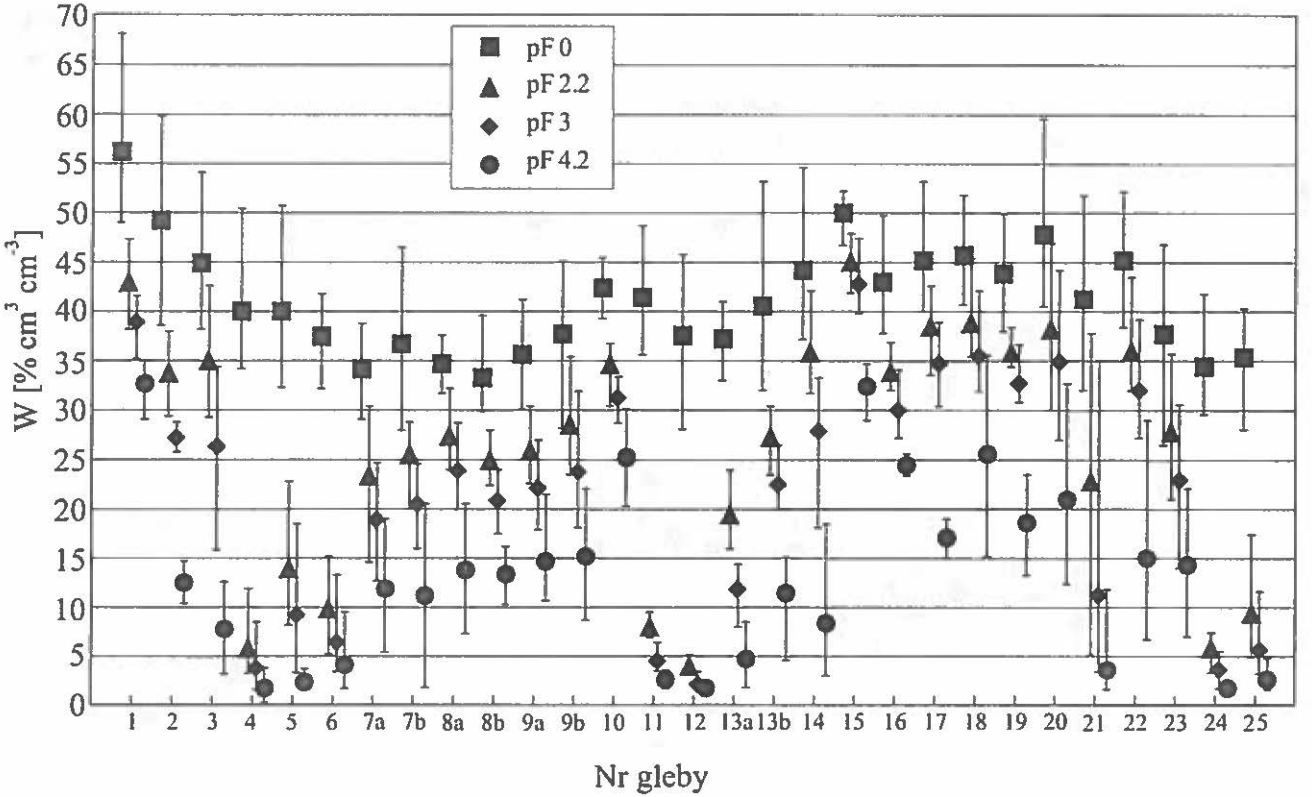
W celu zobrazowania zmienności badanych parametrów hydrofizycznych ich wartości ekstremalne, tj. maksymalne i minimalne, na tle wartości średnich, przedstawiono na Rys. 1 - 6. Analiza przebiegu wykresów na Rys. 1 - 6 potwierdza tezę, że zmienność wartości badanych właściwości hydrofizycznych jest ogromna. W przypadku retencji wodnej wartości ekstermalne mieszczą się w granicach od 70% przy pF 0 dla czarnoziemów do 0,5% przy pF 4,2 dla gleb brunatnych i pseudobielicowych wytworzonych ze żwirów oraz brunatnych, rdzawych i bielicowych wytworzonych z piasków slabogliniastych i luźnych.



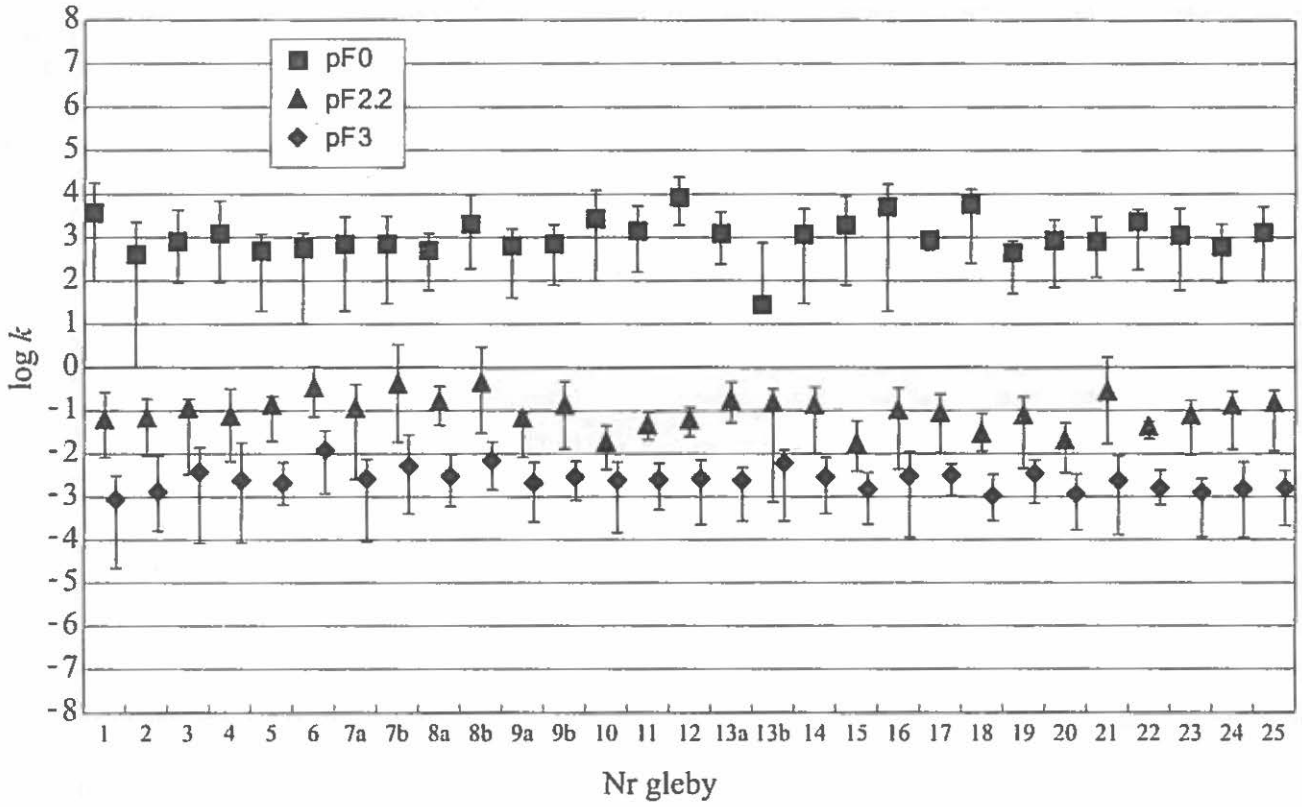
Rys. 1. Maksymalne, średnie i minimalne wartości wilgotności (W) przy pF 0; pF 2,2; pF 3 i pF 4,2 dla warstwy ornej badanych gleb.
Fig. 1. Maximal, mean and minimal values of water content (W) at pF 0, pF 2.2; pF 3 and pF 4.2 for arable layer of investigated soils.



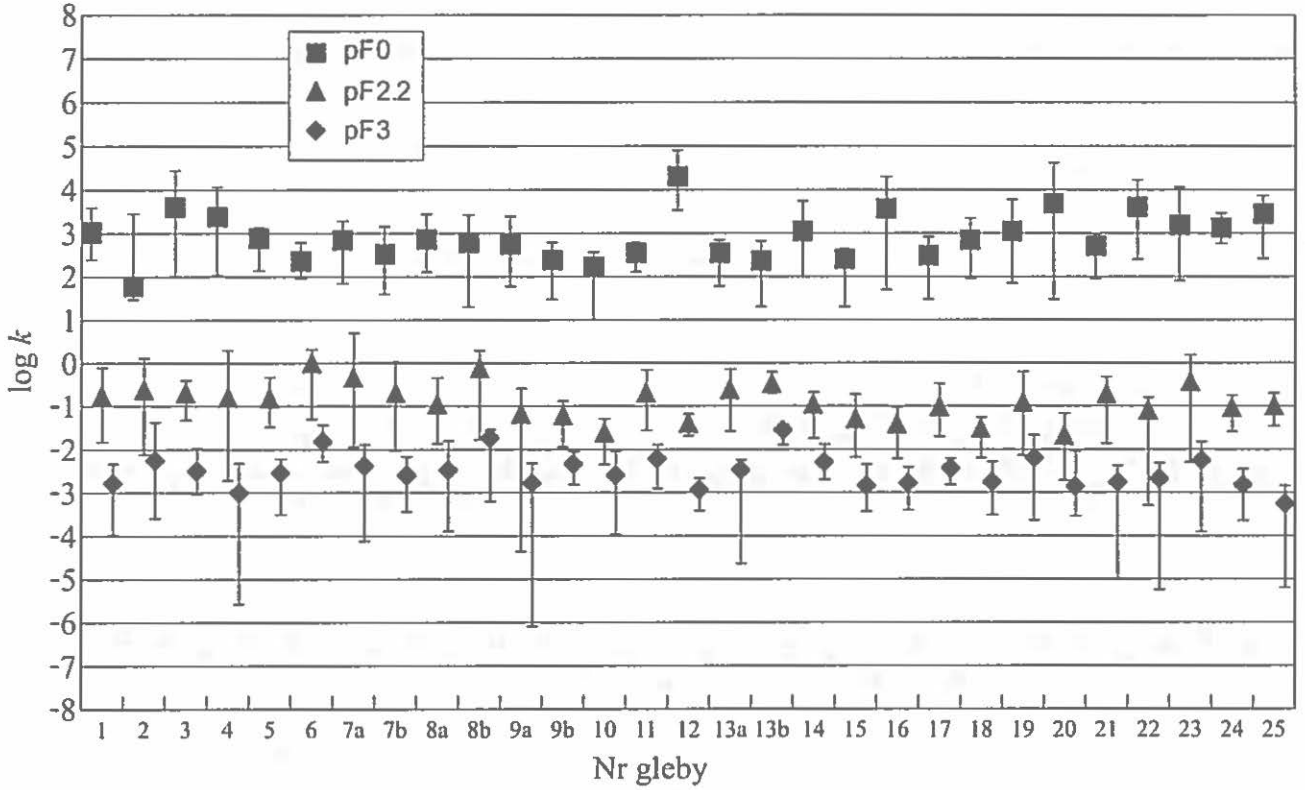
Rys. 2. Maksymalne, średnie i minimalne wartości wilgotności (W) przy pF 0; pF 2,2; pF 3 i pF 4,2 dla warstwy podornej badanych gleb.
Fig. 2. Maximal, mean and mininal values of water content (W) at pF 0, pF 2.2, pF 3 and pF 4.2 for subsurface layer of investigated soils.



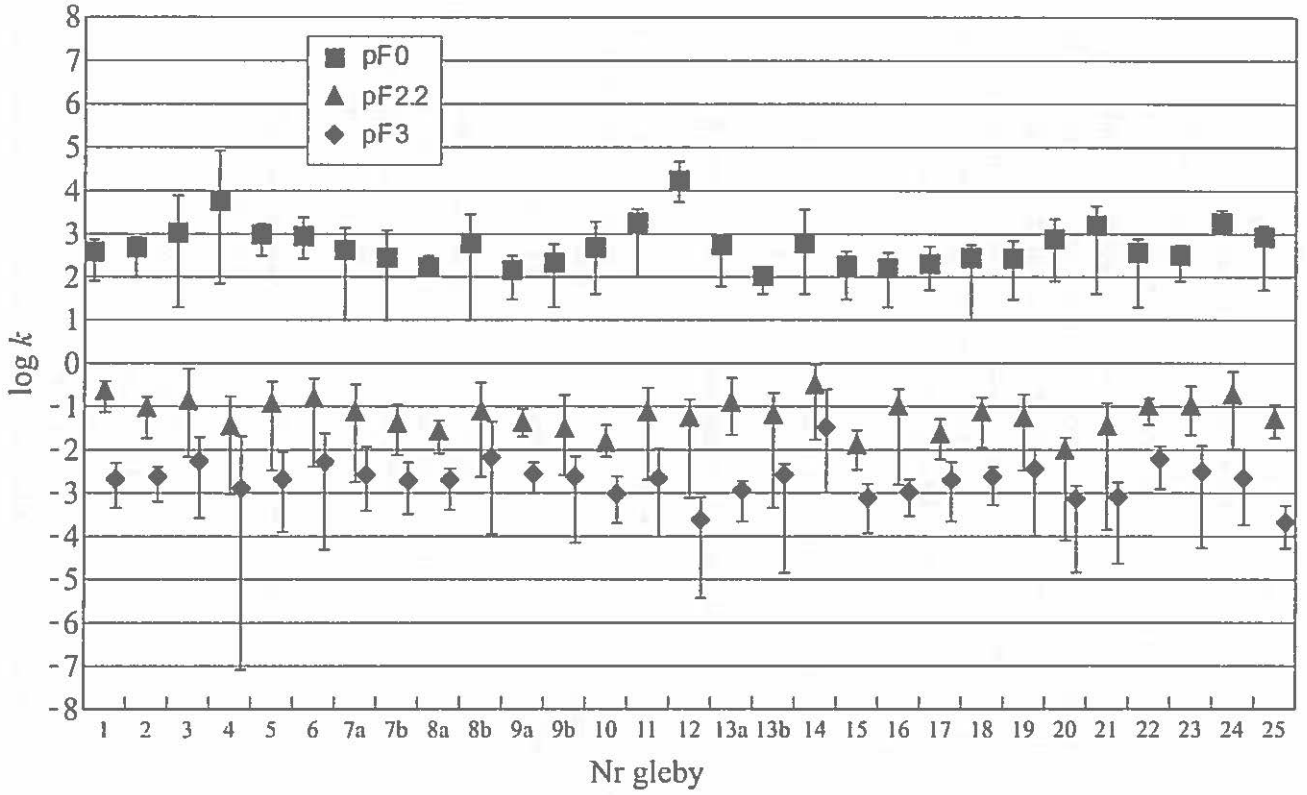
Rys. 3. Maksymalne, średnie i minimalne wartości wilgotności (W) przy pF 0; pF2,2; pF 3 i pF 4,2 dla podglebia badanych gleb.
Fig. 3. Maximal, mean and minimal values of water content at pF), pF2.2, pF 3 and pF 4.2 for subsoil of investigated soils.



Rys. 4. Maksymalne, średnie i minimalne wartości przewodnictwa wodnego (*k*) przy pF 0; pF 2,2 i pF 3 dla warstwy ornej badanych gleb.
Fig. 4. Maximal, mean and minimal values of water conductivity (*k*) at pF 0, pF 2.2 and pF 3 for arable layer of investigated soils.



Rys. 5. Maksymalne, średnie i minimalne wartości przewodnictwa wodnego (*k*) przy pF 0; pF 2,2 i pF 3 dla warstwy podornej badanych gleb.
Fig. 5. Maximal, mean and minimal values of water conductivity (*k*) at pF), pF 2.2 and pF 3 for subsurface layer of investigated soils.



Rys. 6. Maksymalne, średnie i minimalne wartości przewodnictwa wodnego (k) przy pF 0; pF 2,2 i pF 3 dla podglebia badanych gleb.
Fig. 6. Maximal, mean and minimal values of water conductivity (k) at pF 0, pF 2.2 and pF 3 for subsoil of investigated soils.

Jeszcze większy zakres zmienności odnotowano w przypadku współczynnika przewodnictwa wodnego, którego wartości ekstremalne - 82 800 cm·doba^{-1} przy pF 0 i 0,00000008 cm·doba^{-1} przy pF 3 odnotowano, podobnie jak minimalną retencję, w glebach brunatnych, rdzawych i bielicowych wytworzonych z piasków oraz brunatnych i pseudobielicowych wytworzonych ze żwirów

Reasumując można stwierdzić, że utworzona baza danych umożliwia określenie zakresów zmienności uwilgotnienia gleb Polski oraz ich zdolności do przewodzenia wody wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami chemicznymi, a także może być wykorzystana do badania zależności pomiędzy parametrami fazy stałej gleby a jej właściwościami hydrofizycznymi oraz w hydrologicznych modelach symulacyjno-prognostycznych jako źródło parametrów wejściowych. Umożliwia również, co jest dużą zaletą tego opracowania i jest zgodne z panującymi w Polsce i na świecie trendami, przenoszenie danych charakteryzujących punkty (profile) na obszary użytkowane rolniczo.

5. OPRACOWANIE KOMPUTEROWYCH MAP HYDROFIZYCZNYCH CHARAKTERYSTYK MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

5.1. Koncepcja kartograficzna map właściwości hydrofizycznych gleb

Mapy hydrofizycznych właściwości gleb omych Polski stanowią kartograficzną formę prezentacji przestrzennej gleb o zbliżonej retencyjności, zapasach wody oraz przewodnictwie wodnym. Koncepcja prezentacji kartograficznej hydrofizycznych właściwości gleb zakłada przedstawienie ich na 33 mapach ujętych w trzy grupy tematyczne:

- mapy retencji wody sporządzone w czterech wariantach w zależności od wartości potencjału wody glebowej, (zawartości wody przy pF 0; pF 2,2; pF 3 i pF 4,2);
- mapy zdolności retencyjnej gleb wykonane w czterech wariantach związanych z dostępnością wody dla roślin, (pF 0 – pF 2,2; pF 2,2 – pF 4,2; pF 2,2 – pF 3; pF 3 – pF 4,2);

mapy przewodnictwa wodnego wykonane w trzech wariantach określonych wartościami potencjału wody glebowej (pF), przy których odbywa się znaczący ruch wody (pF 0; pF 2,2 i pF 3).

Grupowanie jednostek glebowych o zbliżonej retencji przeprowadzono z zastosowaniem 5% przedziałów zawartości wody w glebie, natomiast zdolność retencyjną ujęto w 3% przedziały. Analiza danych charakteryzujących poszczególne jednostki glebowe wykazała, że zarówno w odniesieniu do wartości potencjału wody glebowej, jak i dostępności wody dla roślin jej zawartość w glebach ornych jest

zróżnicowana. Zakresy tego zróżnicowania nakładają się na siebie, ale nie są identyczne. Różnią się również w poszczególnych warstwach gleby. Prezentacja tej specyfiki uwzględniona została poprzez konstrukcję makiet barw użytych do oznaczenia tego zróżnicowania. Należy zaznaczyć, że przedziały zróżnicowania przewodnictwa wodnego przy różnych wartościach potencjału wody glebowej tworzą zakresy, które nie nakładają się na siebie, co również odzwierciedla barwna koncepcja mapy. Tak więc przyjęte rozwiązanie kartograficzne umożliwia zarówno analityczne jak i syntetyczne spojrzenie na hydrofizyczną charakterystykę gleb ornych pogłębioną o ujęcie regionalne odzwierciedlające specyfikę pokrywy glebowej kraju. Ze względu na charakter uogólnienia wyników ustalono, że mapy właściwości hydrofizycznych generowane będą w skali 1:2 500 000, co zapewniło dostateczną i wyrazistą czytelność struktury przestrzennej kartowanej właściwości gleby. Przyjęto, że kontury gleb o określonej właściwości oraz inne formy użytkowania terenu: dolinowe użytki zielone, większe obszary zabudowane (miasta), obszary leśne i śródlądowe zbiorniki wodne sygnalizowane będą poprzez wypełnienia barwne. Rozmieszczenie tych elementów, uzupełniających tematyczną treść mapy, daje dostateczną informację o przestrzennej lokalizacji w skali kraju, dlatego też do map właściwości hydrofizycznych nie wprowadzono treści topograficznej (drogi, sieć rzeczna, nazwy miast, itp.). W wyniku odpowiedniego rozmieszczenia mapy na arkuszu papieru w jego dolnym lewym rogu uzyskano dostatecznie dużą wolną przestrzeń, którą wykorzystano do zamieszczenia tytułu mapy i legendy. Treść legendy obejmuje:

- tytuł mapy,
- oznaczenia barwne i liczbowe przedziałów powierzchni właściwej gleb,
- oznaczenia innych form użytkowania terenu.

5.2. Makiety barwne map właściwości hydrofizycznych

Barwa odgrywa zasadniczą rolę w zapewnieniu właściwej komunikatywności i czytelności mapy tematycznej. Jest ona szczególnie preferowana w przypadku opracowywania map o niezbyt dużej liczbie wyróżnianych jednostek tematycznych. Przy znacznym zróżnicowaniu treści tematycznej, której barwna prezentacja zaciera zdolności optycznej percepcji niezbędne jest stosowanie symboli znakowych. Dają one możliwość identyfikacji znacznie większej liczby wyróżnień, która np. w przypadku mapy gleb osiągać może dziesiątki, a nawet setki jednostek glebowych. Ponieważ mapy hydrofizycznych właściwości gleb zawierają do 12 wyróżnień do ich identyfikacji użyto barw, a ich dobór oparto na następujących skojarzeniach mnemonicznych:

- retencja jest właściwością gleby, której zabarwienie kojarzy się z brązem, żółcieniami, ochrą (naturalną barwą profilu gleby);
- zasoby wody kojarzą się z wodą, która zwykle w kartografii oznaczana jest barwą niebieską;
- przewodnictwo wodne, które odnosi się do wody, ale zależy od właściwości przewodzących gleb, oznaczono sekwencją barw fioletowych.

Mapy różnicują retencję wody, kategorie zasobów wody oraz przewodnictwo wodne. Właściwości te badano przy różnych potencjałach wody glebowej w górnej, środkowej i dolnej części profilu glebowego.

Do grupowania jednostek glebowych użyto przedziałów wartości cech wspólnych dla wariantowanych uwarunkowań w obrębie poszczególnych właściwości. Stąd też makiety barwne oparto na podwójnym zróżnicowaniu kolorów. Przedziały wartości cech wyróżniono intensywnością barwy, a warstwy (powierzchniową, podpowierzchniową i podglebia) - odcieniami.

5.3. Budowa algorytmów przetwarzania i zasady generowania map

Na podstawie utworzonej baz danych o hydrofizycznych właściwościach gleb ornych Polski oraz bazy danych glebowo-kartograficznych wykonano zestaw map komputerowych wybranych hydrofizycznych właściwości gleb ornych Polski. Baza danych glebowo - kartograficznych służy do generowania map tematycznych powstających w wyniku agregacji jednostek glebowych charakteryzujących się podobieństwem ocen lub właściwości według przyjętego podziału klasyfikacyjnego.

Bazę danych glebowo - kartograficznych tworzy zestaw plików zawierających treść mapy glebowej i oprogramowanie potrzebne do przechowywania i tworzenia różnego rodzaju map pochodnych związanych z pokrywą glebową. Podstawowym plikiem bazy jest plik zawierający mapę rozmieszczenia jednostek glebowych. Zasadnicza funkcja systemu przetwarzania to grupowanie gleb w odpowiednie klasy, a następnie wypełnienie konturów wszystkich gleb wchodzących do danej klasy jednakową barwa. W wyniku powstaje kolorowa mapa tematyczna obrazująca rozmieszczenie klas. W matematycznym ujęciu rozwiązanie polega na topologicznym łączeniu konturów glebowych w jeden kontur tematyczny według zadanej funkcji przyporządkowania. Przy czym z tej samej mapy glebowej można otrzymać wiele map tematycznych poprzez wyżej wymienione działanie, tylko z innymi funkcjami przyporządkowywania gleb do odpowiednich klas. Przetwarzanie informacji kartograficznych uzupełnia procedura zliczania powierzchni klas i sporządzania zestawień tabelarycznych. Przy opracowywaniu systemu przyjęto wstępne założenie, że do komputera wprowadzona zostanie mapa gleb, a następnie na bazie tej mapy

automatycznie będą generowane mapy tematyczne poprzez zadawanie tabeli przekształceń (agregacji) jednostek glebowych w jednostki tematyczne.

Podstawę tworzenia komputerowego obrazu mapy z wykorzystaniem danych glebowo-kartograficznych zawartych w bazie danych jest procedura oparta na algorytmie:

$$<J_{gi} \in O_n, J_{g2}, O_n, ..., J_{gm} \in O_n> \in TJ_n$$

gdzie: TJ_n - n-ta jednostka tematyczna,

O_n - n-ta ocena gleby,

J_{gi}, ..., J_{gm} - jednostki glebowe należące do oceny n.

Powyższy algorytm o charakterze jednostkowym można wyrazić w formie uwzględniającej przestrzenny aspekt agregacji. Ponieważ w Bazie Danych Glebowo-Kartograficznych znajduje się informacja o lokalizacji i obszarze występowania zinwentaryzowanych jednostek glebowych zgodnie z zasadą że:

$$S_{Jg} = \sum_{1}^{i} pK_{Jg}$$

gdzie: S_{Jg} - powierzchnia jednostki glebowej,

pK_{Jg} - powierzchnia konturów tej jednostki,

i - liczba konturów tej jednostki,

to wyżej przedstawiony algorytm można zapisać w następującej postaci:

$$S_{Jgl} \in O_n + S_{Jg2} \in O_n +,.....,+ S_{Jgm} \in O_n = S_{TJn}$$

lub

$$\sum_{i=1}^{m} S_{Jgi} \in O_n = S_{TJn}$$

gdzie: S_{TJn} - powierzchnia jednostki tematycznej.

Druga postać algorytmu ma szczególnie ważne znaczenie przy tworzeniu tematycznych map pochodnych na bazie obrazu mapy gleb. Jak już wyżej wspomniano obraz mapy wynikowej uzyskuje się poprzez stosowanie procedury interakcyjnej. Odpowiada ona wizualnej kwalifikacji poszczególnych konturów glebowych z oznaczeniem jednostki glebowej generowanych na ekranie monitora do określonych ocen na podstawie uprzednio opracowanego klucza kwalifikacyjnego wynikającego z modelu oceny. Kwalifikacja ta realizowana jest poprzez nadanie konturom barw odpowiadających poszczególnym kategoriom oceny. Z kartograficznego punktu widzenia mamy do czynienia z dwoma rodzajami działań:

- zamianą merytorycznej treści w istniejącym konturze mapy bazowej,
- tworzenie konturu o nowej treści poprzez agregację sąsiadujących ze sobą konturów stanowiących treść mapy bazowej.

To drugie działanie występuje w przypadku, gdy sąsiadujące ze sobą kontury odnoszą się do jednostek glebowych zakwalifikowanych do tej samej kategorii oceny. W ten sposób wyjściowa mapa tematyczna jest redagowana na ekranie monitora, a następnie zapisana w formie obrazu rastrowego w pamięci komputera. Obraz ten jest następnie skalowany, lokalizowany geometrycznie na arkuszu oraz generowany w formie analogowej poprzez urządzenie rysujące lub drukujące. Sformułowana koncepcja kartograficzna oraz zasady funkcjonowania Bazy Danych Glebowo-Kartograficznych posłużyły do sporządzenia aplikacyjnego oprogramowania realizującego przetwarzanie danych i wydruk map hydrofizycznych właściwości gleb ornych [23,40].

6. CHARAKTERYSTYKA HYDROFIZYCZNYCH WŁAŚCIWOŚCI MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

6.1. Charakterystyka retencji wodnej

Wartości retencji wodnej w próbkach gleb należących do poszczególnych jednostek glebowych przyporządkowano pięcioprocentowym przedziałom w odniesieniu do trzech badanych warstw gleb. Takie przedstawienie wyników badań ułatwiło przeprowadzenie analizy porównawczej badanej właściwości, zarówno pod względem wielkości, jak i rozpoznania czynników warunkujących jej zmienność i zróżnicowanie.

6.1.1. Retencja wody przy nasyceniu (pF 0)

Wypełnienie gleby wodą do stanu pełnego nasycenia (pF 0) odpowiada jej całkowitej pojemności wodnej (CPW). Analizując dane Tabeli 2 można zauważyć, że przedstawione w niej wartości wskaźnikowe, wykazują dość dużą ich jednorodność. Przyjmując, że w systematycznie spulchnianej warstwie ornej gleb należy oczekiwać podwyższonej ilości makroporów, których objętość w znacznej mierze decyduje o całkowitej pojemności wodnej, w tej warstwie można się było spodziewać wyraźnie wyższej retencji całkowitej. Dane Tabeli 2 tego nie potwierdzają. Może to być spowodowane tym, że próbki o nienaruszonej strukturze pobierane były na przełomie wiosny i lata [4], tj. po okresie zimowego osiadania gleb [6,15,16,21].

Tabela 2. Parametryzacja retencji wody przy pF 0
Table 2. Paramatrisation of water retention at pF 0

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Retencja wody przy pF 0 w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot m^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	45 - 50	50 - 55	50 - 55
2.	Rędziny "mieszane"	40 - 45	45 - 50	45 - 50
3.	Czarnoziemy	50 - 55	50 - 55	40 - 45
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	40 - 45	35 - 40	35 - 40
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	40 - 45	35 - 40	35 - 40
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	40 - 45	35 - 40	35 - 40
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	40 - 45	35 - 40	30 - 35
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	35 - 40	35 - 40	35 - 40
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	35 - 40	35 - 40	30 - 35
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	35 - 40	25 - 30	30 - 35
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	35 - 40	35 - 40	35 - 40
9b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	35 - 40	35 - 40	35 - 40
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	35 - 40	40 - 45	40 - 45
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	35 - 40	35 - 40	40 - 45
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	35 - 40	30 - 35	30 - 35
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	40 - 45	40 - 45	35 - 40
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	40 - 45	35 - 40	40 - 45
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	45 - 50	45 - 50	40 - 45
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	40 - 45	45 - 50	50 - 55

c.d. **Tabeli 2.**

16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	40 - 45	40 - 45	40 - 45
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	40 - 45	45 - 50	45 - 50
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	4 5 - 50	45 - 50	45 - 50
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	45 - 50	40 - 45	40 - 45
20.	Mady średnie i ciężkie	40 - 45	45-50	45 - 50
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	40 - 45	40 - 45	40 - 45
22.	Mady lekkie i średnie	45 - 50	45 - 50	45 - 50
23.	Czarne ziemie	40 - 45	35 - 40	35 - 40
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	45 - 50	35 - 40	30 - 35
25.	Gleby murszaste i murszowate	45 - 50	35 - 40	35 - 40

Duża jednorodność cechuje CPW we wszystkich badanych warstwach profilu glebowego (ornej, podomej i podglebia). Tylko w rędzinach „właściwych" skrajne jej wartości osiągają 15% rosnąc w głąb profili gleby. Przeważnie zróżnicowanie CPW nie przekracza 5-10%.

Związek CPW z próchnicznością gleb zaznacza się niezbyt wyraźnie i tylko w przypadków czarnoziemów, czarnych ziem wytworzonych z piasków oraz gleb murszastych i murszowatych CPW warstwy próchnicznej jest wyższe niż w warstwach glebowych o ok. 10%. W pozostałych glebach różnica ta jest nieznaczna lub nie przekracza 5%. Niewielki jest również wpływ rozkładu granulometrycznego gleb na wartość całkowitej pojemności wodnej. Najniższe wartości CPW występują w glebach wytworzonych z glin, a CPW gleb piaskowych i pyłowych jest zbliżona. Podwyższonymi wartościami charakteryzują się rędziny i czarnoziemy oraz gleby w których CPW wzrastając w głąb profilu glebowego osiąga wartości 55%, np. brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów. Generalnie można stwierdzić, że średnia całkowita pojemność wodna w profilach gleb ornych Polski waha się od 25 do 55%.

6.1.2. Retencja wody odpowiadająca połowej pojemności wodnej (pF 2,2)

Wielkość retencji wodnej przy pF 2,2, nazywana połową pojemnością wodną (PPW) gleb wykazuje znaczne zróżnicowanie w odniesieniu do jednostek glebowych mieszczące się w przedziale od 3,9 (w podglebiu gleb brunatnych i pseudobielicowych wytworzonych ze żwirów) do 45,5% (w warstwie podornej gleb brunatnych i pseudobielicowych wytworzonych z iłów) oraz znacznie mniejsze, nie przekraczające 10%, w obrębie profili gleb poszczególnych jednostek glebowych (Tab. 3). Wyjątek stanowią gleby gliniaste niecałkowite na lżejszym podłożu, w których różnica PPW pomiędzy warstwami osiąga 20% [39].

Zmienność i zróżnicowanie PPW kształtują cztery czynniki: rozkład granulometryczny i jego jednorodność w profilu gleby, rodzaj utworu glebowego oraz zawartość próchnicy. Wartości PPW w najwyższym stopniu różnicuje rozkład granulometryczny. Oczywistym potwierdzeniem są wartości PPW gleb żwirowych (>5-15%) i iłowych (35-50%) oraz gleb o zróżnicowanej teksturze profilu, np. gleb brunatnych wytworzonych z glin, lekkich (15-30%) w porównaniu z glebami o jednorodnym rozkładzie granulometrycznym, np. czarnoziemy wytworzone z lessu (30-35%). PPW różnicuje dość wyraźnie również pochodzenie utworów macierzystych. Jako przykład przytoczyć można gleby wytworzone z pyłów (lessów, pyłów wodnego pochodzenia i pyłów wietrzeniowych gleb górskich). W glebach tych zaznacza się odmienność zróżnicowania PPW w obrębie profili gleb; gleby wytworzone z lessu wykazują względnie jednorodną PPW w profilu gleby, podczas gdy w glebach wytworzonych z pyłów pochodzenia wodnego PPW w głąb profilu gleby maleje, a w glebach wietrzeniowych wzrasta. Ujemnie na wartości PPW wpływa zawartość szkieletu, na co wskazuje porównanie PPW w warstwie podpowierzchniowej i w podglebiu gliniastych oraz szkieletowo-gliniastych gleb górskich. Wpływ zawartości próchnicy wyraża się w zawężeniu w warstwie powierzchniowej zróżnicowania PPW oraz w jej podwyższonych wartościach w stosunku do warstw głębszych. Przy ograniczonym zróżnicowaniu rozkładu granulometrycznego PPW warstwy powierzchniowej waha się w granicach 12,1- 37,8%, podczas gdy w podglebiu wynosi ono 3,9 - 45,1%. Równocześnie gleby o większej zawartości próchnicy, np. czarne ziemie lekkie, mają w warstwie powierzchniowej wyższe PPW niż gleby brunatne o zbliżonym rozkładzie granulometrycznym. Tendencję tą potwierdza również porównanie PPW warstwy powierzchniowej rędzin mieszanych i gleb brunatnych wytworzonych z piasków gliniastych. Zaciera się ona jednak w przypadku gleb wytworzonych z lessu (czarnoziemy i gleby brunatne). Być może dlatego, że różnice w zawartości próchnicy w warstwie powierzchniowej tych gleb nie są zbyt duże.

Tabela 3. Parametryzacja retencji wodnej przy pF 2,2
Table 3. Parametrisation of water retention at pF 2,2

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Retencja wodna przy pF 2,2, w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	30 – 35	35 – 40	40 –45
2.	Rędziny "mieszane"	20 – 25	30 – 35	30 – 35
3.	Czarnoziemy	30 – 35	30 – 35	30 – 35
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	5 – 10	5 – 10	5 – 10
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	15 – 20	10 – 15	10 – 15
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	20 – 25	20 – 25	5 – 10
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	15 – 20	15 – 20	20 – 25
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	20 – 25	15 – 20	25 – 30
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	20 –25	15 – 20	25 – 30
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	20 – 25	15 – 20	20 – 25
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	20 – 25	25 – 30	25 – 30
9b	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	20 – 25	25 – 30	25 – 30
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	25 – 30	35 – 40	30 – 35
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	20 – 25	25 – 30	5 – 10
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	10 – 15	5 – 10	<5
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	25 – 30	20 – 25	15 – 20
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	30 – 35	25 – 30	25 – 30
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	30 – 35	30 – 35	35 – 40
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	35 – 40	45 – 50	45 – 50

c.d. Tabeli 3.

16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	30 – 35	30 – 35	30 – 35
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	30 – 35	35 – 40	35 – 40
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	35 – 40	35 – 40	35 – 40
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pylowe	35 – 40	30 – 35	35 – 40
20.	Mady średnie i ciężkie	35 – 40	35 – 40	35 – 40
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	20 – 25	15 – 20	10 – 15
22.	Mady lekkie i średnie	30 – 35	30 – 35	35 – 40
23.	Czarne ziemie	25 – 30	25 – 30	25 – 30
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	20 – 25	10 – 15	5 – 10
25.	Gleby murszaste i murszowate	20 –25	10 – 15	5 – 10

Analiza bezwzględnych wartości PPW sugeruje podział gleb ornych na trzy grupy, tj.:

- gleby o niskich wartościach PPW (do 20%),
- gleby o średnich wartościach PPW (20 – 30%),
- gleby o wysokich wartościach PPW (powyżej 30%).

W grupie o najniższych wartościach PPW znajdują się gleby wytworzone z piasków, żwirów oraz mady lekkie i bardzo lekkie. Do grupy o najwyższej PPW można zaliczyć rędziny „czyste", czarnoziemy, mady średnie i ciężkie, gleby brunatne lessowe, iłowe oraz gleby wietrzeniowe (górskie). Pozostałe gleby, przeważnie wytworzone z utworów polodowcowych, należą do gleb o średniej retencyjności.

6.1.3. Retencja wody w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3)

Początek hamowania wzrostu roślin wywołany utrudnieniem pobierania przez nie wody z gleby parametryzuje potencjał wody odpowiadający pF 3. Analizując dane zestawione w Tabeli 4 należy stwierdzić, że retencja wodna gleb ornych odpowiadająca temu wskaźnikowi jest znacznie zróżnicowana. Określają ją wartości od 0-5% w podglebiu najlżejszych gleb piaskowych do 40 - 45% w głębszych warstwach gleb iłowych. Sugeruje to jej wyraźną zależność od rozkładu granulometrycznego gleb, a w szczególności od zawartości frakcji ilastej, kształtującej

w znacznej mierze strukturę mikroporów w glebach. Drugi czynnik różniący retencję wodną gleb przy pF 3 to zawartość próchnicy. Potwierdzają to wartości retencji warstwy omej w stosunku do podomej w czarnoziemach oraz w porównaniu z warstwą orną gleb brunatnych pseudobielicowych wytworzonych z lessów. Wpływ zawartości próchnicy pozomie niweluje wzrost procentowego udziału części ilastych w głębszych warstwach profilu gleby, np. gleby wytworzone z piasków zalegających płytko na glinie lub z glin spiaszczonych w wierzchnich warstwach, przyczyniając się do ograniczenia zróżnicowania retencji wodnej przy pF 3 w obrębie profilu gleby, które w zasadzie nie przekracza 10%. Najwyższą zdolnością retencji wody o ograniczonej dostępności dla roślin charakteryzują się gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów oraz rędziny „czyste", najmniejszą zaś gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków luźnych i słabogliniastych oraz żwirów.

Tabela 4. Parametryzacja retencji wodnej przy pF 3
Table 4. Paramatrisation of water retention at pF 3

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Retencja wodna przy pF 3 w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	30 - 35	30 – 35	35 – 40
2.	Rędziny "mieszane"	15 - 20	25 – 30	25 – 30
3.	Czarnoziemy	25 - 30	25 – 30	25 – 30
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	5 - 10	5 – 10	0 – 5
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	10 - 15	5 – 10	5 – 10
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	15 - 20	10 – 15	5 – 10
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	10 - 15	10 – 15	15 – 20
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	15 - 20	15 – 20	20 – 25
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	15 - 20	20 – 25	20 – 25
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	15 - 20	10 – 15	20 – 25
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	15 - 20	20 – 25	20 – 25
9b	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	20 – 25	20 – 25	20 – 25
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	25 - 30	30 – 35	30 – 35

c.d. **Tabeli 4.**

11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	15 – 20	20 – 25	0 – 5
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	5 – 10	0 – 5	0 – 5
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	15 – 20	10 – 15	10 – 15
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	20 – 25	15 – 20	20 – 25
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	25 – 30	25 – 30	25 – 30
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	30 – 35	40 – 45	40 – 45
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	30 –35	30 – 35	30 – 35
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	25 – 30	30 – 35	30 – 35
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	30 – 35	35 – 40	35 – 40
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	30 – 35	25 –30	30 – 35
20.	Mady średnie i ciężkie	30 – 35	30 – 35	30 – 35
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	15 – 20	10 – 15	10 –15
22.	Mady lekkie i średnie	30 – 35	25 – 30	30 – 35
23.	Czarne ziemie	25 – 30	20 – 25	20 – 25
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	15 – 20	10 – 15	0 – 5
25.	Gleby murszaste i murszowate	15 – 20	5 – 10	5 – 10

6.1.4. Retencja wody w punkcie trwałego więdnięcia roślin (pF 4,2)

Zestawione w Tabeli 5 wartości retencji wodnej gleb w punkcie trwałego więdnięcia roślin (pF 4,2) nasuwają szereg ciekawych wniosków z analizy porównawczej zawartych w niej danych. W pierwszym rzędzie uwypukla się wpływ rodzajów utworów z których wytworzyły się gleby oraz zachodzących w nich procesów glebotwórczych. Ilościowe zróżnicowanie retencji wodnej wyraźnie dzieli gleby na piaskowe, gliniaste i iłowe oraz wyróżnia gleby wietrzeniowe (górskie). Wartości retencji wodnej przy pF 4,2 są bardziej zróżnicowane w profilach gleb pseudobielicowych niż w brunatnych, co sugeruje wpływ procesów iluwiacji, a tym

Tabela 5. Parametryzacja retencji wodna przy pF 4,2
Table 5. Paramatrisation of water retention at pF 4.2

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Retencja wodna przy pF 3 w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	20 – 25	20 – 25	30 – 35
2.	Rędziny "mieszane"	5 – 10	15 – 20	10 – 15
3.	Czarnoziemy	5 – 10	5 – 10	5 – 10
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	0 – 5	0 – 5	0 – 5
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	0 – 5	0 – 5	0 – 5
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	5 – 10	0 – 5	0 – 5
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	0 – 5	0 – 5	10 – 15
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	5 – 10	0 – 5	10 – 15
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	5 – 10	10 – 15	10 – 15
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	5 – 10	0 – 5	10 – 15
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	5 – 10	10 – 15	10 – 15
9b	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	5 – 10	10 – 15	15 – 20
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	15 – 20	20 – 25	25 - 30
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	5 – 10	10 – 15	0 – 5
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	0 – 5	0 – 5	0 – 5
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	5 – 10	0 – 5	0 – 5
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	0 – 5	0 – 5	10 – 15
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	5 – 10	10 – 15	5 – 10
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	20 – 25	30 – 35	30 – 35
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	15 – 20	20 – 25	20 – 25

c.d. **Tabeli 5.**

17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	10 – 15	15 – 20	15 – 20
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	20 – 25	20 – 25	25 – 30
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	10 – 15	15 – 20	15 – 20
20.	Mady średnie i ciężkie	20 – 25	20 – 25	20 – 25
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	5 – 10	5 – 10	0 – 5
22.	Mady lekkie i średnie	10 – 15	10 – 15	10 – 15
23.	Czarne ziemie	10 – 15	15 – 20	10 – 15
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	5 – 10	0 – 5	0 – 5
25.	Gleby murszaste i murszowate	0 – 5	0 – 5	0 – 5

samym składu i zawartości minerałów ilastych. Retencja wody przy pF 4,2 charakteryzuje zawartość wody ściśle związanej z minerałami ilastymi, co potwierdza wysoka retencyjność rędzin „czystych" oraz gleb ilastych, a także niskie jej wartości w glebach pyłowych (szczególnie wodnego pochodzenia) przy stosunkowo wyższej zawartości frakcji ilastej niż w glebach piaskowych, których retencja wodna przy pF 4,2 nieznacznie różni się od gleb pyłowych. Porównanie retencji wodnej przy pF 4,2 w analogicznych warstwach gleb brunatnych i czarnoziemów wytworzonych z lessów i utworów lessowatych sugeruje przypuszczenie, że zwiększona retencja warstwy podornej gleb brunatnych związana jest z resyntezą minerałów ilastych w poziomie brunatnienia tych gleb oraz wiązaniem przez nie większej ilości cząstek wody. Porównując retencyjność warstwy ornej czarnych ziem wytworzonych z piasków z glebami murszastymi i murszowatymi można przypuszczać, że na zdolność retencjonowania wody przy pF 4,2 wpływa liofilność i liofobność próchnicy oraz jej związanie z mineralnymi komponentami gleby.

Jak już wspomniano najwyższą retencyjnością wody przy pF 4,2 (30-35%) charakteryzują się gleby wytworzone z iłów i rędziny „czyste", a najniższą gleby piaskowe i żwirowe (0-5%).

6.2. Charakterystyka zdolności retencyjnej (potencjalnych zasobów wody)

Wartości określające potencjalne zasoby różnych kategorii wody w próbkach gleb należących do poszczególnych jednostek glebowych przyporządkowano trzyprocentowym przedziałom z podziałem na trzy badane warstwy gleby. Stosując powyższą zasadę agregacji uzyskanych wyników badań, scharakteryzowano potencjalne zasoby wody zawartej w glebach ornych Polski, odpowiadające różnicy wartości pF w przedziałach: pF 0 – pF 2,2 (woda wolna - grawitacyjna), pF 2,2 – pF 4,2 (woda użyteczna dla roślin), pF 2,2 – pF 3 (woda łatwo dostępna dla roślin), pF 3 – pF 4,2 (woda trudno dostępna dla roślin).

6.2.1. Zasoby wody wolnej - grawitacyjnej (pF 0 - pF 2,2)

W glebach ornych, w warunkach występowania głębokiego poziomu wód gruntowych, wolna woda grawitacyjna odgrywa większą rolę w kształtowaniu dynamiki trójfazowego układu gleby niż w alimentowaniu roślin uprawnych. Jej zasoby decydują w znacznej mierze o przebiegu wymiany gazowej a w szczególności natlenienia gleb.

Rozkład ilościowy zasobów wolnej wody grawitacyjnej, jako wskaźnik o charakterze różnicowym, kształtuje się jednak odmiennie od zdolności retencyjnej gleb. Dane z Tabeli 6 wskazują, że zasoby te są odwrotnie proporcjonalne do zawartości drobniejszych (spławialnej i ilastej) frakcji granulometrycznuch w glebach. Potwierdza to najniższa zawartość wolnej wody grawitacyjnej w glebach wytworzonych z iłów (3-6%) oraz z glin ciężkich, a najwyższa (33-36%) w glebach wytworzonych z piasków luźnych i słabogliniastych oraz ze żwirów.

Zróżnicowanie potencjalnych zapasów wody grawitacyjnej jest tak duże, że ze względu na tę cechę gleby orne Polski podzielić można na trzy grupy:

- gleby o niskich zasobach wolnej wody wolnej - grawitacyjnej (przeważnie <12%),
- gleby o średnich zasobach wolnej wody wolnej - grawitacyjnej (przeważnie 12-21%),
- gleby o wysokich zasobach wolnej wody wolnej - grawitacyjnej (powyżej 21%).

Do grupy pierwszej należą, jak już wspomniano, gleby wytworzone z iłów i glin ciężkich, gleby wytworzone ze skał masywnych oraz mady średnie i ciężkie.

W grupie trzeciej, o najwyższych zasobach wody wolnej znalazły się gleby brunatne, rdzawe, bielicowe i czarne ziemie wytworzone z piasków oraz gleby murszaste i murszowate. Pozostałe gleby stanowią grupę o średnich zasobach wody wolnej - grawitacyjnej.

Tabela 6. Parametryzacja zasobów wody wolnej - grawitacyjnej
Table 6. Paramatrisation of free water

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Zasoby wody wolnej – grawitacyjnej w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	12 – 15	15 – 18	12 – 15
2.	Rędziny "mieszane"	18 – 21	12 – 15	15 – 18
3.	Czarnoziemy	15 – 18	18 – 21	9 – 12
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	27 – 30	30 – 33	33 – 36
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	21 – 24	24 – 27	24 – 27
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	18 – 21	12 – 15	27 – 30
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	21 – 24	21 – 24	9 – 12
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	18 – 21	18 – 21	9 – 12
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	15 – 18	12 – 15	6 – 9
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	12 – 15	9 – 12	6 – 9
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	12 – 15	12 – 15	9 – 12
9b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	12 – 15	9 – 12	9 – 12
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	9 – 12	6 – 9	6 – 9
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	12 – 15	9 – 12	33 – 36
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	27 – 30	30 – 33	33 – 36
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzeni	18 – 21	18 – 21	15 – 18
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	12 – 15	12 – 15	12 – 15
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	12 – 15	9 – 12	6 – 9

c.d. **Tabeli 6.**

15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	6 – 9	3 – 6	3 – 6
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	9 – 12	9 – 12	9 – 12
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	9 – 12	9 – 12	6 – 9
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	9 – 12	9 – 12	6 – 9
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	9 – 12	9 – 12	6 – 9
20.	Mady średnie i ciężkie	9 – 12	9 – 12	9 – 12
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	15 – 18	21 – 24	27 – 30
22.	Mady lekkie i średnie	12 – 15	15 – 18	9 – 12
23.	Czarne ziemie	12 – 15	9 – 12	9 – 12
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	21 – 24	24 – 27	27 – 30
25.	Gleby murszaste i murszowate	21 – 24	27 – 30	24 – 27

6.2.2. Zasoby wody użytecznej dla roślin (pF 2,2 - pF 4,2)

Ilość wody użytecznej dla roślin (potencjalnie użyteczna retencja – PUR) stanowi jeden z podstawowych wskaźników waloryzujących rolnicze właściwości gleb. W warunkach głębokiego występowania poziomu wód gruntowych i braku styczności warstwy korzeniowej ze strefą podsiąku kapilarnego decyduje ona o możliwości wegetacji roślin w okresach międzyopadowych. Analiza porównawcza uzyskanych wyników (Tab. 7) wskazuje, że skrajne wartości retencji użytecznej, 2,1% dla podglebia brunatnych gleb żwirowych i 27,2% dla podglebia czarnoziemów lessowych, różnią się trzynastokrotnie. Jednak PUR większości jednostek glebowych, z uwzględnieniem poszczególnych warstw, mieści się w przedziałach 12-15% i 15-18%. Skrajnie niskie wartości PUR: 0-3%, 3-6% i 6-9%, występują w glebach wytworzonych z piasku i żwiru, średnimi wartościami PUR charakteryzują się gleby wytworzone z iłów i pyłów ilastych, a najwyższymi wartościami PUR, ujętymi w przedziały 18-21%, 21-24%, 24-27% i 27-30%, charakteryzują się gleby wytworzone z pyłów. Przy czym w glebach wytworzonych z pyłów pochodzenia wodnego wartości PUR w głębszych warstwach maleją, a w glebach wytworzonych z pyłów pochodzenia eolicznego wzrastają. Zależność wielkości PUR od zawartości próchnicy potwierdza się tylko w ogólnych zarysach. Zawartość wody użytecznej

w rędzinach, które należą do gleb próchnicznych, jest niższa niż w innych glebach o podobnym rozkładzie granulometrycznym, co może wskazywać, że ważniejszą rolę w kształtowaniu zdolności retencjonowania wody użytecznej może odgrywać mineralny skład gleby. Analizując wartości PUR w poszczególnych warstwach gleb stwierdzić należy, że największe jej zróżnicowanie występuje w podglebiu, a najmniejsze w warstwie ornej. Zróżnicowanie PUR w obrębie profilu gleby zależy w znacznej mierze od kontrastowości rozkładu granulometrycznego poszczególnych jego części.

Tabela 7. Parametryzacja wody użytecznej dla roślin
Table 7. Parametrisation of the water useful for plant

Zgeneralizowane jednostki glebowe		Woda użyteczna w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
1		2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	30 – 35	35 – 40	40 – 45
2.	Rędziny "mieszane"	20 – 25	30 – 35	30 – 35
3.	Czarnoziemy	30 – 35	30 – 35	30 – 35
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	10 – 15	5 – 10	5 – 10
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	15 – 20	10 – 15	10 – 15
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	20 – 25	20 – 25	5 – 10
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	15 – 20	15 – 20	20 – 25
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	20 – 25	15 – 20	25 – 30
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	20 –25	15 – 20	25 – 30
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	20 – 25	15 – 20	20 – 25
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	20 – 25	25 – 30	25 – 30
9b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	20 – 25	25 – 30	25 – 30
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	25 – 30	35 – 40	30 – 35
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	20 – 25	25 – 30	5 – 10
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	10 – 15	5 – 10	<5

c.d. Tabeli 7.

13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	25 – 30	20 – 25	15 – 20
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	30 – 35	25 – 30	25 – 30
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	30 – 35	30 – 35	35 – 40
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	35 – 40	45 – 50	45 – 50
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	30 – 35	30 – 35	30 – 35
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	30 – 35	35 – 40	35 – 40
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	35 – 40	35 – 40	35 – 40
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	35 – 40	30 – 35	35 – 40
20.	Mady średnie i ciężkie	35 – 40	35 – 40	35 – 40
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	20 – 25	15 – 20	10 – 15
22.	Mady lekkie i średnie	30 – 35	30 – 35	35 – 40
23.	Czarne ziemie	25 – 30	25 – 30	25 – 30
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	20 – 25	10 – 15	5 – 10
25.	Gleby murszaste i murszowate	20 – 25	10 – 15	5 – 10

Potwierdzają to badania gleb brunatnych wytworzonych z glin podścielonych piaskami, w których zdolność retencjonowania wody w warstwie najgłębszej (piasek) jest trzykrotnie niższa niż w warstwie omej (glina).

Określając charakterystyczne wartości PUR, generalnie dla całych profili gleb ornych, można je podzielić na trzy grupy:

- gleby o niskiej retencji użytecznej (przewaga PUR < 12%);
- gleby o średniej retencji użytecznej (przewaga 12% < PUR < 21%);
- gleby o wysokiej retencji użytecznej (przewaga 21% < PUR < 30%).

Do pierwszej grupy należą gleby wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych oraz żwirów. Do grupy trzeciej gleby wytworzone z pyłów i lessów. Pozostałe gleby, charakteryzujące się średnimi zapasami wody dostępnej dla roślin, przeważają na obszarze naszego kraju.

6.2.3. Zasoby wody łatwo dostępej dla roślin (pF 2,2 – pF 3)

Ilość wody użytecznej dla roślin można podzielić na ilość wody łatwo dostępnej (w przedziale wartości pF 2,2 – pF 3) oraz trudno dostępnej dla roślin (pF 3 – pF 4,2). Porównując zapasy wody łatwo dostępnej dla roślin z wielkościami retencji użytecznej stwierdzić należy, że gleby orne Polski charakteryzują się stosunkowo niskimi zapasami wody łatwo dostępnej i małym ich zróżnicowaniem pomiędzy badanymi grupami jednostek glebowych. Jak wskazują dane z Tabeli 8 w większości przypadków zasoby te mieszczą się w przedziale 3-6%.

W ramach takiej jednorodności wyróżniają się czarnoziemy i gleby brunatne wytworzone z lessów oraz gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia (6-9%). Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że najniższe zasoby wody łatwo dostępnej dla roślin (0-3%) występują w glebach o skrajnie zróżnicowanej granulometrii, wytworzonych z iłów i żwirów oraz warstwy gleb o składzie piasku luźnego. Przyczyny takiego stanu są oczywiście różne, ale wynikać mogą ze zdolności utrzymywania wody siłami kapilarnymi występującymi w niewielkiej ilości mezoporów gleb ilastych oraz w przestrzeniach między ziarnami kwarcu lub skaleni w glebach piaskowych.

Z rolniczego punktu widzenia niska zawartość wody łatwo dostępnej uzasadnia małą odporność gleb na brak opadów atmosferycznych w kontekście zaspokojenia potrzeb wodnych roślin uprawnych w ciągu okresu wegetacyjnego.

Tabela 8. Parametryzacja wody łatwo dostępnej dla roślin
Table 8. Paramatrisation of the easy available water

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Woda łatwo dostępna dla roślin w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	3 – 6	3 – 6	3 – 6
2.	Rędziny "mieszane"	3 – 6	3 – 6	6 – 9
3.	Czarnoziemy	6 – 9	6 – 9	6 – 9
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	3 – 6	3 – 9	0 – 3
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	3 – 6	3 – 6	3 – 6
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	3 – 6	6 – 9	3 – 6

c.d. **Tabeli 8.**

7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	3 – 6	3 – 6	3 – 6
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	3 – 6	3 – 6	3 – 6
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	3 – 6	3 – 6	3 – 6
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	3 – 6	3 – 6	3 – 6
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	3 – 6	3 – 6	3 – 6
9b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	3 – 6	3 – 6	3 – 6
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	3 – 6	3 – 6	3 – 6
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	3 – 6	3 – 6	3 – 6
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	3 – 6	0 – 3	0 – 3
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	6 – 9	6 – 9	6 – 9
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	3 – 6	3 – 6	3 – 6
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	3 – 6	6 – 9	6 – 9
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	3 – 6	0 – 3	0 – 3
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	3 – 6	3 – 6	3 – 6
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	3 – 6	3 – 6	3 – 6
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	0 – 3	0 – 3	3 – 6
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	3 – 6	3 – 6	3 – 6
20.	Mady średnie i ciężkie	0 – 3	0 – 3	3 – 6
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	3 – 6	3 – 6	0 – 3
22.	Mady lekkie i średnie	3 – 6	3 – 6	3 – 6
23.	Czarne ziemie	3 – 6	3 – 6	3 – 6
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	3 – 6	0 – 3	0 – 3
25.	Gleby murszaste i murszowate	6 – 9	3 – 6	3 – 6

6.2.4. Zasoby wody trudno dostępnej dla roślin (pF 3 – pF 4,2)

Zapasy wody trudno dostępnej wykazują znacznie większe zróżnicowanie w porównaniu z wodą łatwo dostępną dla roślin. Są one także kilkakrotnie wyższe. Ich wielkość w znaczącej mierze zależy od ilości mikroporów glebowych, w kształtowaniu których uczestniczą minerały ilaste. Tak więc, w przypadku zapasów wody trudno dostępnej gleby wytworzone z iłów (9-12%) wyraźnie się różnią. Największymi zapasami wody trudno dostępnej charakteryzują się jednak gleby wytworzone z lessów i utworów lessowatych. W głębszych warstwach tych gleb dochodzą one do 24%. Jak wskazują dane Tabeli 9 rozpiętość zapasów wody trudno dostępnej jest znaczna i osiąga skrajne wartości w przedziałach od 0-3 do 21-24%. Dane te wskazują na dość wyraźny związek zapasów wody trudno dostępnej z rozkładem granulometrycznym gleb omych. Wysoka zdolność retencjonowania wody trudno dostępnej przez gleby pyłowe wskazuje na istotną rolę frakcji pyłowych w modyfikacji potencjalnych zapasów tej kategorii wody. Duże zróżnicowanie wartości zasobów wody trudno dostępnej pomiędzy poszczególnymi jednostkami glebowymi, nawet w przypadku zbliżonego rozkładu granulometrycznego lub pochodzenia utworów glebowych, wskazuje na złożoność procesów i warunków, które kształtują te zasoby.

Tabela 9. Parametryzacja wody trudno dostępnej dla roślin
Table 9. Paramatrisation of the difficult available water

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Woda trudno dostępna dla roślin w przedziałach wartości [% $cm^3 \cdot cm^{-3}$]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	6 – 9	9 – 12	6 – 9
2.	Rędziny "mieszane"	6 – 9	9 – 12	12 – 18
3.	Czarnoziemy	18 – 21	15 – 18	21 – 24
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	3 – 6	3 – 6	0 – 3
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	9 – 12	3 – 6	6 – 9
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	9 – 12	9 – 12	0 – 3
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	9 – 12	6 – 9	6 – 9

c.d. **Tabeli 9.**

7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	9 – 12	9 – 12	9 – 12
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	6 – 9	3 – 6	9 – 12
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	6 – 9	6 – 9	6 – 9
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	6 – 9	9 – 12	6 – 9
9b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	12 – 15	12 – 15	6 – 9
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	6 – 9	9 – 12	3 – 6
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	12 – 15	12 – 15	0 – 3
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	3 – 6	0 – 3	0 – 3
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	12 – 15	9 – 12	6 – 9
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	18 – 21	15 – 18	9 – 12
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	18 – 21	12 – 15	21 – 24
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	9 – 12	9 – 12	9 – 12
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	12 – 15	6 – 9	3 – 6
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	15 – 18	12 – 15	18 – 21
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	12 – 15	12 – 15	9 – 12
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	18 – 21	12 – 15	12 – 18
20.	Mady średnie i ciężkie	12 – 15	9 – 12	12 – 18
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	9 – 12	9 – 12	6 – 9
22.	Mady lekkie i średnie	15 – 18	15 – 18	18 – 21
23.	Czarne ziemie	9 – 12	6 – 9	6 – 9
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	9 – 12	6 – 9	0 – 3
25.	Gleby murszaste i murszowate	9 – 12	3 – 6	0 – 3

6.3. Charakterystyka przewodnictwa wodnego

Analiza wartości współczynnika przewodnictwa wodnego badanych gleb wykazuje, że zakres jego zmienności jest duży i wynosi od około $5 \cdot 10^{3}$ cm·doba^{-1} dla potencjału wody odpowiadającemu stanowi bliskiemu nasyceniu (pF 0) do około $2 \cdot 10^{-4}$ cm·doba^{-1} dla potencjału wody odpowiadającemu (~pF 3). Dlatego też, w celu przeprowadzenia analizy porównawczej tej wielkości oraz określenia wpływu czynników warunkujących jej zmienność dokonano podziału wartości współczynnika przewodnictwa wodnego, w odniesieniu do trzech badanych warstw na 11 następujących klas: < 0,0005; 0,0005 - 0,001; 0,001 - 0,005; 0,005 - 0,01; 0,01 - 0,05; 0,05 - 0,1; 0,1 - 0,5; 0,5 - 5; 5 - 500; 500 - 1000 i >1000 cm·doba^{-1}.

6.3.1 Przewodnictwo wodne przy nasyceniu (pF 0)

Przewodnictwo wodne przy pF 0 w badanych warstwach profili gleb ornych różnicuje geneza oraz stabilność makroporów i przestrzeni międzyagregatowych, przez które przepływa woda grawitacyjna (Tab. 10). Z tego punktu widzenia wyodrębnia się warstwa orna, której porowatość oraz układ agregatów glebowych ulega cyklicznym przekształceniom i regeneracji pod wpływem zabiegów uprawowych. Stąd też przewodnictwo wodne w tej warstwie jest wyższe niż w warstwach głębszych, które charakteryzuje naturalny układ oraz rozmiary porów i elementów struktury. Jak już wspomniano przeważająca część gleb wykazuje najwyższe($k > 1000$ cm·doba^{-1}) przewodnictwo wodne w warstwie ornej. Do grupy tej należą między innymi rędziny „czyste", gleby wytworzone z piasków luźnych i słabogliniastych oraz z iłów, gleby murszaste i murszowate. Najniższym przewodnictwem wodnym ($5 < k < 500$ cm·doba^{-1}) charakteryzują się również gleby o skrajnie różnej budowie, granulometrii i innych właściwościach. Do grupy tej należą gleby wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich oraz gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia podczas, gdy gleby brunatne wytworzone z tego samego utworu (skały macierzystej) charakteryzują się najwyższymi wartościami współczynnika ($k > 1000$ cm·doba^{-1}).

W warstwach podornej i podglebia, które z reguły nie podlegają cyklicznemu przemieszaniu w procesie uprawy roli, większy wpływ na przewodnictwo wodne wywiera rozkład granulometryczny. Potwierdza to przewodnictwo gleb wytworzonych z piasków luźnych i słabogliniastych oraz żwirów ($k > 1000$ cm·doba^{-1}) oraz z iłów ($5 < k < 500$ cm·doba^{-1}). Wyjątek stanowią gleby wytworzone z lessów, które pomimo stosunkowo znacznej zwięzłości mają przewodnictwo zbliżone do warstw piasków luźnych i słabogliniastych. Generalnie należy stwierdzić, że posługując się opisową analizą porównawczą trudno jest wykazać związek przewodnictwa wodnego przy pF 0 ze zróżnicowanymi właściwościami gleb ornych.

Tabela 10. Parametryzacja przewodnictwa wodnego przy pF 0
Table 10. Parametrization of the water conducivity at pF 0

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Przewodnictwo wodne przy pF 0 w przedziałach wartości [cm·doba^{-1}]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	>1000	>1000	5 – 500
2.	Rędziny "mieszane"	5 – 500	500 – 1000	5 – 500
3.	Czarnoziemy	500 – 1000	>1000	>1000
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	>1000	>1000	>1000
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	5 – 500	500 – 1000	500 – 1000
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	500 – 1000	5 – 500	500 – 1000
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	500 – 1000	500 – 1000	5 – 500
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	500 – 1000	5 – 500	5 – 500
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	5 – 500	500 – 1000	5 – 500
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	>1000	500 – 1000	500 – 1000
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	500 – 1000	500 – 1000	5 – 500
9b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	500 – 1000	5 – 500	5 – 500
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	>1000	5 – 500	5 – 500
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	>1000	5 – 500	>1000
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	>1000	>1000	>1000
13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	>1000	5 – 500	500 – 1000
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	5 – 500	5 – 500	5 – 500
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	>1000	>1000	500 – 1000
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	>1000	5 – 500	5 – 500

c.d. Tabeli 10.

16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	>1000	>1000	5 – 500
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	500 – 1000	5 – 500	5 – 500
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	>1000	500 – 1000	5 – 500
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	5 – 500	>1000	5 – 500
20.	Mady średnie i ciężkie	500 – 1000	>1000	500 – 1000
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	500 – 1000	500 – 1000	>1000
22.	Mady lekkie i średnie	>1000	>1000	5 – 500
23.	Czarne ziemie	>1000	>1000	5 – 500
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	500 – 1000	>1000	>1000
25.	Gleby murszaste i murszowate	>1000	>1000	500 – 1000

6. 3. 2. Przewodnictwo wodne przy polowej pojemności wodnej (pF 2,2)

Wartość współczynnika przewodnictwa wodnego przy polowej pojemności wodnej jest wypadkową działania sił kapilarnych i grawitacyjnych oddziaływujących na wodę zakumulowaną w mezoporach. Przeprowadzone badania wykazały, że przewodnictwo wodne przy pF 2,2 parametryzują wartości w przedziale $0,5 < k < 0,01$ cm·doba^{-1}.

Tylko w dwóch przypadkach (warstwa orna gleb brunatnych wytworzonych z iłów oraz warstwa podglebia mad średnich i ciężkich) osiąga ono wartości niższe od 0,01 cm·doba^{-1}. W jednym przypadku (warstwa podoma gleb lekkich pseudobielicowych wytworzonych z glin) przewodnictwo wodne przekracza wartość 0,5 cm·doba^{-1} (Tab. 11). W warstwie omej, przy potencjale wody glebowej odpowiadającym polowej pojemności wodnej (pF 2,2) większość jednostek glebowych również charakteryzuje się relatywnie najwyższymi wartościami współczynnika k ($0,1 < k < 0,5$ cm·doba^{-1}). Są to jednak przeważnie inne jednostki glebowe niż w poprzednim przypadku. Np. mady lekkie i średnie oraz gleby iłowe przy saturacji (pF 0) miały najwyższe współczynniki przewodnictwa wodnego, a przy pF 2,2 uzyskały wartości najniższe. Podobną właściwością charakteryzują się najlżejsze gleby wytworzone z piasków luźnych i słabogliniastych. Natomiast gleby brunatne lessowe oraz gleby murszaste i murszowate charakteryzują się najwyższym przewodnictwem wodnym przy obu

wartościach potencjału wody glebowej. W głębszych warstwach profilu gleby, o bardziej ustabilizowanej strukturze i porowatości, nawet kontrastowe wartości rozkładu granulometrycznego nie wykazują związku z przewodnictwem wodnym. Jako przykład posłużyć mogą gleby wytworzone z piasków luźnych i słaboglinistych oraz żwirów w porównaniu z glebami iłowymi. Jedynie duża zawartość frakcji pyłowej w warstwie podornej i podglebiu (lessy, pyły wodnego pochodzenia, mady lekkie i średnie) relatywnie zwiększa przewodnictwo wodne gleb ornych przy polowej pojemności wodnej.

Tabela 11. Parametryzacja przewodnictwa wodnego przy pF 2,2
Table 11. Parametrization of the water conducivity at pF 2,2

Zgeneralizowane jednostki glebowe		Przewodnictwo wodne przy pF 2,2 w przedziałach wartości [cm·doba^{-1}]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
1		2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	0,05 – 0,1	0,1 – 0,5	0,3 – 0,5
2.	Rędziny "mieszane"	0,05 – 0,1	0,1 – 0,5	0,05 – 0,1
3.	Czarnoziemy	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	0,05 – 0,1	0,1 – 0,5	0,01 – 0,05
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	0,1 – 0,5	0,5 – 5,0	0,1 – 0,5
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	0,1 – 0,5	0,1 –0,5	0,05 – 0,1
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,01 – 0,05
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	0,1– 0,5	0,1 – 0,5	0,01 – 0,05
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	0,1 – 0,5	0,5 – 5,0	0,01 – 0,1
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1	0,01 – 0,05
9b	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	0,1 – 0,5	0,05 – 0,1	0,01 – 0,05
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	0,01 – 0,05	0,01 – 0,05	0,01 – 0,05
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	0,01 – 0,05	0,01– 0,05	0,05 – 0,1
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	0,05 – 0,1	0,01 – 0,05	0,05 – 0,1

c.d. **Tabeli 11.**

13a.	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,05 – 0,1
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5
15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	0,01 – 0,05	0,01 – 0,05	0,01 – 0,05
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	0,1 – 0,5	0,01 – 0,05	0,1 – 0,5
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1	0,01 – 0,05
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	0,01 – 0,05	0,01 – 0,05	0,05 – 0,1
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	0,05 – 0,1	0,1 – 0,5	0,05 – 0,1
20.	Mady średnie i ciężkie	0,01 – 0,05	0,01 – 0,05	0,005 – 0,01
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,1 – 0,05
22.	Mady lekkie i średnie	0,01 – 0,05	0.05 – 0.1	0,1 – 0,5
23.	Czarne ziemie	0,05 – 0,1	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	0,1 – 0,5	0,05 – 0,1	0,1 – 0,5
25.	Gleby murszaste i murszowate	0,1 – 0,5	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1

6.3.3. Przewodnictwo wodne w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3)

Badania przewodnictwa wodnego poszczególnych warstw gleb ornych przy pF 3 odpowiadającym początkowi hamowania wzrostu roślin wykazały, że w zasadzie graniczne jego wartości mieszczą się w przedziale $0{,}01 < k < 0{,}005$ cm·doba^{-1} (Tab. 12). Tylko w dwóch przypadkach (warstwa podglebia glebwytworzonych ze żwirów oraz gleb murszaste i murszowatych zalegających na piaskach luźnych) przewodnictwo wodne jest niższe od 0,005 cm·doba^{-1}. Zbliżone wartości przewodnictwa wodnego (przeważnie mieszczącego się w przedziale $0{,}001 < k < 0{,}005$ cm·doba^{-1}) charakteryzujące jednostki glebowe o zróżnicowanym rozkładzie granulometrycznym wskazują, że zarówno brak, jak i relatywnie duża ilość mikroporów w jednakowym stopniu ograniczają ruch wody w glebie. W warstwie ornej przy potencjale wody glebowej (pF 3) odpowiadającemu początkowi hamowania wzrostu roślin

Tabela 12. Parametryzacja przewodnictwa wodnego przy pF 3
Table 12. Parametrization of the water conducivity at pF 3

	Zgeneralizowane jednostki glebowe	Przewodnictwo wodne przy pF 3 w przedziałach wartości [cm·doba^{-1}]		
		Warstwa orna	Warstwa podorna	Podglebie
	1	2	3	4
1.	Rędziny "czyste"	0,0005 – 0,001	0,001– 0,005	0,001 – 0,005
2.	Rędziny "mieszane"	0,001 – 0,005	0,005 – 0,001	0,001 – 0,005
3.	Czarnoziemy	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,005 – 0,01
4.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i luźnych	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
5.	Gleby brunatne, rdzawe i bielicowe wytworzone z piasków słabogliniastych i gliniastych lekkich	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
6.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych	0,005 – 0,01	0,005 – 0,01	0,005 – 0,01
7a.	Gleby brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
7b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
8a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, lekkie	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
8b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, lekkie	0,005 – 0,01	0,005 – 0,01	0,005 – 0,01
9a.	Gleby brunatne wytworzone z glin, średnie	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
9b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z glin, średnie	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
10.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, ciężkie	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,0005 – 0,001
11.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z glin, niecałkowite	0,001 – 0,005	0,005 – 0,01	0,001 – 0,005
12.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze żwirów	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	< 0,0005
13a..	Gleby brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	0,001 – 0,005	0,001– 0,005	0,001 – 0,005
13b.	Gleby pseudobielicowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia	0,005 – 0,01	0,005 – 0,01	0,001 –0,005
14.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych	0,001 – 0,005	0,005 – 0,01	0,005 – 0,01

c.d. Tabeli 12.

15.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone z iłów	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,0005 – 0,001
16.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste i szkieletowo-gliniaste	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
17.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, gliniaste	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
18.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, ilaste	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
19.	Gleby brunatne i pseudobielicowe wytworzone ze skał masywnych, pyłowe	0,001 – 0,005	0,005 – 0,01	0,001 – 0,005
20.	Mady średnie i ciężkie	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,0005 – 0,001
21.	Mady lekkie i bardzo lekkie	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,0005 – 0,001
22.	Mady lekkie i średnie	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005	0,005 – 0,01
23.	Czarne ziemie	0,001 – 0,005	0,005 – 0,01	0,001 – 0,005
24.	Czarne ziemie wytworzone z piasków	0,005 – 0,005	0,001 – 0,005	0,001 – 0,005
25.	Gleby murszaste i murszowate	0,001 – 0,005	0,0005 – 0,001	< 0,0005

przeważająca liczba jednostek glebowych znalazła się w grupie $0{,}001 < k < 0{,}005$ cm·doba^{-1}. Tylko jedna jednostka glebowa (rędziny „czyste") charakteryzuje się najniższym w tych warunkach uwilgotnienia współczynnikiem k, a dwie jednostki glebowe współczynnikiem najwyższym (gleby pseudobielicowe wytworzone z glin lekkie i z pyłów wodnego pochodzenia). W warstwach głębszych (podomej, podglebiu) przewodnictwo wodne przy pF 3 jest przeważnie takie samo jak w warstwie omej lub o klasę niższe. Wyjątek stanowią rędziny „czyste", w których przewodnictwo wodne maleje w głąb profilu gleby. Natomiast w czarnych ziemiach, glebach pseudobielicowych wytworzonych z piasków, glin lekkich, pyłów wodnego pochodzenia oraz ze skał masywnych najwyższe przewodnictwo wodne występuje w warstwie podornej. Warto również zaznaczyć, że w warstwie podglebia najcięższych gleb iłowych jest ono niższe niż w glebach piaskowych. Jednak w tym samym przedziale znalazły się zarówno mady ciężkie i bardzo ciężkie, jak i mady lekkie i bardzo lekkie.

7. KARTOGRAFICZNA PREZENTACJA ZMIENNOŚCI I ZRÓŻNICOWANIA HYDROFIZYCZNYCH WŁAŚCIWOŚCI MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

Charakterystykę zmienności i zróżnicowania przestrzennego hydrofizycznych właściwości mineralnych gleb omych Polski umożliwiły komputerowe mapy tematyczne, których zasady sporządzania przedstawiono w rozdziale 5. Wyznaczone na mapach kontury grupują gleby o zbliżonych właściwościach hydrofizycznych sparametryzowanych określonymi przedziałami wielkości cech i zróżnicowanych barwnymi oznaczeniami. Kartograficzną prezentację każdej hydrofizycznej właściwości gleb przedstawiono na trzech odrębnych mapach dla badanych warstw gleby: omej, podornej i podglebia.

7.1. Charakterystyka retencji wodnej.

7.1.1. Retencja wody przy nasyceniu (pF 0)

Kartograficzne zobrazowanie zmienności całkowitej pojemności wodnej (CPW) ilustrują mapy 1, 2 i 3. Większość gleb ornych charakteryzuje się CPW w granicach 35-45% w warstwie ornej i podornej oraz 30-40% w warstwie podglebia, co wskazuje na jej ogólnie niewielkie zróżnicowanie przestrzenne. Wartości te są szczególnie charakterystyczne dla obszaru Niżu Polskiego. W południowej, wyżynnej i górskiej części kraju dominuje CPW w granicach 45-50%. W tych regionach występują również gleby o najwyższych wartościach pojemności wodnej przy pełnym nasyceniu przekraczającym 50%. Na obszarze Niżu Polskiego wyróżnia się całkowita pojemność wodna warstwy podornej i podglebia mad żuławskich, która jest wyższa o dwa przedziały w stosunku do przeważających wartości całkowitej retencji gleb. W południowej części kraju taki sam akcent strukturalny związany jest z występowaniem rędzin „czystych", których CPW w warstwie podornej i podglebia osiąga 60%.

7.1.2. Retencja wody odpowiadająca polowej pojemności wodnej (pF 2,2)

Zmienność i zróżnicowanie retencji wodnej przy pF 2,2 gleb ornych przedstawiono na mapach 4, 5 i 6. Analiza załączonych map wskazuje, że najwyraźniejsza zmienność polowej pojemności wodnej w układzie regionalnym wyznacza odrębność pasa wyżyn środkowych oraz pogórza i terenów górskich. Dzieli to Polskę na dwie strefy strukturalne, dla których graniczną wartością PPW jest w warstwie powierzchniowej i podpowierzchniowej - 25%, a w warstwie podglebia - 30%. Niższe od 25% wartości PPW przeważają na Niżu Polskim i w północnych obszarach morenowych. Wyjątek stanowią obszary w rejonie Żuław Wiślanych, Równiny Płockiej, Błońsko-Sochaczewskiej oraz Kujaw, gdzie PPW, szczególnie w warstwie

powierzchniowej, przekracza 30%. W pozostałych warstwach gleby wysoka PPW występuje jedynie na Żuławach Wiślanych. PPW gleb w wyżynnych i górskich regionach Polski jest bardziej jednorodna z zaznaczającym się wyraźnym jej obniżeniem w glebach dolnej części dorzecza Sanu, Wisłoki i na Jurze Krakowsko-Częstochowskiej oraz najwyższymi wartościami w dolinie Wisły i na Pogórzu Karpackim. Charakterystycznymi dla regionów południowych są wysokie wartości PPW i małe jej zróżnicowanie w podglebiu.

Na obszarze Niżu Polskiego i wyżyn północnych dominują obszarowo gleby, których PPW w warstwie powierzchniowej wynosi od 20 do 25%, a w podpowierzchniowej od 15 do 25%. Podglebie ma w tych regionach bardzo zróżnicowane wartości PPW, bez wyraźnie zaznaczającej się dominanty. W regionach Polski Południowej dominuje obszarowo PPW o wartościach od 30 do 35% w warstwie powierzchniowej i podpowierzchniowej, przy znacznym udziale gleb z PPW w zakresie 35-40%, natomiast podglebie charakteryzuje się zdecydowaną przewagą PPW o wartościach od 35 do 40%

7.1.3. Retencja wody w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3)

Analiza map retencji wody odpowiadającej początkowi hamowania wzrostu roślin (7, 8 i 9) wskazuje na wzrost zróżnicowania pojemności wodnej w głębszych warstwach profilu gleb. W warstwie ornej zmienia się ona w granicach od 5 do 40%, a w warstwach głębszych od 0 do 45%. W warstwie ornej, której retencyjność jest stosunkowo najmniej zróżnicowana, graniczna wartość pojemności wodnej przy pF 3 oddzielająca gleby orne Niżu Polskiego, pasa wyżyn południowych i obszarów górskich wynosi 20%. Akcent strukturalny tworzy sieć gleb aluwialnych i górskich gliniastych, których retencja wody przy pF 3 jest najwyższa i osiąga wartość 35%.

Zróżnicowanie retencyjności podornej warstwy gleb jest znacznie wyraźniejsze. Wprawdzie zaznacza się podział strukturalny na część niżową i pozostałą, jednak w poszczególnych regionach kraju nie przekracza ono 15%. Graniczną pojemność wodną przy pF 3 charakteryzującą podział megastrukturalny jest wartość 25%, przy czym zróżnicowanie tej pojemności jest wyższe na obszarze Niżu Polskiego.

Warstwa podglebia ma najbardziej zróżnicowaną retencyjność przy pF 3. Zróżnicowanie to zaznacza się szczególnie w dolnej części dorzecza Sanu, na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej i Polesiu Lubelskim. Poza glebami doliny dolnej Wisły i Żuław Wiślanych na Niżu Polskim retencyjność przy pF 3 nie przekracza 25%, natomiast w strefie wyżynnej, podgórskiej i górskiej osiąga 40%. Najwyższe wartości pojemności wodnej przekraczające 40% stwierdzono w glebach iłowych na północnych krańcach Polski.

7.1.4. Retencja wody w punkcie trwałego więdnięcia roślin (pF 4,2)

Interesujących informacji dostarczają mapy retencji wodnej (10, 11 i 12) odpowiadającej punktowi trwałego więdnięcia roślin (pF 4,2). Generalnie, na przeważającej części kraju retencyjność gleb ornych przy pF 4,2 jest dość jednorodna. Charakterystyczne jest jednak zróżnicowanie jej kartograficznego obrazu pomiędzy poszczególnymi warstwami profilu gleby.

Mapa retencji wody warstwy ornej (10) odzwierciedla strukturę utworzoną przez dwa przedziały wielkości 0-5 i 5-10%. Tylko gleby górskie wykazują retencję powyżej 10%. Na tę strukturę nakłada się sieć gleb aluwialnych o najwyższej retencji wynoszącej 20-25% z większym jednorodnym akcentem terytorialnym na północy kraju związanym z Żuławami Wiślanymi.

Warstwa podoma wykazuje znaczną jednorodność przestrzenną. W jej obrębie wyróżnić można trzy jednostki strukturalne:

- centralna i północno-zachodnia część kraju, gdzie dominują gleby o najniższej retencji przy pF 4,2 w warstwie podornej (0-5%),
- regiony pojezierzy w północno-wschodniej części kraju o przewadze gleb mających retencję przy pF 4,2 w warstwie podornej w granicach 10-15%,
- regiony wyżynne i górskie o najwyższej retencji przy pF 4,2 w warstwie podornej przekraczającej 15%.

Retencja wodna przy pF 4,2 w warstwie podglebia tworzy monolityczną megastrukturę przestrzenną zmienności dwóch przedziałów 5-10% i 10-15%. Gleby górskie i aluwialne to obszary występowania retencji powyżej 15%. Najwyższa retencja w warstwie podglebia (30-35%) związana jest z występowaniem rędzin „czystych" i gleb iłowych.

7.2. Charakterystyka potencjalnych zasobów wody

7.2.1. Zasoby wody wolnej - grawitacyjnej (pF 0 – pF 2,2)

Załączone mapy (13, 14 i 15) przedstawiają kartograficzny obraz zmienności i zróżnicowania przestrzennego zdolności retencjonowania wody wolnej – grawitacyjnej. Ogólne zasoby tej wody wzrastają nieznacznie w głąb profilu gleby od 6-30% w warstwie ornej do 3-36% w warstwie podglebia.

Największa jednorodność pod względem zasobów wody wolnej – grawitacyjnej we wszystkich badanych warstwach wykazują regiony występowania gleb górskich. Zdolność retencyjna tych gleb w warstwie ornej i podomej wynosi 9-12%, a w podglebiu 6-9%. Obszar występowania gleb o zapasach wody 9-12% w warstwie podornej

tworzy zwartą strefę obejmującą południową i południowo-wschodnią część kraju, z wyjątkiem obszaru leżącego w widłach Wisły i Sanu, którego struktura jest zbliżona do terenów niżowych. Pozostała część kraju obejmująca północną strefę morenowa oraz niżową część Polski charakteryzuje się zbliżonym zróżnicowaniem struktury konturów gleb o różnych zakresach potencjalnej akumulacji wody wolnej - grawitacyjnej. Tylko w warstwie podglebia zaznacza się jednorodność gleb w regionie Kujawskim o zdolności magazynowania wody wolnej - grawitacyjnej w przedziale 9-12% oraz na Wyżynie Lubelskiej z charakterystycznym przedziałem retencyjności 6-9%. Względną jednorodnością charakteryzuje się również warstwa orna gleb Niziny Mazowieckiej i Wyżyny Lubelskiej, w której zapasy wody wolnej - grawitacyjnej kształtują się w granicach 12-15%.

7.2.2 Zasoby wody użytecznej dla roślin (pF 2,2- pF 4,2)

Zmienność i zróżnicowanie zasobów wody użytecznej dla roślin (PUR) w glebach ornych Polski przedstawiono na mapach 16, 17 i 18. Ich analiza wskazuje, że największa zmienność PUR występuje w warstwie podpowierzchniowej, a najmniejsza w warstwie powierzchniowej gleb Polski. Podglebie natomiast charakteryzuje największe zróżnicowanie wartości PUR. Kartograficzne zobrazowanie zasobów wody użytecznej dla roślin odzwierciedla podział Polski na dwie przestrzenne jednostki strukturalne. Jedna, bardziej zróżnicowana, obejmuje pas wyżyn oraz pogórza i terenów górskich, z wyraźną dominantą najwyższych wartości PUR, szczególnie zaznaczającą się w warstwie powierzchniowej i podglebia. Druga, mniej zróżnicowana, obejmuje regiony Niżu Polskiego i pojezierzy, gdzie przeważają gleby o średnich wartościach PUR, z wyraźną dominantą PUR w zakresie 12-15% w warstwie powierzchniowej. Zaznaczające się wyraźnie zróżnicowanie strukturalne przestrzennej zmienności PUR między badanymi warstwami gleb wskazuje, że oprócz pochodzenia skały macierzystej, istotny wpływ na kształtowanie się zasobów wody użytecznej dla roślin wywierają zarówno różnorodność procesów glebotwórczych jak i różnorodność gleb, na co wskazuje kartograficzne zobrazowanie PUR w warstwie podglebia.

7.2.3. Zasoby wody łatwo dostępnej dla roślin (pF 2,2 – pF 3)

Decydujące o powodzeniu produkcji roślinnej zasoby wody łatwo dostępnej przedstawiono na mapach 19, 20 i 21. Cechą specyficzną wynikającą z analizy tych map jest mała zmienność i zróżnicowanie zdolności magazynowania tej kategorii wody (0-9%) we wszystkich trzech warstwach gleb na terenie całego kraju.

Reprezentatywny przedział zasobów tej wody wynosi 3-6%. Na mapie warstwy ornej w tle tej dominanty przestrzennej zaznaczają się obszary o podwyższonych zasobach wody łatwo dostępnej związane z występowaniem czamoziemów i brunatnych gleb wytworzonych z pyłów wodnego pochodzenia. Na mapach warstwy podornej i podglebia dość wyraźnie uwidacznia się strefa o podwyższonych zasobach wody łatwo dostępnej obejmująca gleby lessowe i lessowate występujące w pasie wyżyn południowych i pogórzy. Przestrzenny akcent na mapach warstwy ornej i podornej tworzą gleby o najniższych zasobach wody łatwo dostępnej dla roślin występujące w dolinach największych rzek.

7.2.4. Zasoby wody trudno dostępnej dla roślin (pF 3 – pF 4,2)

Mapy zdolności retencyjnej wody trudno dostępnej dla roślin, 22, 23 i 24, wskazują, że jej zasoby są znacznie bardziej zróżnicowane niż w przypadku wody łatwo dostępnej. Ogólne ich zróżnicowanie mieści się w granicach 3-21% objętościowych w warstwie ornej, 0-10% w warstwie podornej oraz 0-21% w podglebiu. W warstwie ornej dominuje pojemność 9-12% a zwarte obszary gleb charakteryzujące się tym wskaźnikiem występują w pasie środkowym i północno-zachodniej części kraju z dwiema enklawami gleb o podwyższonych zasobach wody trudno dostępnej obejmującymi Żuławy Wiślane i Równinę Płocką. W strefie pojezierzy położonych w północnej części kraju po wschodniej stronie Wisły dominują gleby o niższej zdolności gromadzenia wody trudno dostępnej (6-9%). Najwyższe zasoby wody trudno dostępnej w warstwie ornej mogą zgromadzić gleby lessowe i lessowate oraz część gleb górskich. W strukturze przestrzennej uwidacznia się to strefą podwyższonej zdolności magazynowania tej kategorii wody na obszarach wyżynnych i górskich. Wśród nich w dolnej części dorzecza Sanu i Dunajca występuje enklawa o strukturze zbliżonej do obszarów niżowych. Warstwa podorna tworzy jednorodną strukturę zmienności obszarów zakwalifikowanych do podanych na mapie przedziałów w granicach 0-12% z nieznacznie zaznaczającą się jednorodnością występowania obszarów o zasobach powyżej 12% wody trudno dostępnej obejmujących pas wyżyn południowych i tereny górskie. Bardzo zbliżoną strukturą przestrzenną charakteryzuje się zmienność powierzchniowa zasobów wody trudno dostępnej w warstwie podglebia z tą różnicą, że strukturę zmienności tej właściwości na Niżu Poleskim tworzy wyraźna mozaika konturów gleb o zdolności retencyjnej w przedziałach 6-9% i 9-12% z niewielkimi fragmentami gleb w przedziale najniższym 0-3% (Sandr Kurpiowski i Pomorski oraz Polesie Lubelskie). Południowa część kraju ma zbliżony obraz kartograficzny do mapy warstwy ornej.

7.3. Charakterystyka przewodnictwa wodnego

7.3.1. Przewodnictwo wodne przy nasyceniu (pF 0)

Zmienność i zróżnicowanie przestrzenne przewodnictwa wodnego przy nasyceniu (pF 0) przedstawiono na mapach 25, 26 i 27 grupując gleby w trzech przedziałach jego wartości: 5-500, 500-1000 i >1000 cm·doba^{-1}. W warstwie ornej tworzy ono strukturę trzyelementową z nieznaczną dominantą najwyższego przewodnictwa wodnego w południowej części kraju związaną z występowaniem gleb wytworzonych z lessów i utworów lessowatych. Zbliżoną strukturę przestrzenną tworzy przewodnictwo wodne gleb w warstwie podornej z tą jednak różnicą, że wartość 1000 cm·doba^{-1} dzieli obszar kraju na dwie megastruktury. Przewaga gleb o niższym przewodnictwie wody (<1000 cm·doba^{-1}) charakteryzuje obszary środkowej i północnej Polski, natomiast w regionach wyżyn południowych, pogórzy i gór dominują gleby o przewodnictwie w warstwie ornej większym od 1000 cm·doba^{-1}. Warstwa podglebia tworzy w zasadzie strukturę dwuelementową z regionalnymi skupieniami gleb o przewodnictwie większym od 1000 cm·doba^{-1} zaznaczającymi się na obszarze Pojezierza Bytowskiego i Kaszubskiego, Wysoczyzny Tureckiej, Łaskiej i Szczercowskiej, Płaskowyżu Głubczyckiego oraz fragmentu Wysoczyzny Wołyńskiej.

7.3.2. Przewodnictwo wodne przy polowej pojemności wodnej (pF 2,2)

Przewodnictwo wodne gleb ornych odpowiadające polowej pojemności wodnej (pF 2,2) (mapy 28, 29 i 30) wykazuje znacznie mniejsze zróżnicowanie i zmienność przestrzenną niż w warunkach pełnej pojemności wodnej. Kartograficzny obraz przewodnictwa wodnego w warstwie ornej informuje, że dominują gleby o przewodnictwie 0,05-0,1 cm·doba^{-1} zajmując około 90% powierzchni gruntów ornych kraju. Na ich tle zaznaczają się gleby doliny Wisły i górnej Odry o niższym przewodnictwie wodnym oraz strefa gleb górskich o podwyższonym przewodnictwie wodnym. W warstwie podornej zaznacza się przewaga gleb o przewodnictwie 0,1-0,5 cm·doba^{-1} tworzących megastrukturę z glebami o przewodnictwie wyższym. Na południowych krańcach kraju, w strefie gleb górskich występuje największe zróżnicowanie i przestrzenna zmienność przewodnictwa wodnego tej warstwy, którego wielkość kształtuje się jednak poniżej 0,1 cm·doba^{-1}. Przewodnictwo wodne w warstwie podglebia tworzy wyraźną, dość równomierną mozaikę gleb zgrupowanych w wyróżnionych przedziałach ze słabo zaznaczającą się strefą jednorodności obejmującą pas gleb terenów wyżynnych.

7.3.3. Przewodnictwo wodne w punkcie początku hamowania wzrostu roślin (pF 3)

Zmienność i zróżnicowanie przewodnictwa wodnego odpowiadającego początkowi hamowania wzrostu roślin (pF 3) zobrazowane na mapach 31, 32 i 33, tworzy we wszystkich trzech warstwach profilu gleby dwuelementowe megastruktury przestrzenne obejmujące gleby orne całego kraju. W warstwie ornej mieści się ono w przedziałach 0,001- 0,005-0,01 cm·doba^{-1} z bardziej jednorodnym obszarem obejmującym pogórze i Karpaty oraz niewielkimi fragmentami gleb o najniższym przewodnictwie w rejonie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej oraz południowej części Polesia Lubelskiego. W warstwie podornej dwuelementowa megastruktura wykazuje bardziej równomierną zmienność, malejącą na obszarze Kujaw i Pojezierza Wschodnio-Pomorskiego, gdzie nieznacznie dominują gleby o przewodnictwie 0,001-0,005 cm·doba^{-1}. Podobną megastrukturę tworzy zmienność przewodnictwa wodnego w warstwie podglebia ze zwiększoną jednorodnością w rejonie Kujaw i zaznaczającą się doliną środkowej i górnej Wisły oraz doliną Sanu z glebami o niższym przewodnictwie wodnym (0,001- 0,005 cm·doba^{-1}) przy pF 3.

8. PODSUMOWANIE

Polska jest krajem, w którym deficyt wody, na tle innych państw Europy, jest szczególnie dotkliwy. Zatem w Polsce badania dotyczące parametryzacji gleb pod kątem ich hydrofizycznych charakterystyk oraz modelowania procesów akumulacji wody i przepływu roztworów w glebie mają istotne znaczenie.

Niniejsza praca, zdaniem autorów, wypełnia lukę usystematyzowanej wiedzy o ważnych i trudnych do zbadania właściwościach mineralnych gleb ornych Polski. Wskazują na to również cytowane pozycje literatury.

Z przedstawionych uogólnień, sformułowanych na podstawie ujednoliconego systemu pomiarów z setek próbek gleb, wyłania się interesująca, kompleksowa ich charakterystyka udokumentowana przez dwie jakości:

- uśrednione wartości liczbowe poszczególnych hydrofizycznych charakterystyk gleb zestawione w formie tabelarycznej,
- kartograficzną prezentację zmienności i zróżnicowania pokrywy glebowej gruntów ornych ze względu na wartości tych charakterystyk.

Zebrany, opracowany i skomentowany w niniejszej pracy materiał daje możliwość głębszego wniknięcia i sformułowania podstaw przestrzennej gospodarki wodnej gleb uprawnych.

Korzystając z przedstawionej przedmiotowej wiedzy należy mieć na uwadze, że opisane hydrofizyczne charakterystyki, aczkolwiek są obiektywnie prawdziwe, to w odniesieniu do całości profilu gleby obarczone są pewnymi uproszczeniami. Metodyczne założenia badań traktują składowe profilu gleby jako trzy odrębne nie współdziałające ze sobą hydropedosystemy. Rozumiejąc niedoskonałości tego postępowania autorzy, w wyniku analizy zjawiska, doszli do wniosku, że jest to najbardziej optymalny sposób zaprezentowania bazowej wiedzy przydatnej do dalszych badań hydropedologicznych umożliwiających traktowanie gleby jako układu trójwymiarowego.

Kartograficzne zobrazowanie struktury przestrzennej badanych cech gleb przedstawiono w skali uogólnionej. Jest ona jednak adekwatna do reprezentatywności materiału badawczego oraz przeprowadzonych pomiarów i stanowi dostatecznie precyzyjne narzędzie do badań nad mega- i mezostrukturami gleb w zakresie powiązania ich z czynnikami glebotwórczymi oraz środowiskiem przyrodniczym. Wyłania się z niej ciekawy obraz przestrzennego ukształtowania wodnych właściwości gleb powiązanego na poziomie megastruktury z głównym podziałem fizjograficznym Polski na część nizinną, wyżynną i górską, a na poziomie mezostruktury z budową

geomorfologiczną i geologiczną. Obraz ten dokumentuje również wpływ jaki na strukturę pokrywy glebowej naszego kraju wywarła epoka lodowcowa, zaznaczająca się kolejnymi regresjami i transformacjami lądolodu. Potwierdzają to przedstawione przestrzenne charakterystyki zmienności i zróżnicowania badanych właściwości hydrofizycznych. Większość z nich tworzy przedstawiony wyżej trójczłonowy układ megastrukturalny zróżnicowany przez elementy mezostrukturalne, takie jak doliny rzeczne, wysoczyzny polodowcowe, tereny zastoiskowe.

Drugi ważny element umożliwiający rozwój hydropedologii to rozszerzenie podstaw do formułowania strategii przestrzennego gospodarowania wodą oraz kształtowania czynnika wodnego jako elementu technologicznego w produkcji rolnej, a w szczególności roślinnej. Godnym odnotowania w tym względzie jest niewielka zdolność magazynowania w profilu gleby wody łatwo dostępnej dla roślin. Jesteśmy przekonani, że fakt ten zostanie wzięty pod uwagę przy symulowaniu i kształtowaniu warunków wodnych oraz zaspokojeniu potrzeb wodnych dla produkcji roślinnej. Naszym zdaniem stanowi on istotną barierę rozwoju wysokowydajnego i efektywnego rolnictwa w Polsce. Stwierdzenie niskiej zdolności retencji wody łatwo dostępnej dla roślin stanowi również swojego rodzaju wyzwanie inspirujące badania nad rozwojem agromelioracyjnych i agrotechnicznych kierunków technologii uprawy gleb sprzyjających zwiększaniu, poprzez odpowiednie zabiegi, możliwości trwałego lub przynajmniej okresowego retencjonowania wody łatwo dostępnej oraz spowolnianiu odpływu wody grawitacyjnej poza strefę profilu gleby.

Perspektywiczne jest również rozpoznanie wartości i przestrzennej zmienności przewodnictwa wodnego gleb. Umożliwi ono urealnienie modeli transportu wody w glebach, a z nią biogenów i kontaminantów oraz bilansowanie ich emisji do środowiska. Pośrednio przyczyni się do weryfikacji oceny dynamiki natlenienia gleb i uwarunkowań rozwoju procesów oksydoredukcyjnych, a także do ochrony gleb przed fizykochemiczną degradacją.

Spójna usystmatyzowana baza danych o hydrofizycznych charakterystykach gleb, komplementarna z istniejącymi systemami informacji, oraz zestaw komputerowych map przedstawione w niniejszym opracowaniu stwarzają możliwość:

- wykorzystywania symulacyjnych i prognostycznych modeli procesów hydrofizycznych i hydrologicznych, w tym bilansu wodnego, będących w wielu krajach podstawą ekonomicznego wykorzystania wody oraz przewidywania i zapobiegania zagrożeniom (degradacja środowiska, ekstremalne warunki wodne: susze, powodzie, itp.),

- przeniesienie danych charakteryzujących punkty (profile) na obszary użytkowane rolniczo, co umożliwia szacowanie zasobów wodnych, a tym samym ich racjonalne wykorzystanie,
- określenia metod wyznaczania hydrofizycznych charakterystyk gleb oraz ich związków z parametrami fizycznymi i fizyko-chemicznymi, tj. rozkładem granulometrycznym, składem mineralogicznym, powierzchnią właściwą, zawartością substancji organicznej, zagęszczeniem, itp.,
- weryfikacji algorytmów szacowania trudno mierzalnych współczynników przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej gleb na podstawie krzywych retencji i współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej – przepuszczalności wodnej gleb (pedotransfer functions),
- wykorzystania danych o hydrofizycznych charakterystykach gleb jako parametrów wejściowych w fizyczno-matematycznych modelach ruchu wody i roztworów w profilu glebowym oraz kształtowania warunków wzrostu i rozwoju roślin.

9. PIŚMIENNICTWO

1. **Batjes N.H.:** Develepment of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. Geoderma, 71, 31-52, 1996.
2. **Bibby J.S., Douglas H.A., Thomasson A.J., Robertson J.S.:** Land capacibility classification for agriculture. Report, The Macaulay Institute for Soil Research, Aberdeen, 1982.
3. **Dune K.A., Willmott C.J.:** Global distribution of plant-extracable water capacity of soil. Intern. J. Climatology, 16, 841-859, 1996.
4. **Gliński J., Ostrowski J., Stępniewska Z., Stępniewski W.:** Bank próbek glebowych reprezentujących mineralne gleby orne Polski. Problemy Agrofizyki, 66, 1-61, 1991.
5. **Gliński J., Stępniewski W., Stępniewska Z., Włodarczyk T., Brzezińska M.:** Characteristics of areation properties of selected soil profiles from Central Europe. Int. Agrophysics, 14, 17-32, 2000.
6. **Hillel D.:** Environmental soil physics. Academic Press, San Diego-London, 1998
7. **Instruction** of laboratory set-up LAB 0123 (pressure extractors).: Soil Moisture Company, Santa Barbara, Ca, USA, 1985.
8. **Instruction** of permeameter.: Eijkelkamp, Agrisearch Equipment, Wageningen, Holland, 1998
9. **Iwata S., Tabuchi T., Warkentin B.:** Soil-water interactions. M. Dekker Inc. Press, New York-Basel, 1988.
10. **Jong R. de.:** Assessment of empirical parameters that decribe soil water characteristics. Canadian Agricultural Engineering, 24, 65-70, 1982.
11. **Kędziora A.:** Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznań, 1995.
12. **Kowalik P.:** Ochrona środowiska glebowego. Politechnika Gdańska, Gdańsk, 1999.
13. **Koźmiński Z.:** Atlas uwilgotnienia gleby w Polsce. Akademia Rolnicza, Szczecin, 1997.
14. **Kramer P.J., Boyer J.S.:** Water relations of plants and soils. Academic Press, San Diego, CA, 1995.
15. **Kutilek M., Nielsen D.:** Soil hydrology. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, 1994.
16. **Lipiec J.:** Możliwości oceny przewodnictwa wodnego gleb na podstawie ich niektórych właściwości. Problemy Agrofizyki, 40, 5-89, 1983.
17. **Malicki M.:** A reflectomtric (TDR) meter of moisture content in soils and other capillary-porous materials. ZPPNR, 388, 107-114, 1990.
18. **Malicki M.:** Metodyczne zagadnienia monitoringu statusu wody w wybranych materiałach biologicznych. *Acta Agrophysica*, 9, 1-108, 1999.
19. **Malicki M., Plagge R., Renger M., Walczak R.:** Application of time-domain reflectometry (TDR) soil miniprobe for determination of unsaturated soil water characteristics from undisturbed soil cores. Irrig. Sci., 13, 65-72, 1992.
20. **Malicki M., Plagge R., Roth C.:** Improving the calibration of dielectric TDR soil moisture determination taking into account the solid soil. European J. Soil Sci., 47, 357-366, 1996.
21. **Miatkowski Z.:** Wpływ zabiegów agromelioracyjnych na właściwości fizyczno-wodne gleb zwięzłych oraz ukorzenienie i plon roślin. Bibl. Wiad. IMUZ, 99, 1-109, 2001.

22. **Monteith J.:** Fizyka środowiska glebowego. PWN, Warszawa, 1997.
23. **Ostrowski J.:** Baza danych glebowo-kartograficznych – struktura i użytkowanie. W: Systems of space information. Proc. V Conf. Polish Society of Space Information, 18-19.06. Warszawa, 471-480, 1996.
24. **Ostrowski J., Stępniewska Z., Stępniewski W., Gliński J.:** Computer maps of the redox properties of arable soils in Poland. J. Water and Land Development, 2, 19-29, 1998.
25. **Richter J.:** The soil as a reactor. Catena Verlag, Cremlingen, 1987.
26. **Scheinost A.C., Sinowski W., Aureswald K.:** Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscope. I. Developing a new pedotransfer function. Geoderma, 78, 129-143, 1997.
27. **Sławiński C., Walczak R., Witkowska-Walczak B.:** Przewodnictwo wodne rędzin Polski. *Acta Agrophysica*, 38, 259-266, 2000
28. **Sławiński C., Walczak R., Witkowska-Walczak B.:** Przewodnictwo wodne mad Polski. *Acta Agrophysica*, 38, 281-288, 2000.
29. **Stawiński J., Gliński J., Ostrowski J., Stępniewska Z., Sokołowska Z., Bowanko G., Józefaciuk G., Księżopolska A., Matyka-Sarzyńska D.:** Przestrzenna charakterystyka powierzchni właściwej gleb ornych Polski. *Acta Agrophysica*, 33, 5-53, 2000.
30. **Stępniewska Z., Stępniewski W., Gliński J., Ostrowski J.:** Atlas oksydoredukcyjnych właściwości gleb ornych Polski. Wyd. IA PAN-IMUZ, Lublin-Falenty, 1996.
31. **Stępniewska Z., Gliński J., Włodarczyk T., Brzezińska M., Blum W.E.H., Rampazzo Z., Wimmer B.:** Soil areation status of some Austrian soils. Int. Agrophysics, 11, 199-206, 1997.
32. **Stępniewski W., Stępniewska Z., Przywara G., Brzezińska M., Włodarczyk T., Varallyay G.:**Relations between aeration status and physical parameters of some selected Hungarian soils. Int. Agrophysics, 14, 439-448, 2000.
33. **Systematyka** gleb Polski.: Roczniki Gleboznawcze, XL, 3-4, 7-150, 1989.
34. **Thomasson A.J.:** Assessment of soil water reserves available for plants (SWAP): a review. In: D.King, R.J. Jones, A. Thomasson (eds.), European land information systems for agro-environmetal monitoring. Institute for Remote Sensing Applictions. Joint Research Centre. Office for Official Publications of the European Community, Luxembourg, 1995.
35. **Varallyay G.:** Mapping of hydrological properties and moisture regime of soils. Agrokemia es Talajtan, 38, 800-817, 1989.
36. **Varallyay G., Szucs K., Rajkai K., Zilahy P., Muranyi A.:** Soil water management categories of Hungarian soils and the map of soil water properties (1:100 000). (in Hungarian). Agorkemia es Talajtan, 29, 77,-112, 1980.
37. **Walczak R., Horabik J.:** Fizyczne i matematyczne metody badań w agrofizyce. *Acta Agrophysica*, 37, 253-275, 2000.
38. **Walczak R., Sławiński C., Witkowska-Walczak B.:** Metodyczne aspekty tworzenia bazy danych hydrofizycznych charakterystyk mineralnych gleb ornych Polski. *Acta Agrophysica*, 22, 245-251, 1999.

39. **Walczak R., Ostrowski J., Witkowska-Walczak B., Slawiński C.** Spatial characteristic of hydro-physical properties in arable mineral soils in Poland as illustrated by field water capacity (FWC). Int. Agrophysica, 16, 151-159, 2002.
40. **Walczak R., Ostrowski J., Witkowska-Walczak B., Slawiński C.:** Opracowanie bazy danych i map hydrofizycznych właściwości mineralnych gleb ornych Polski. Raport końcowy z grantu KBN Nr 5 P06B 012 15, 1-35, 2001.
41. **Walczak R., Slawiński C., Witkowska-Walczak B.:** Retencja i przewodnictwo wodne gleb murszowych i murszowatych Polski. *Acta Agrophysica*, 53, 201-209, 2001.
42. **Walczak R., Witkowska-Walczak B., Slawiński C.:** Charakterystyki hydrofizyczne gleb brunatnych i płowych Polski wytworzonych ze skał masywnych. *Acta Agrophysica*, 57, 159-168, 2001.
43. **Walczak R., Witkowska-Walczak B., Slawiński C.:** Retencja i przewodnictwo wodne czarnych ziem Polski. *Acta Agrophysica*, 53, 211-223, 2001.
44. **Walczak R., Witkowska-Walczak B., Slawiński C.:** Comparison of correlation models for the estimation of the retention characteristics of soil. Int. Agrophysics, 16, 1, 79-82, 2002.
45. **Wessolek G., Slawiński C., Sobczuk H., Stoffregen H., Walczak R.:** Determination of unsaturated conductivity of soil with different resolution of input data. Proc. Int. Conf.; Physical methods in Agriculture;, Prague, Czech Republic, August 27-30, 258-259, 2001.
46. **Witek T.:** Rolnicza przestrzeń produkcyjna w liczbach – Polska, Wyd. IUNG, Puławy, 1974.
47. **Witkowska-Walczak B.:** Woda w środowisku przyrodniczym. *Acta Agrophysica*, 53, 7-15, 2001.
48. **Witkowska-Walczak B., Slawiński C.:** Saturated hydraulic conductivity of soil aggregates samples derived from loess. J. Hydrology and Hydromechanics, 50,1, 1-9, 2002.
49. **Witkowska-Walczak B., Walczak R., Slawiński C.:** Charakterystyki potencjał wody glebowej - wilgotność czarnoziemów Polski. *Acta Agrophysica*. 22, 265-273, 1999.
50. **Witkowska-Walczak B., Walczak R., Slawiński C.:** Retencja wodna rędzin Polski. *Acta Agrophysica*, 38, 247-258, 2000.
51. **Witkowska-Walczak B., Walczak R., Slawiński C.:** Retencja wodna mad Polski. *Acta Agrophysica*, 38, 267-280, 2000.
52. **Witkowska-Walczak B., Walczak R., Slawiński C.:** Correlation model for water retention prediction with soil structure parameters. Polish J. Soil Sci., XXXV/1, 11-18, 2002.
53. **Wosten J.H., Finke P.A., Jansen M.J.:** Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. Geoderma, 66, 227-237.
54. **Wosten J.H.M., Lilly A., Nemes A., Le Bas C.:** Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmetal studies and in land use. Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, Report 156, 7-106, 1998.
55. **Zawadzki S.:** Gleboznawstwo. PWRiL, Warszawa, 1999.

10. STRESZCZENIE

Polska jest krajem, w którym deficyt wody, na tle innych państw Europy, jest szczególnie dotkliwy. Zatem, w Polsce, badania dotyczące parametryzacji gleb pod kątem ich hydrofizycznych charakterystyk oraz modelowania procesów akumulacji wody i przepływu roztworów w glebie mają decydujące znaczenie.

W niniejszej pracy przedstawiono statyczne i dynamiczne hydrofizyczne charakterystyki gleb ornych Polski. Charakterystyki te, tj. retencja wodna oraz przepuszczalność wodna w strefie nasyconej i nienasyconej, kształtują nie tylko bilans wodny gleb, ale mają także decydujący wpływ na warunki wzrostu, rozwoju i plonowania roślin. Determinują bowiem dostępność wody do systemu korzeniowego rośliny oraz przemieszczanie się jej wraz z rozpuszczonymi związkami chemicznymi do głębszych warstw gleby. Panujące w glebach warunki wilgotnościowe w zasadniczy sposób wpływają na ich właściwości cieplne i mechaniczne, decydując o kształtowaniu się temperatury w profilu glebowym, a także o warunkach i efektywności oddziaływań mechanicznych na gleby podczas stosowania zabiegów agrotechnicznych. Znajomość hydrofizycznych charakterystyk jest zatem niezbędna do interpretacji i przewidywania przebiegu praktycznie wszystkich procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w glebach, a modelowanie tych procesów wymaga reprezentatywnych danych o ich hydrofizycznych charakterystykach

Niniejsza praca wypełnia lukę usystematyzowanej wiedzy o ważnych i trudnych do zbadania właściwościach mineralnych gleb ornych Polski. Z przedstawionych uogólnień, sformułowanych na podstawie ujednoliconego systemu pomiarów z setek próbek gleb, wyłania się interesująca, kompleksowa ich charakterystyka udokumentowana przez dwie jakości:

- uśrednione wartości liczbowe poszczególnych hydrofizycznych charakterystyk gleb zestawione w formie tabelarycznej,
- kartograficzną prezentację zmienności i zróżnicowania pokrywy glebowej gruntów ornych ze względu na wartości tych charakterystyk.

Zebrany, opracowany i skomentowany w niniejszej pracy materiał daje możliwość głębszego wniknięcia i sformułowania podstaw przestrzennej gospodarki wodnej gleb uprawnych Polski.

11. SUMMARY

Poland is a country in which water deficit, against a background of other European countries, is especially severe. Therefore, it is extremely important just in Poland to perform investigations concerning soils parametrization from the point of view of their hydrophysical characteristics and modelling the processes of water accumulation and solutes movement in the soil.

In the present paper the static and dynamic hydrophysical characteristics of Polish arable soils are presented. These characteristics, i.e. water retention and water permeability in saturated and unsaturated zones, determine not only the soil water balance but they have also a decisive influence on plant growth, development and yielding conditions. It is because these characteristics determine the water availability for the plant rooting system and water migration with the dissolved chemicals to the deeper soil layers. The humidity conditions in soils essentially influence their heat and mechanical conditions, deciding about temperature distribution in the soil profile and about the conditions and efficiency of mechanical actions to the soil during the application of cultivation measures. The knowledge of hydrophysical characteristics is therefore indispensable for interpretation and prediction of practically all physical, chemical and biological processes occurring in soils, whereas the modelling of these processes requires the representative data of soils hydrophysical characteristics.

The present paper fills a gap of systematised knowledge about important and difficult to investigate properties of Polish arable mineral soils. From the presented generalisations, formulated on the base of a standardised measurement system of hundreds of soil samples, an interesting and complex characteristic comes into view, documented by two qualities:

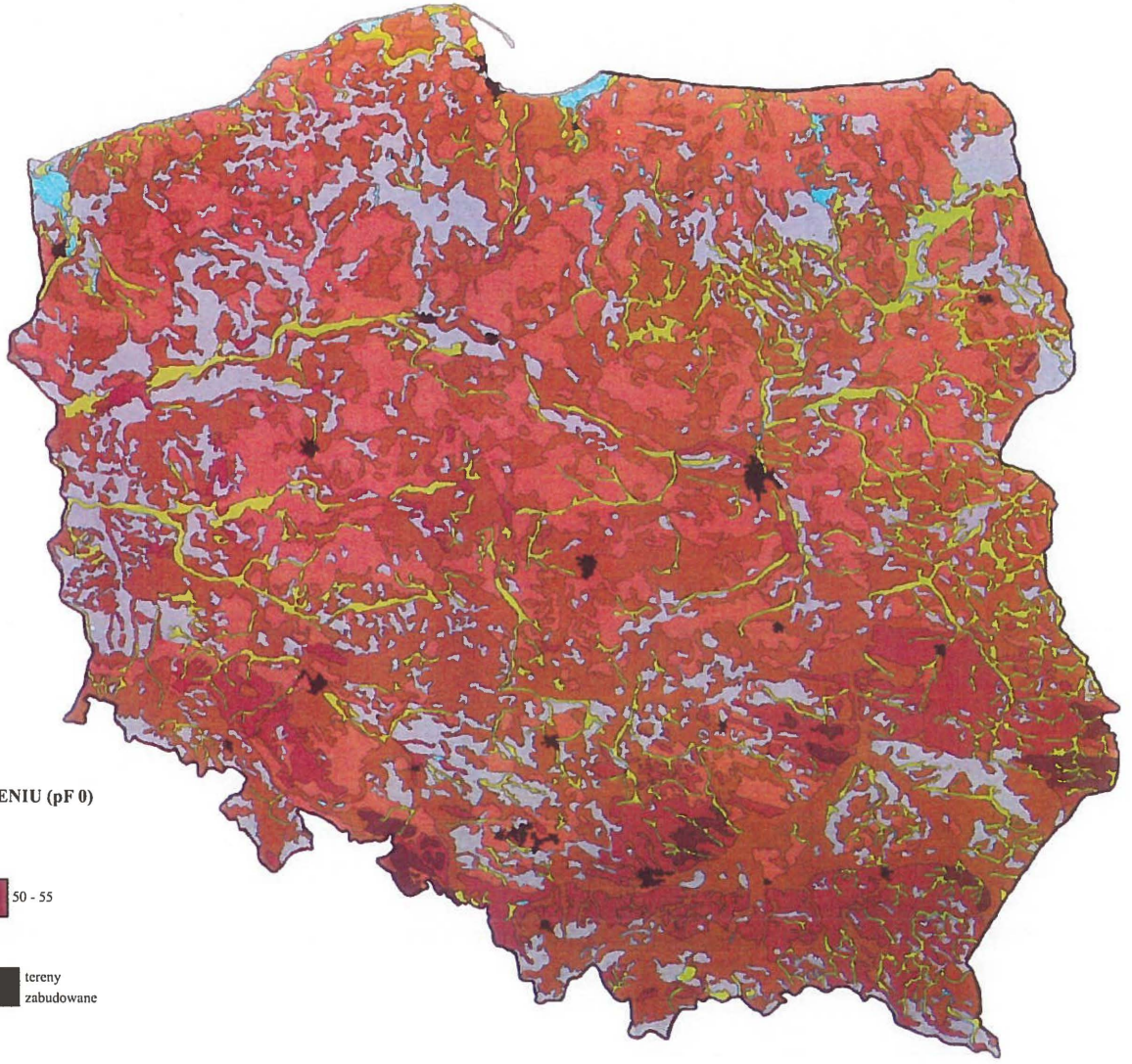
- averaged numerical values of particular soil hydrophysical characteristics set into tabular form,
- cartographic presentation of variability and differentiation of soil cover of arable lands according to the values of these characteristics.

The material gathered, elaborated and commented in this paper enables to more profoundly view into for the spacious water management of Polish arable soils and to formulate its bases.

Adresy autorów:
Ryszard T. Walczak,
Barbara Witkowska-Walczak,
Cezary Sławiński
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

Janusz Ostrowski
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych
Falenty
05-090 Raszyn

1



MAPA RETENCJI WODY PRZY NASYCENIU (pF 0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

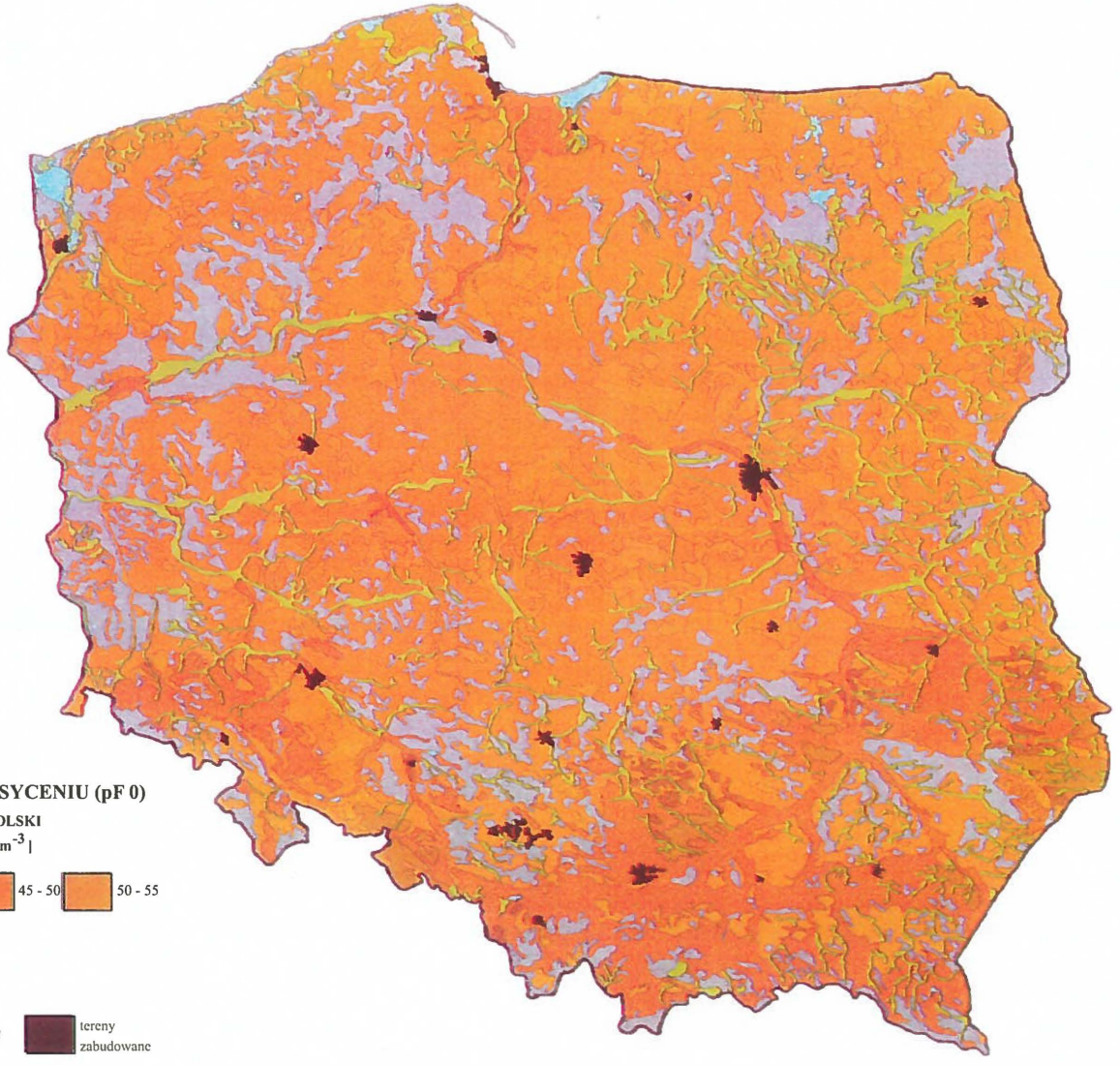
warstwa orna, W [% $cm^3 cm^{-3}$]

35 - 40 | 40 - 45 | 45 - 50 | 50 - 55

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

2



MAPA RETENCJI WODY PRZY NASYCENIU (pF 0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

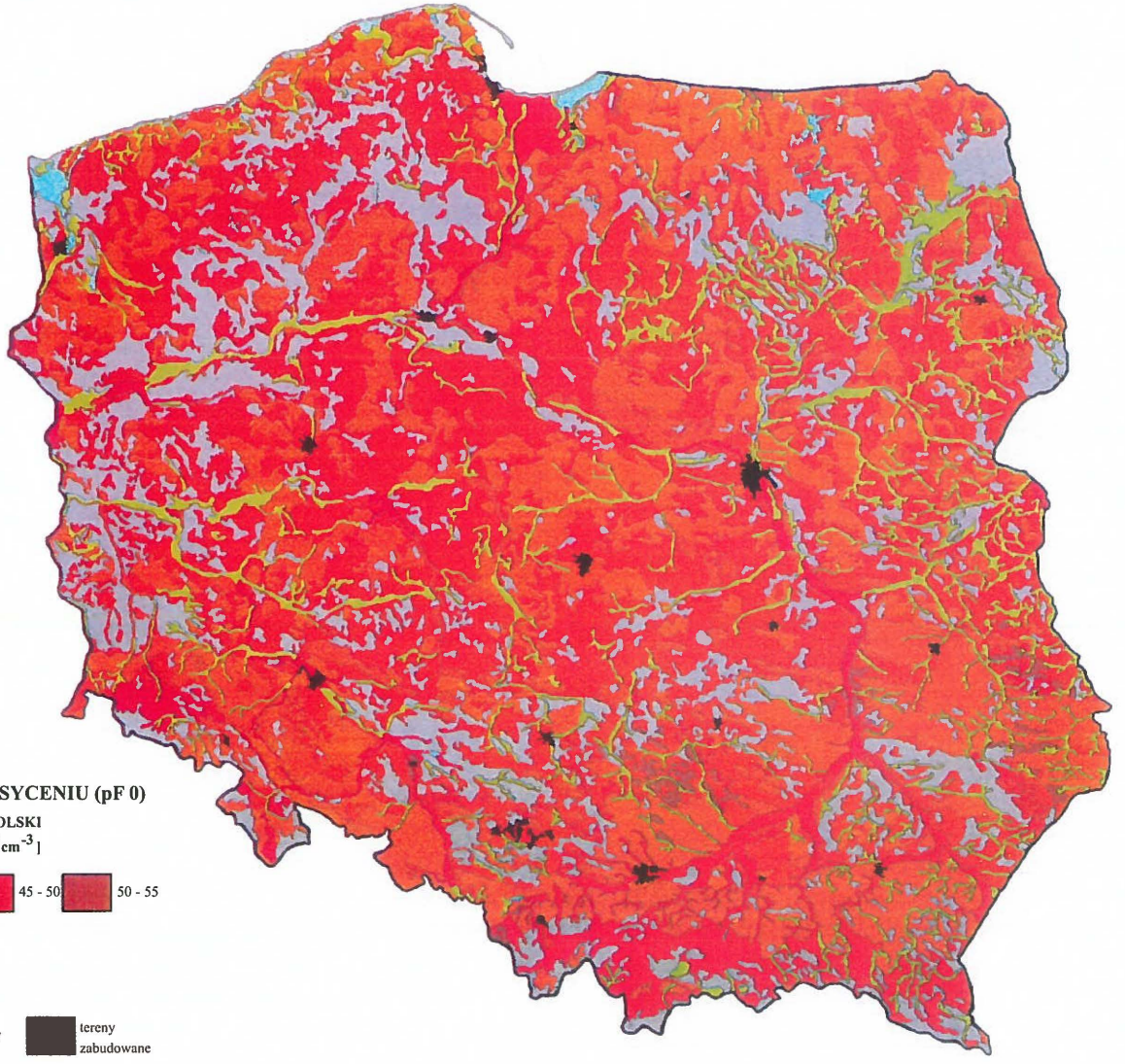
warstwa podorna, W [% cm^3 cm^{-3}]

25 - 30 | 35 - 40 | 40 - 45 | 45 - 50 | 50 - 55

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

3



MAPA RETENCJI WODY PRZY NASYCENIU (pF 0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

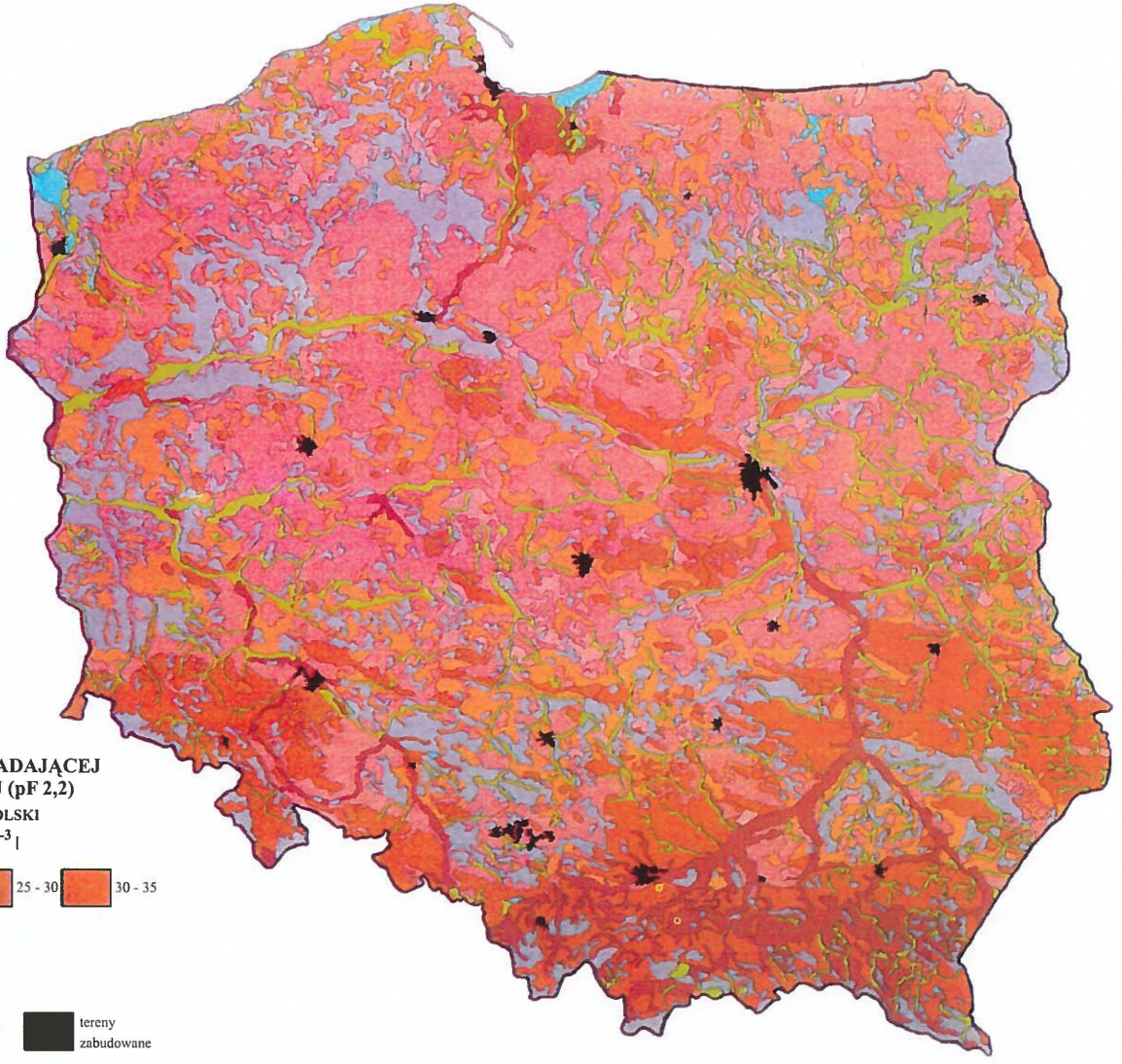
warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

30 - 35 | 35 - 40 | 40 - 45 | 45 - 50 | 50 - 55

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

4



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ POLOWEJ POJEMNOŚCI WODNEJ (pF 2,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

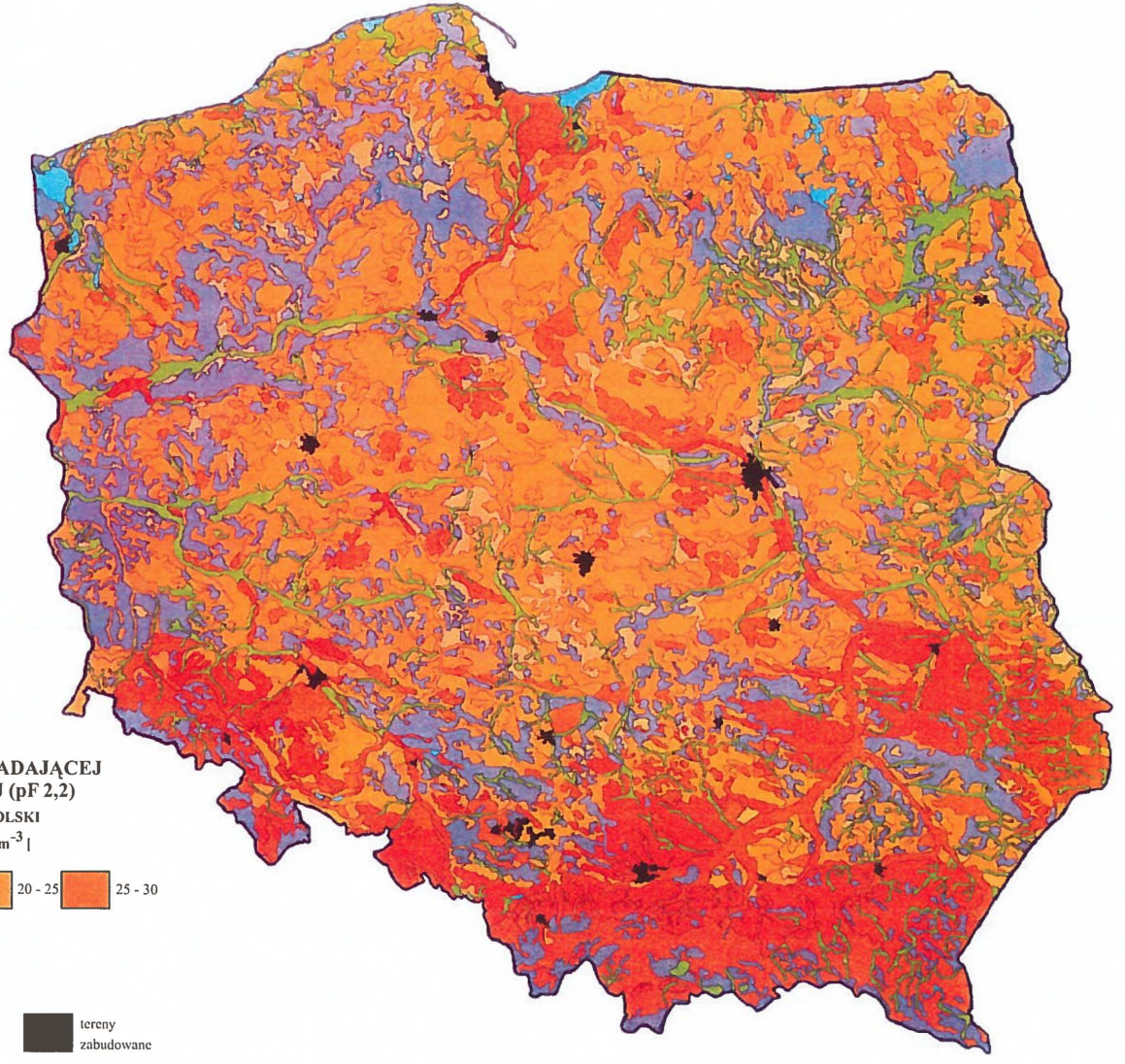
warstwa orna, W [% cm^3 cm^{-3}]

10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30 | 30 - 35 | 35 - 40

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

5



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ POLOWEJ POJEMNOŚCI WODNEJ (pF 2,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

warstwa podorna, W [% cm^3 cm^{-3}]

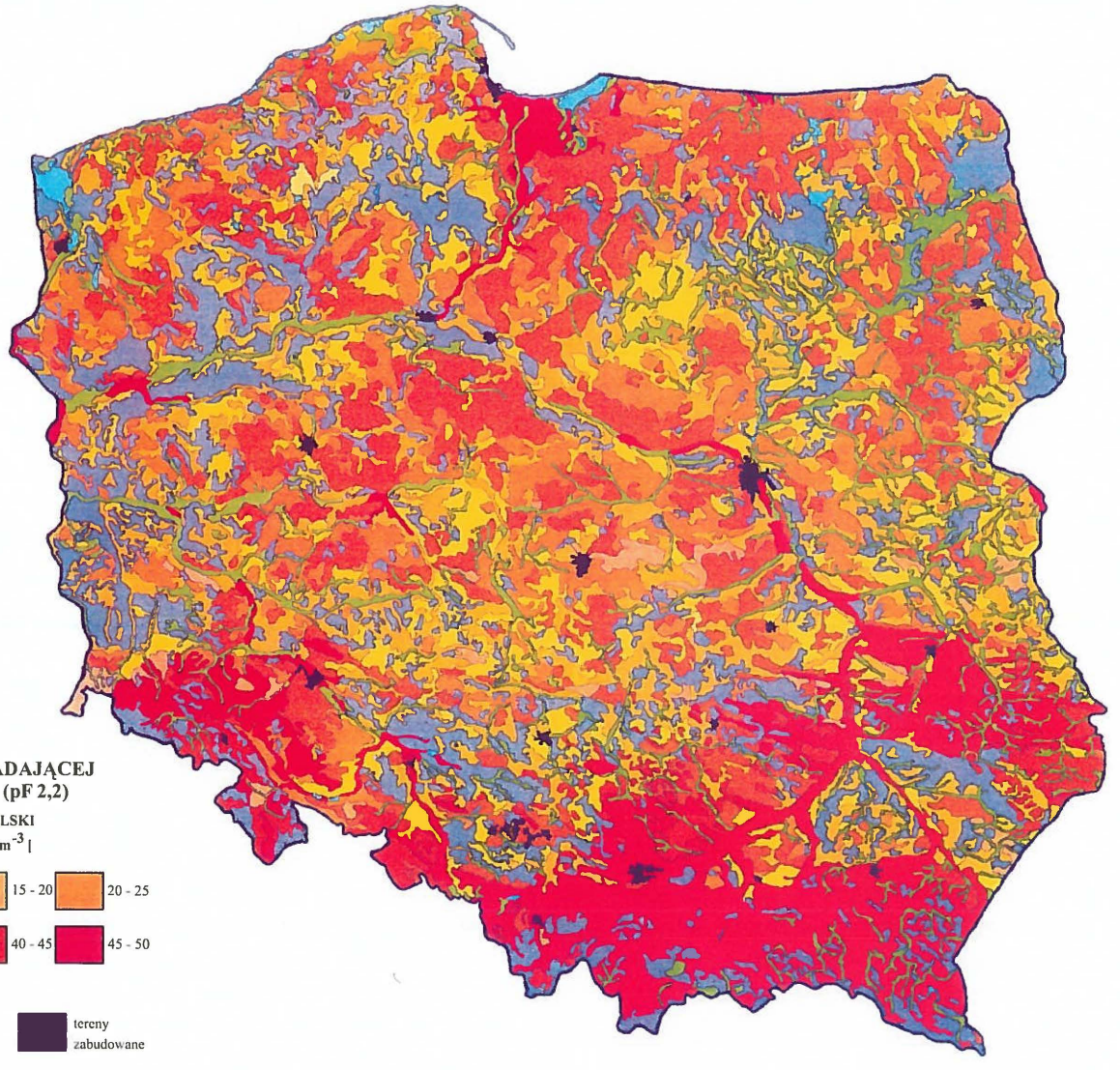
5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30

30 - 35 | 35 - 40 | 40 - 45

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

6



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ POLOWEJ POJEMNOŚCI WODNEJ (pF 2,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

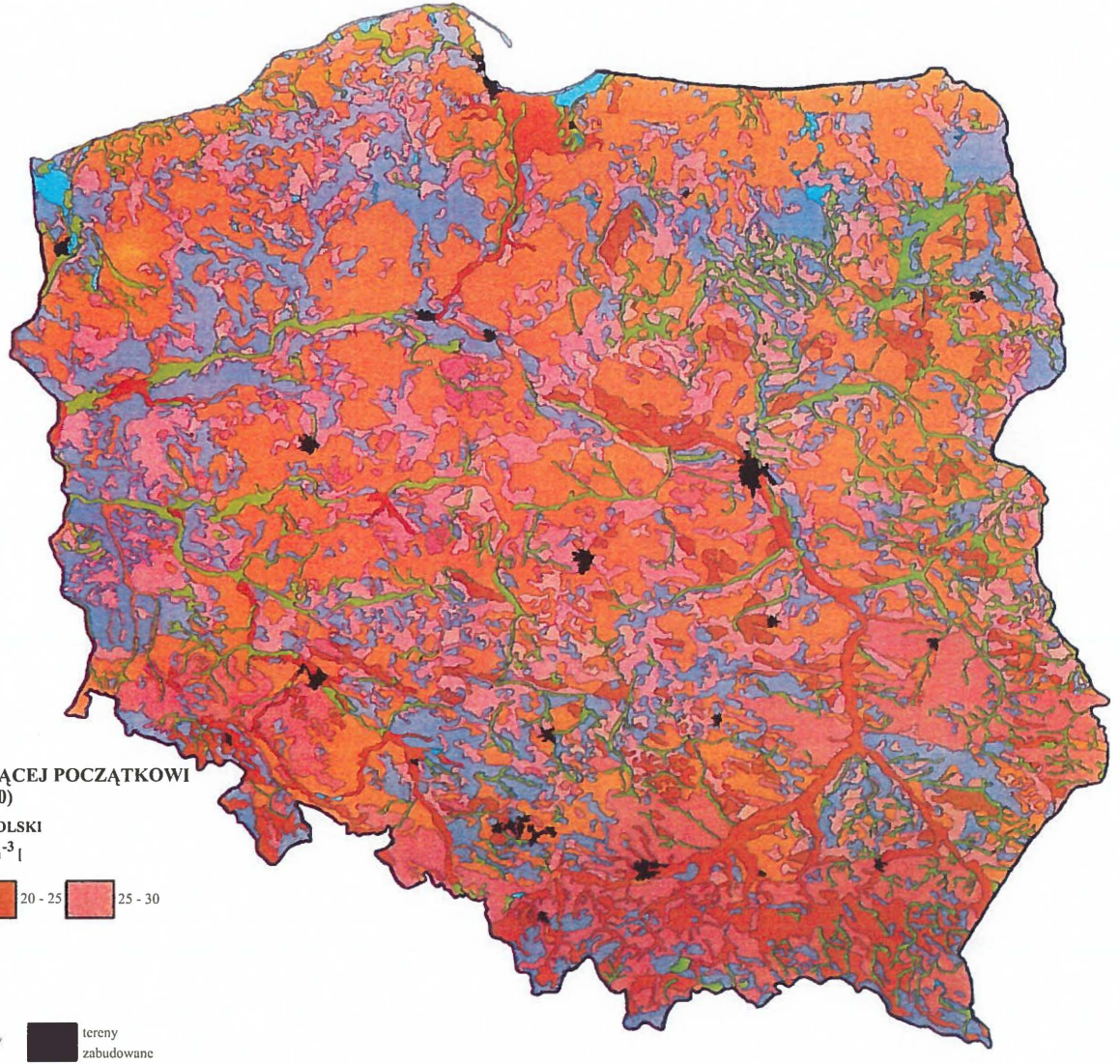
0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25

25 - 30 | 30 - 35 | 35 - 40 | 40 - 45 | 45 - 50

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

7



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ POCZĄTKOWI HAMOWANIA WZROSTU ROŚLIN (pF 3,0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

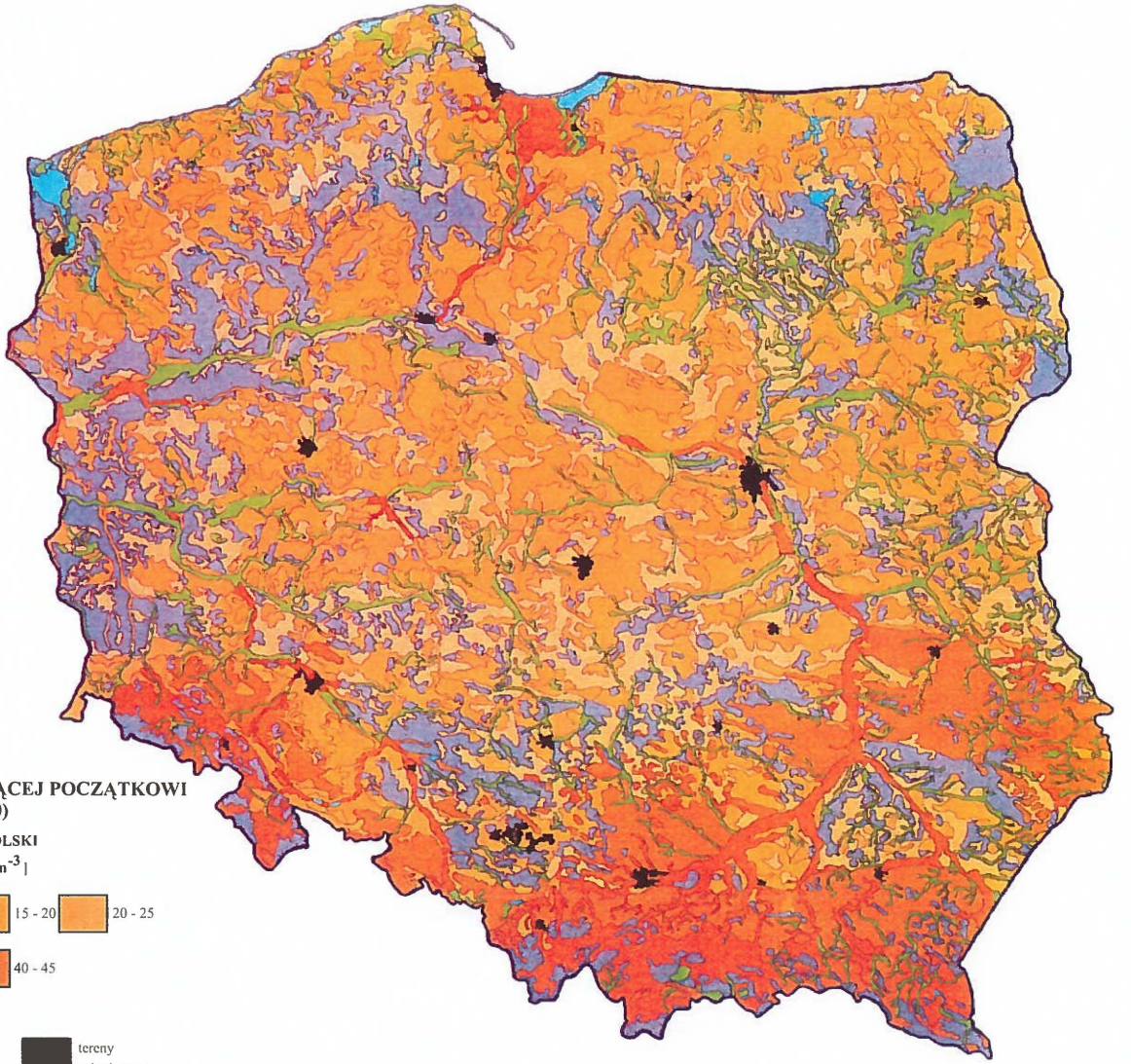
warstwa orna, W [% cm^3 cm^{-3} [

5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30 | 30 - 35

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

8



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ POCZĄTKOWI HAMOWANIA WZROSTU ROŚLIN (pF 3,0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

warstwa podorna, W [% cm^3 cm^{-3}]

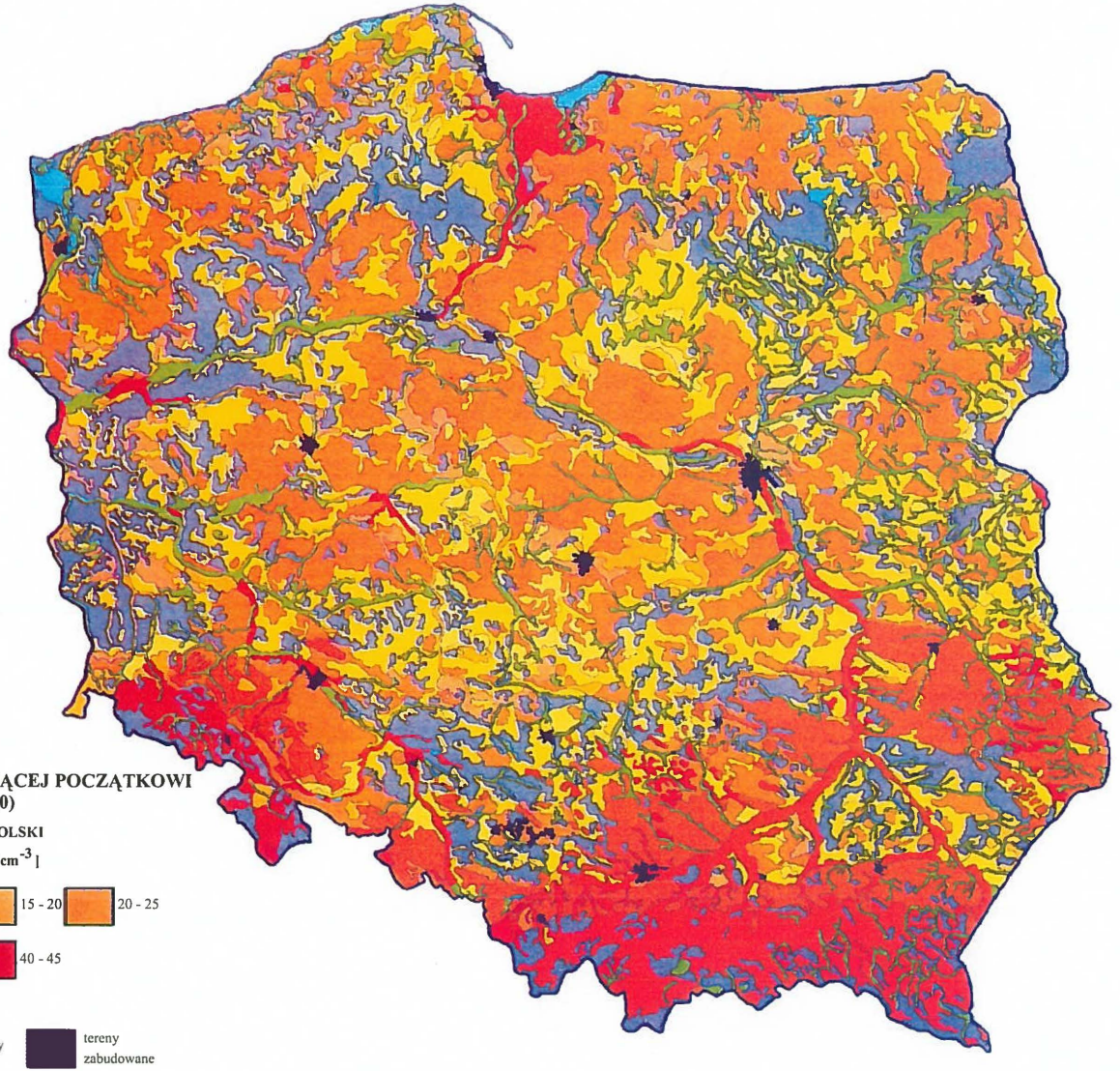
0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25

25 - 30 | 30 - 35 | 35 - 40 | 40 - 45

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

9



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ POCZĄTKOWI HAMOWANIA WZROSTU ROŚLIN (pF 3,0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

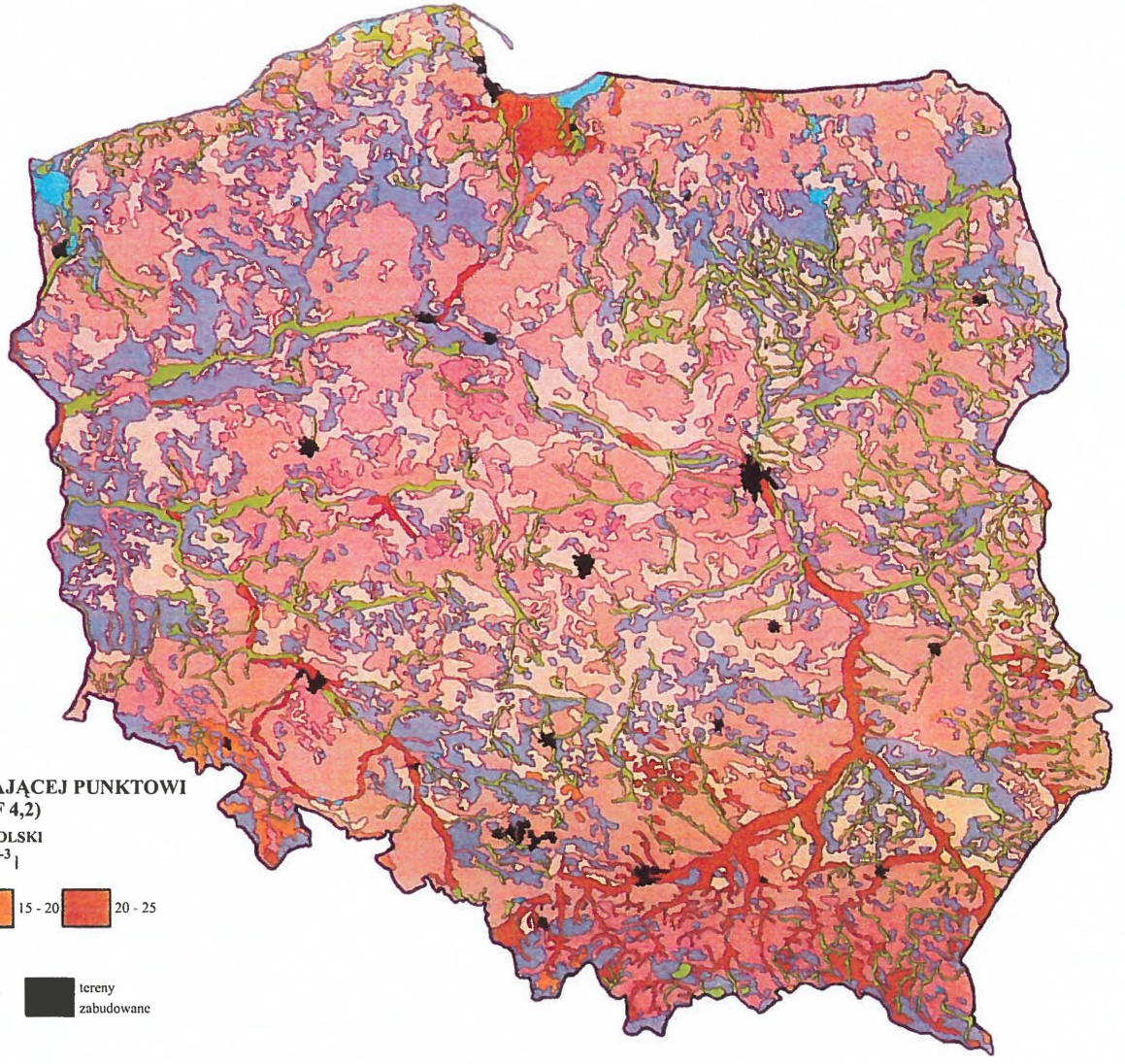
0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25

25 - 30 | 30 - 35 | 35 - 40 | 40 - 45

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

10



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ PUNKTOWI TRWAŁEGO WIĘDNIĘCIA ROŚLIN (pF 4,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

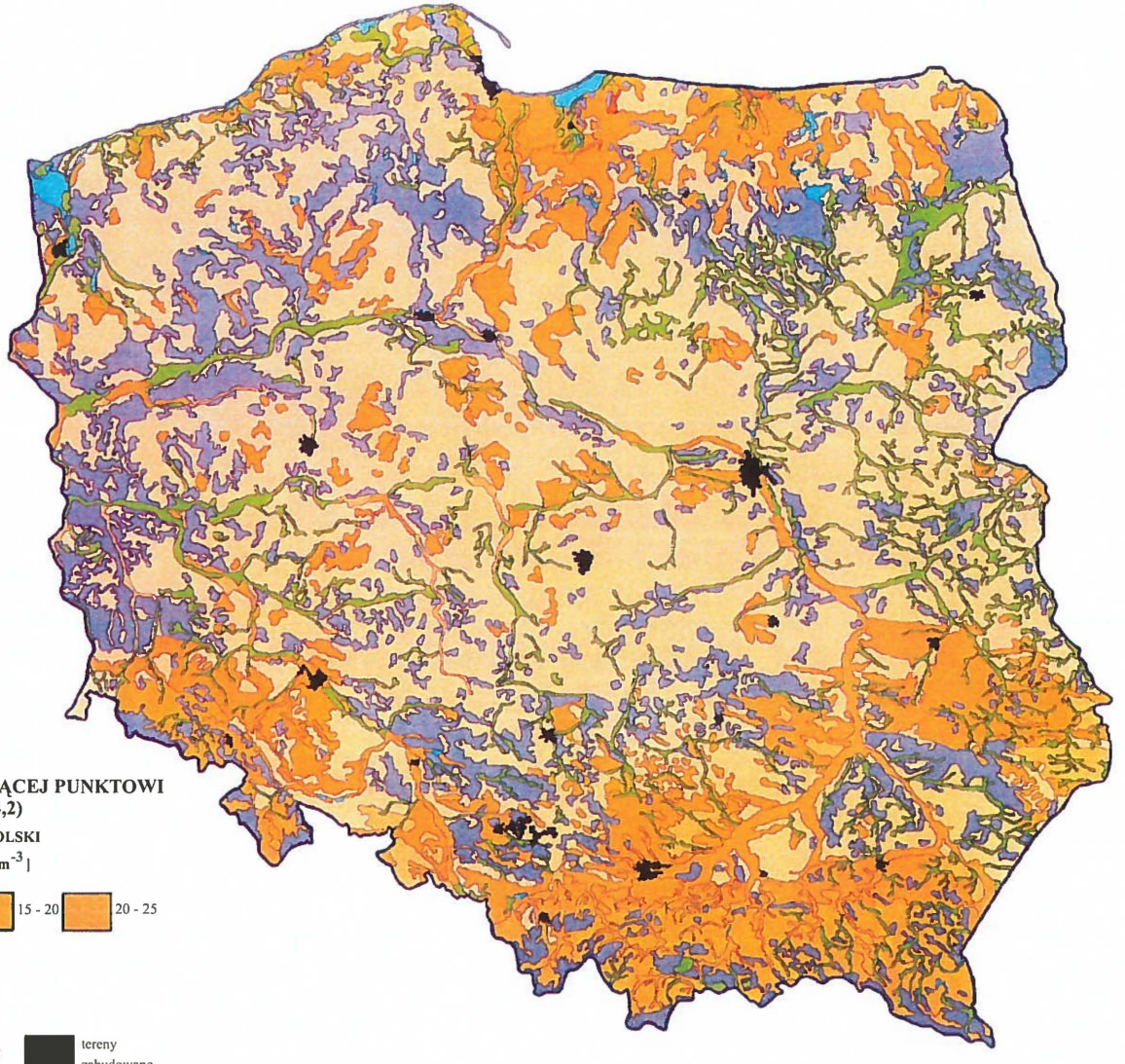
warstwa orna, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

11



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ PUNKTOWI TRWAŁEGO WIĘDNIĘCIA ROŚLIN (pF 4,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

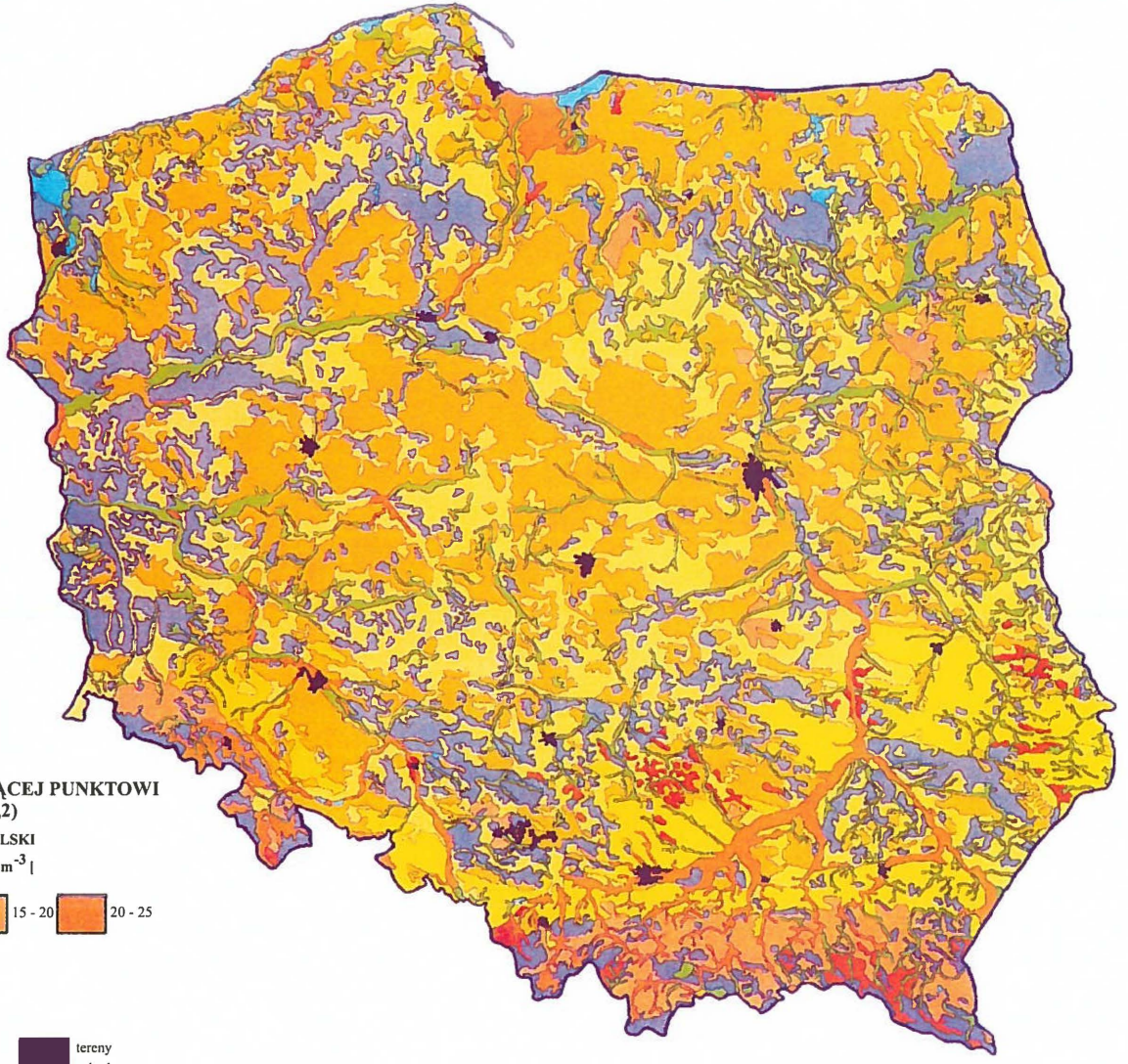
warstwa podorna, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 30 - 35

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

12



MAPA RETENCJI WODY ODPOWIADAJĄCEJ PUNKTOWI TRWAŁEGO WIĘDNIĘCIA ROŚLIN (pF 4,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

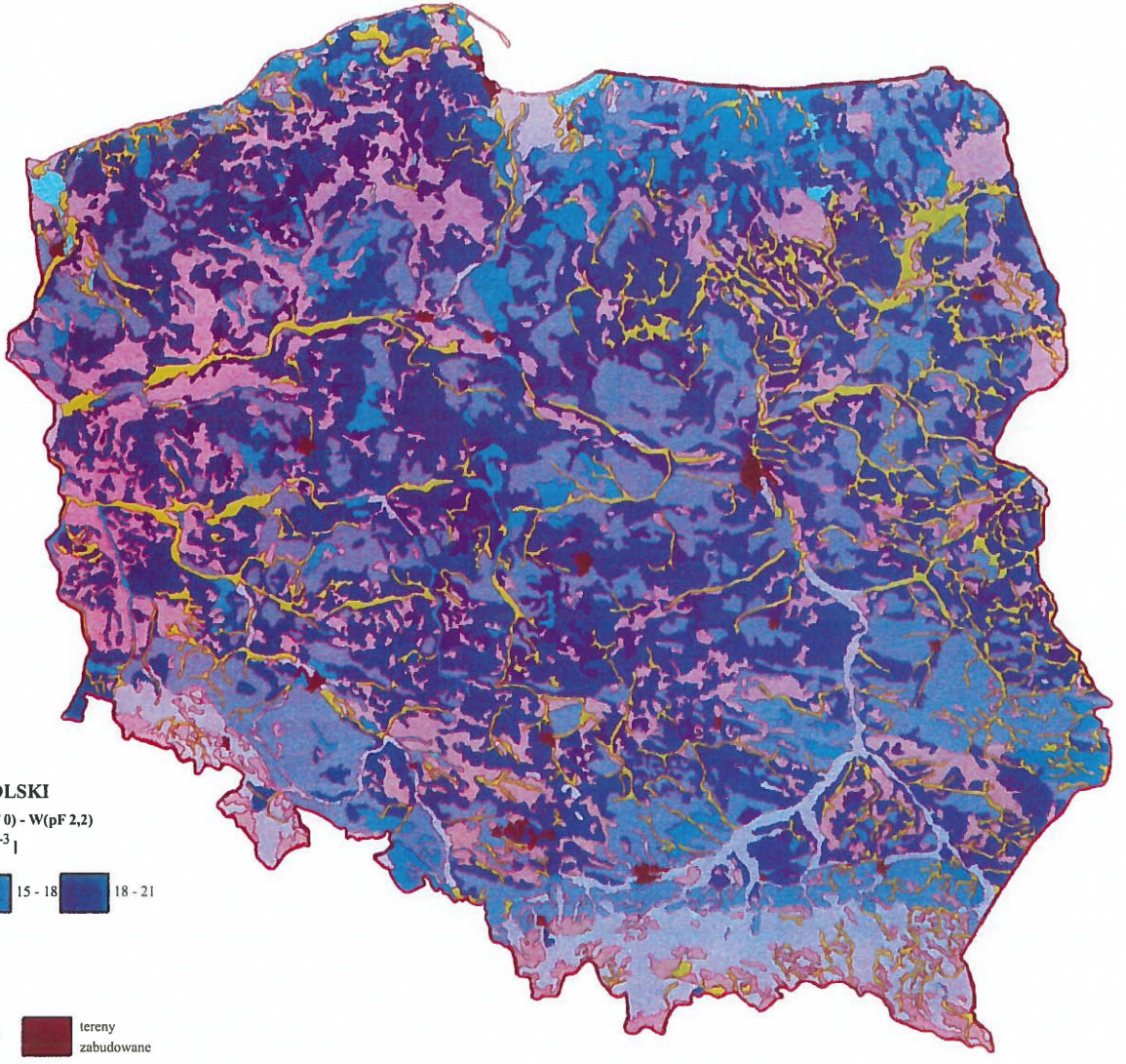
warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30 | 30 - 35

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

13



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA WOLNA GRAWITACYJNA W(pF 0) - W(pF 2,2)

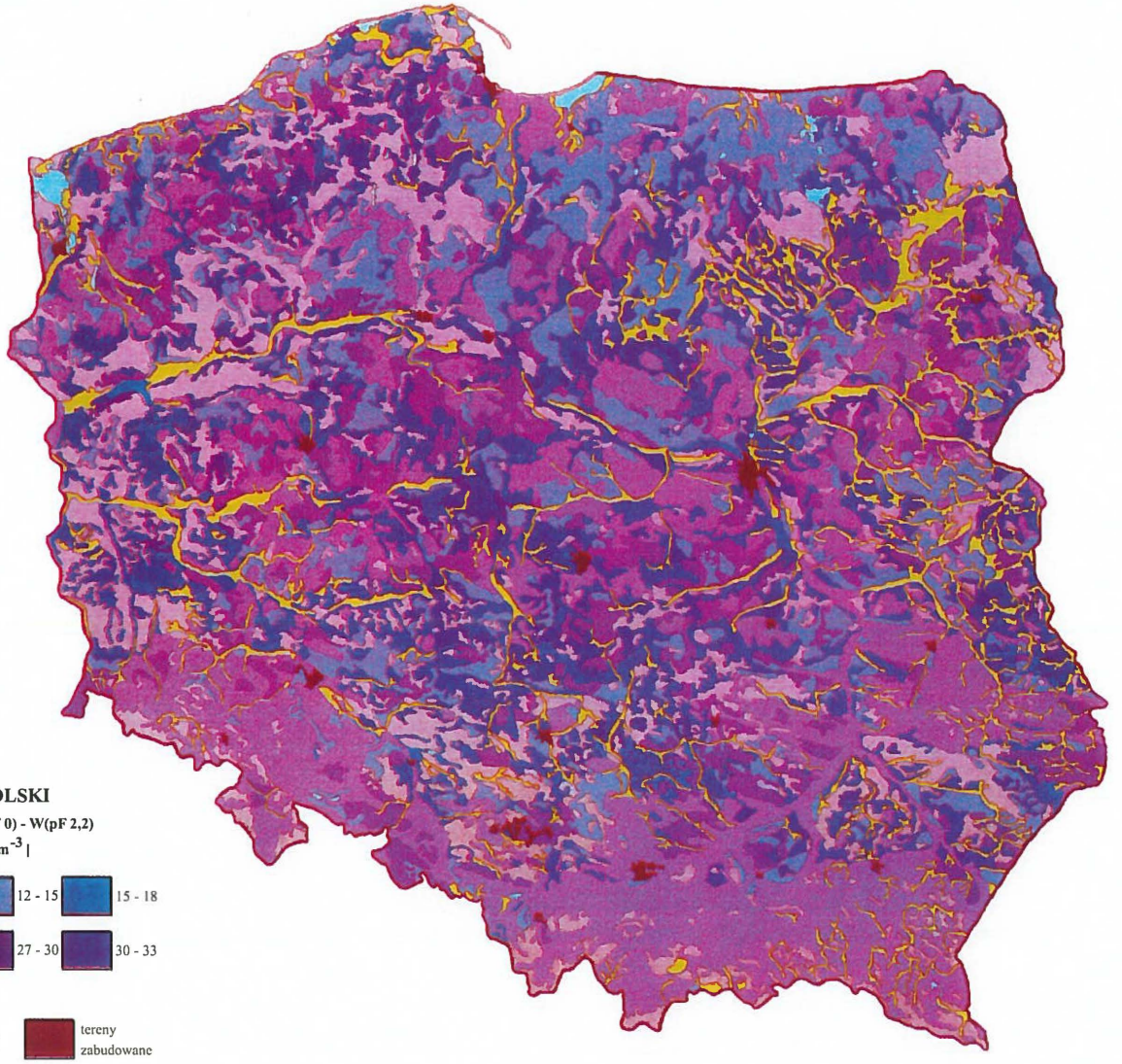
warstwa orna, W [% cm^3 cm^{-3}]

6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18 | 18 - 21 | 21 - 24 | 27 - 30

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

14



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA WOLNA GRAWITACYJNA W(pF 0) - W(pF 2,2)

warstwa podorna, W |% cm^3 cm^{-3} |

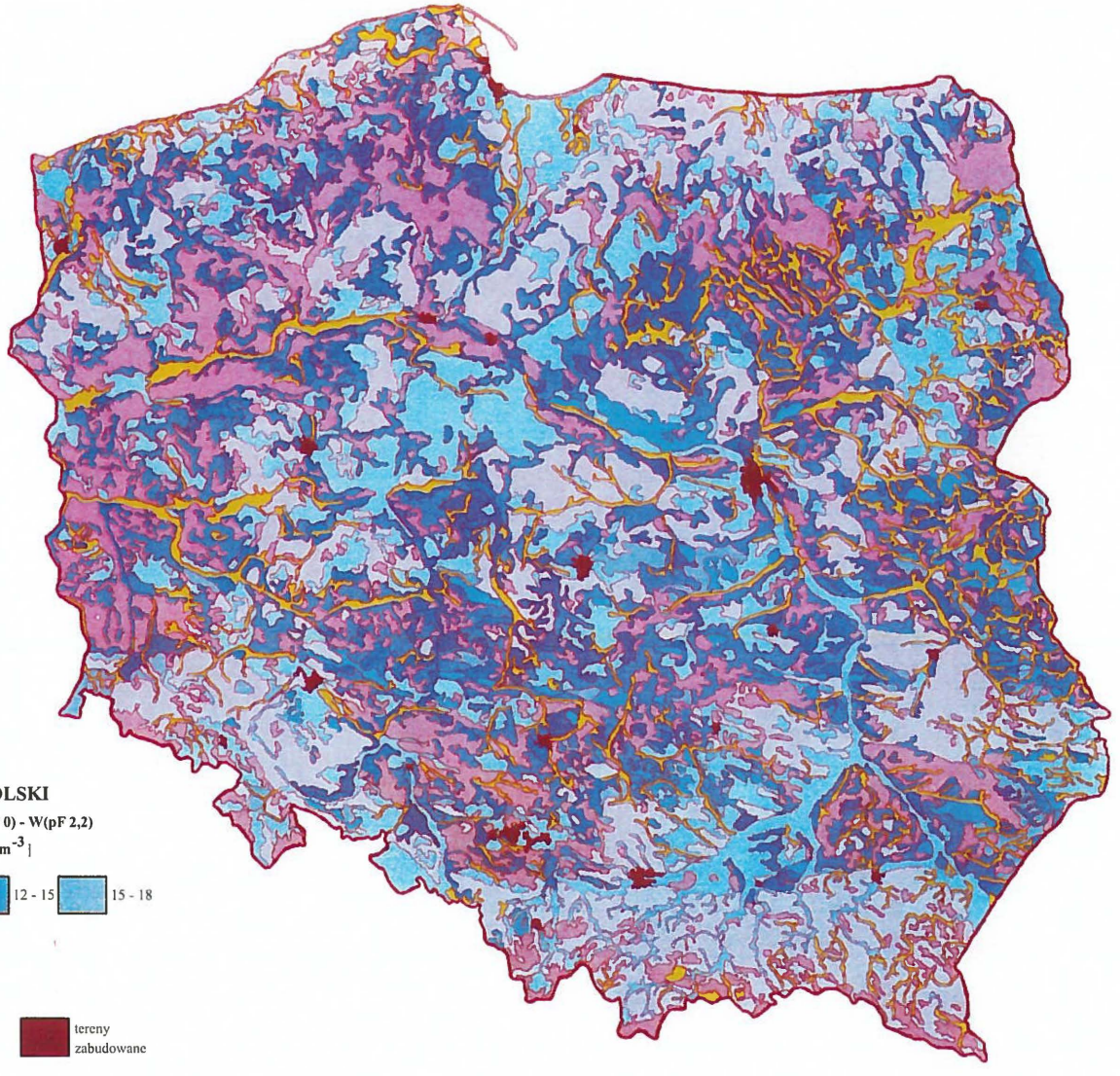
3 - 6 | 6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18

18 - 21 | 21 - 24 | 24 - 27 | 27 - 30 | 30 - 33

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

15



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA WOLNA GRAWITACYJNA W(pF 0) - W(pF 2,2)

warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

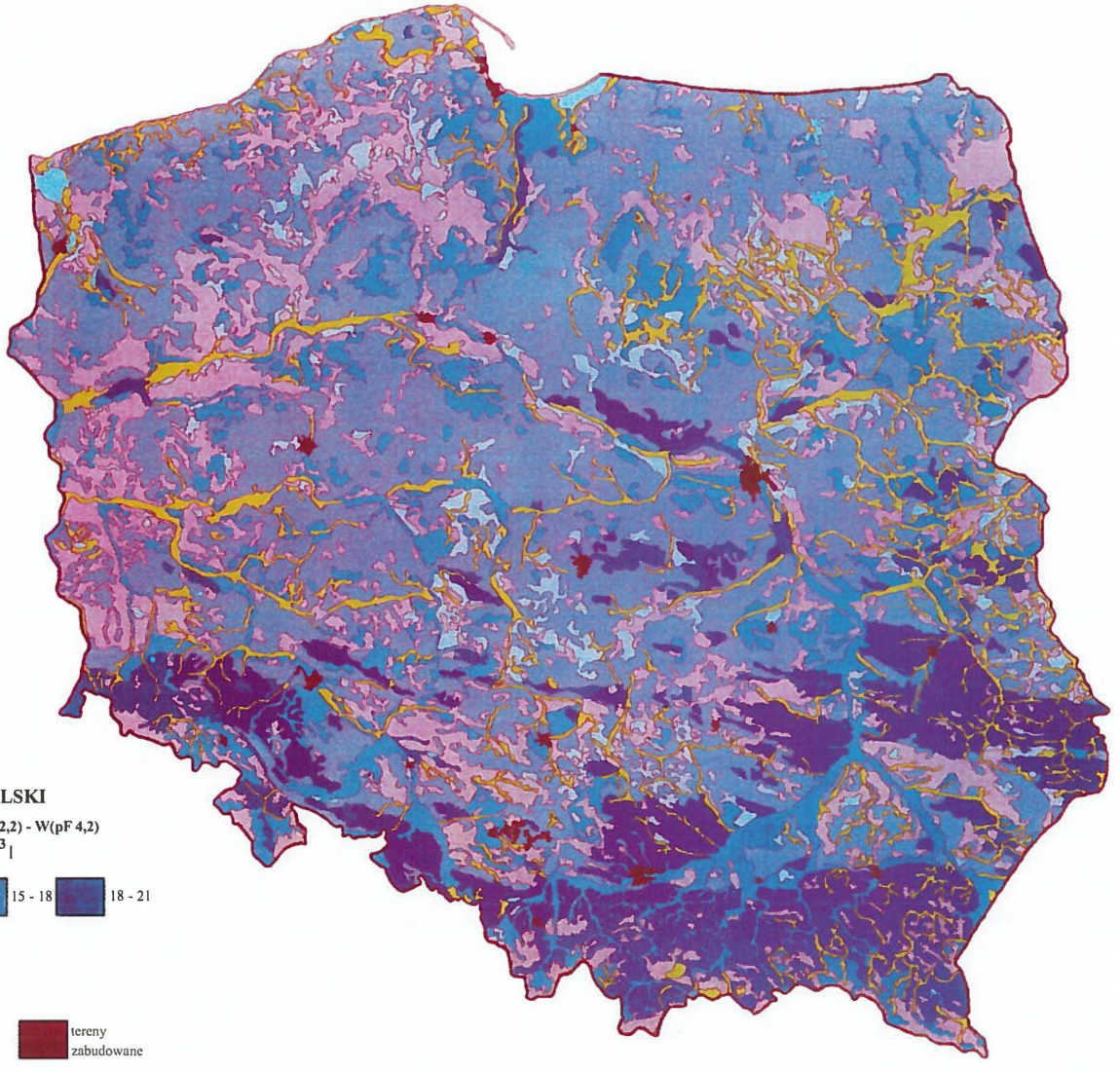
3 - 6 | 6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18

24 - 27 | 27 - 30 | 33 - 36

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

16



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA UŻYTECZNA DLA ROŚLIN W(pF 2,2) - W(pF 4,2)

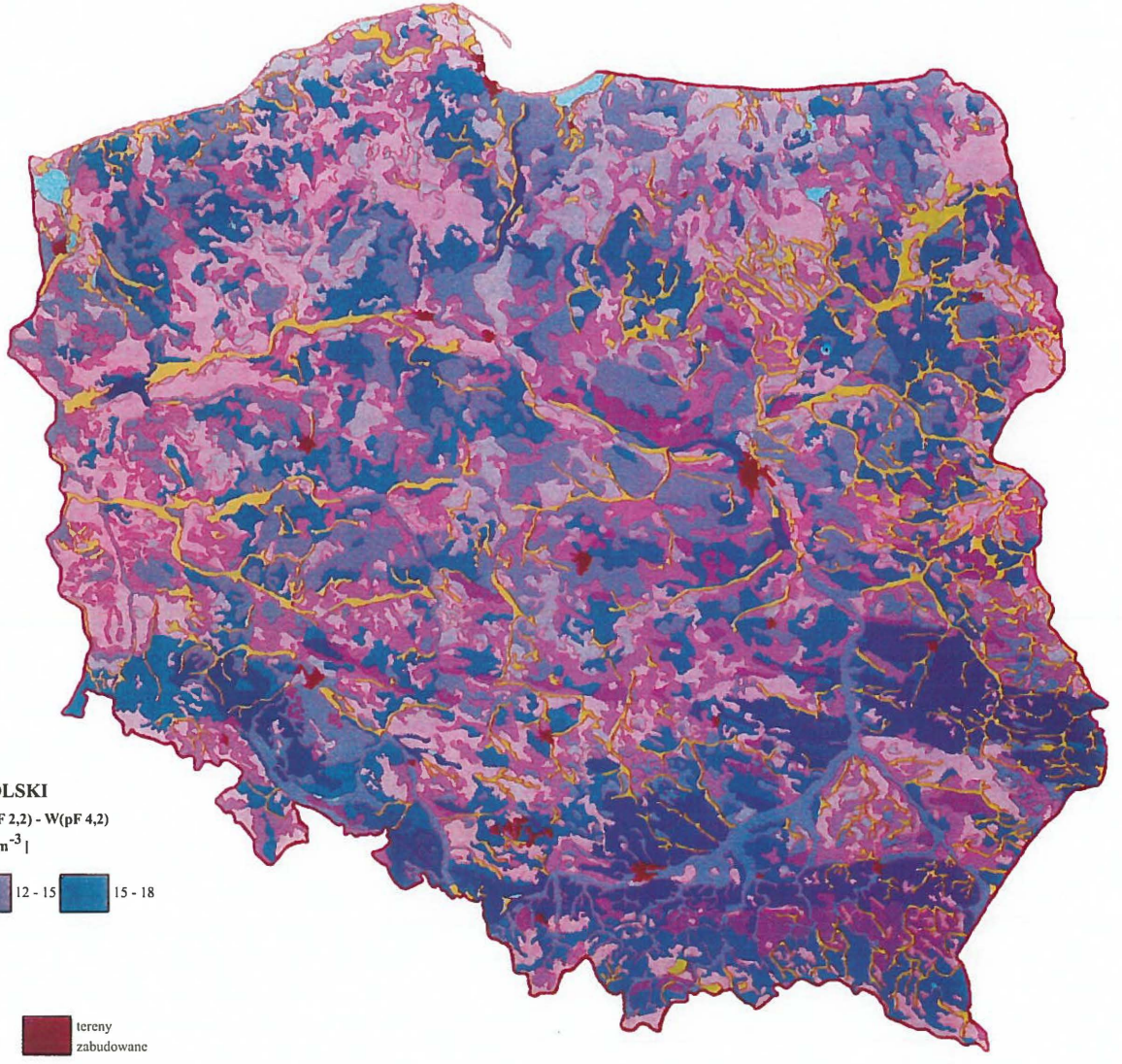
warstwa orna, W [% cm^3 cm^{-3}]

6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18 | 18 - 21 | 21 - 24 | 24 - 27

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

17



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA UŻYTECZNA DLA ROŚLIN W(pF 2,2) - W(pF 4,2)

warstwa podorna, W [% cm^3 cm^{-3}]

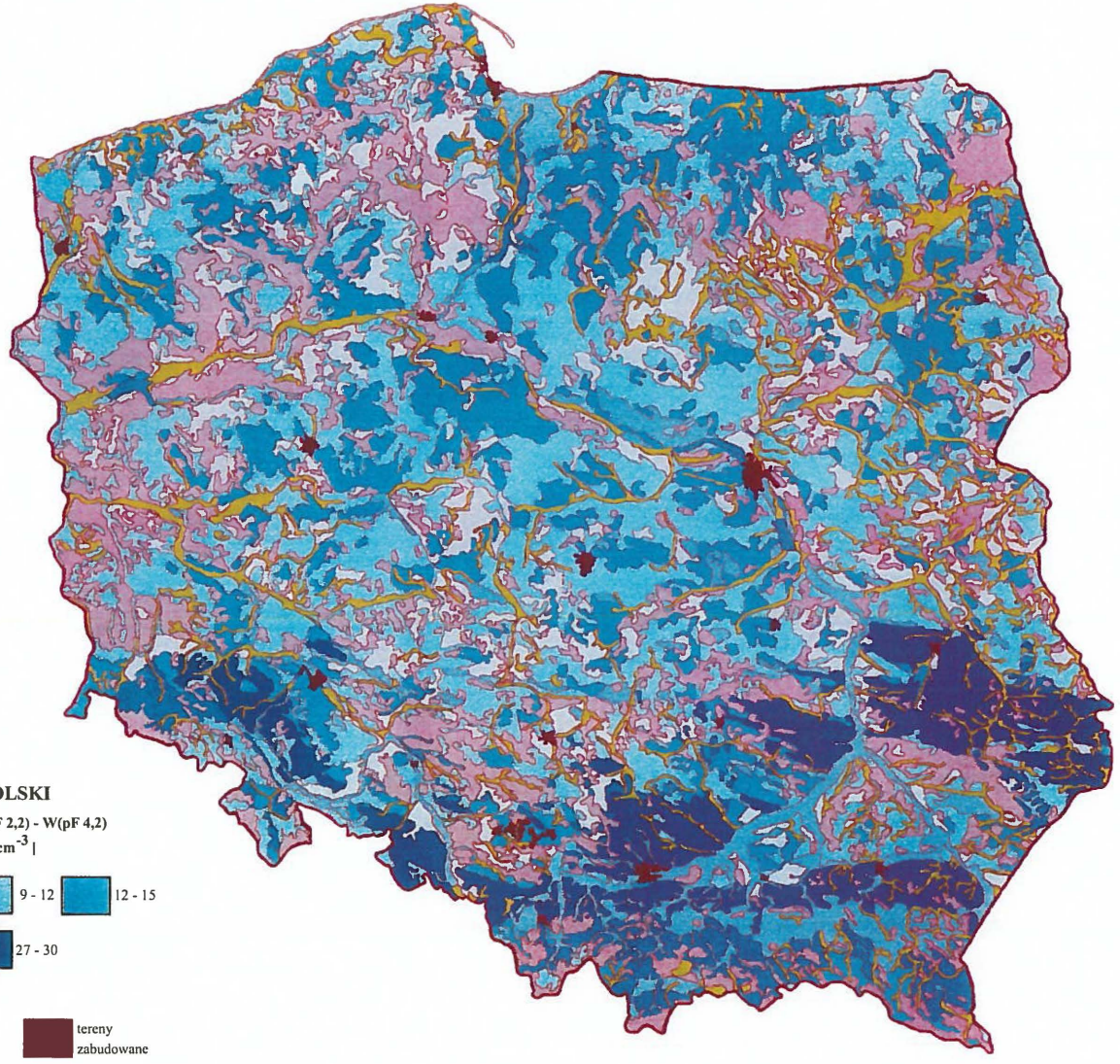
3 - 6 | 6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18

18 - 21 | 21 - 24 | 24 - 27

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

18



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA UŻYTECZNA DLA ROŚLIN W(pF 2,2) - W(pF 4,2)

warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

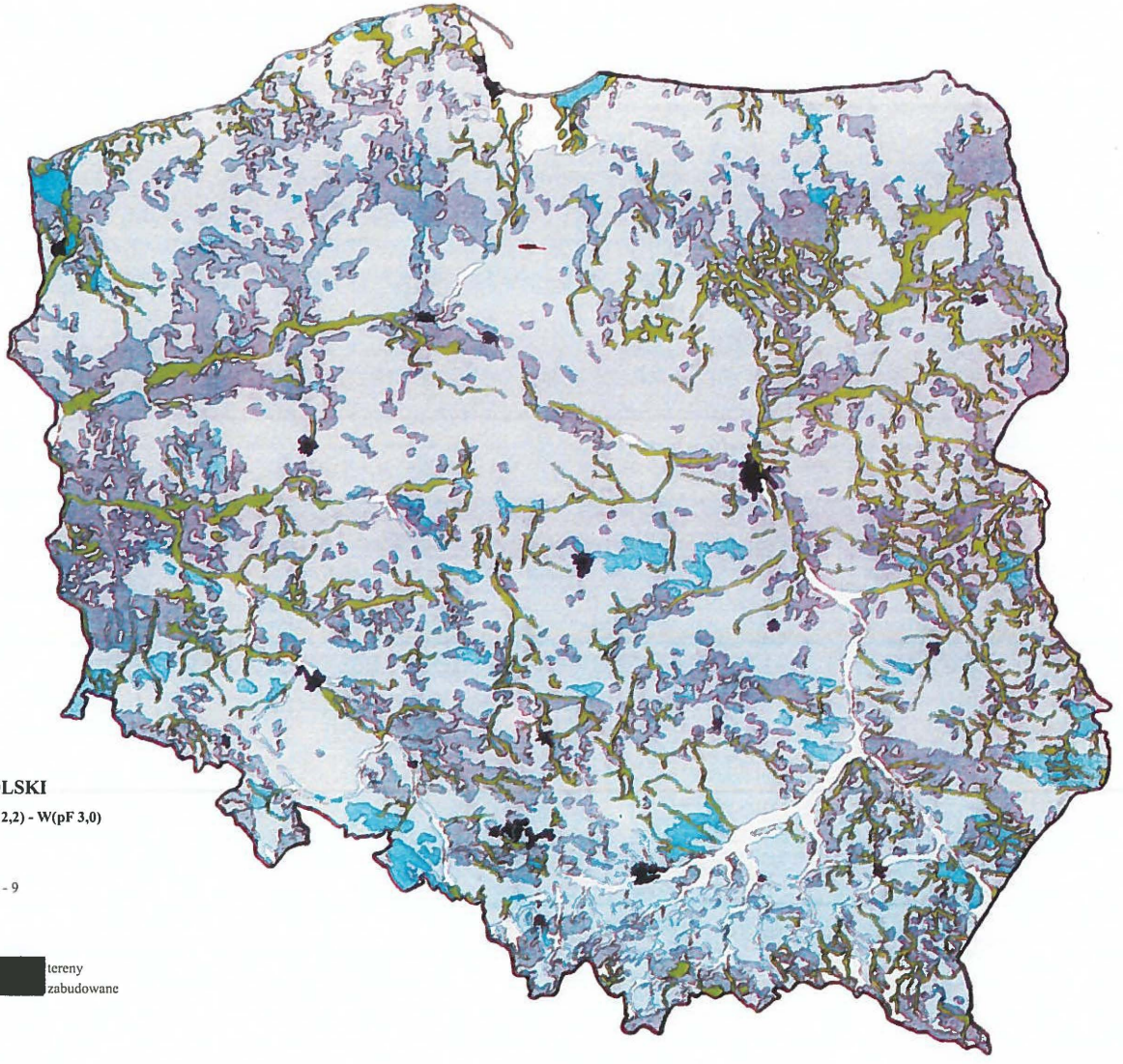
0 - 3 | 3 - 6 | 6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15

15 - 18 | 18 - 21 | 21 - 24 | 27 - 30

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

19



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA ŁATWO DOSTĘPNA DLA ROŚLIN W(pF 2,2) - W(pF 3,0)

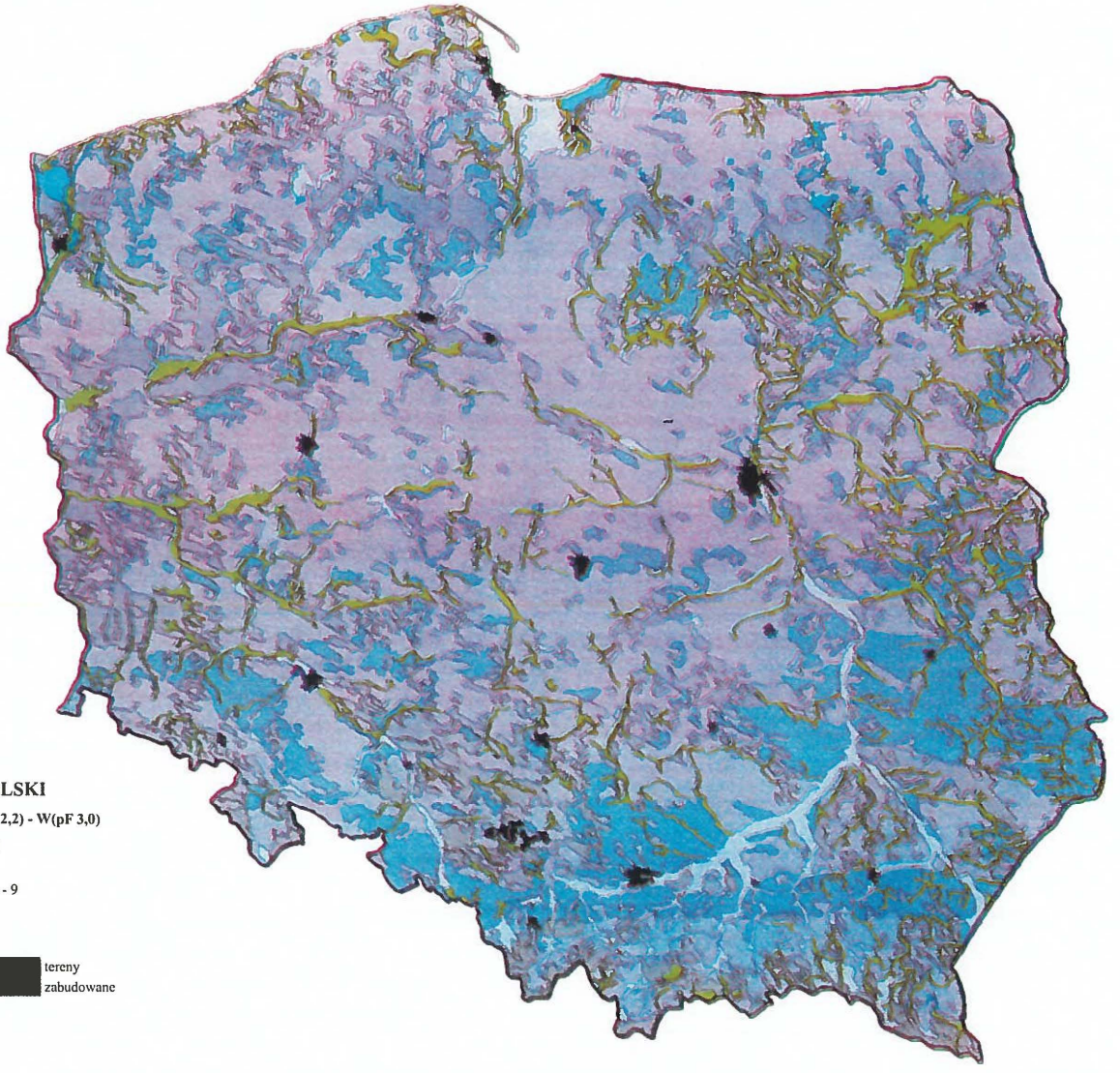
warstwa orna, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 3 | 3 - 6 | 6 - 9

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

20



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA ŁATWO DOSTĘPNA DLA ROŚLIN W(pF 2,2) - W(pF 3,0)

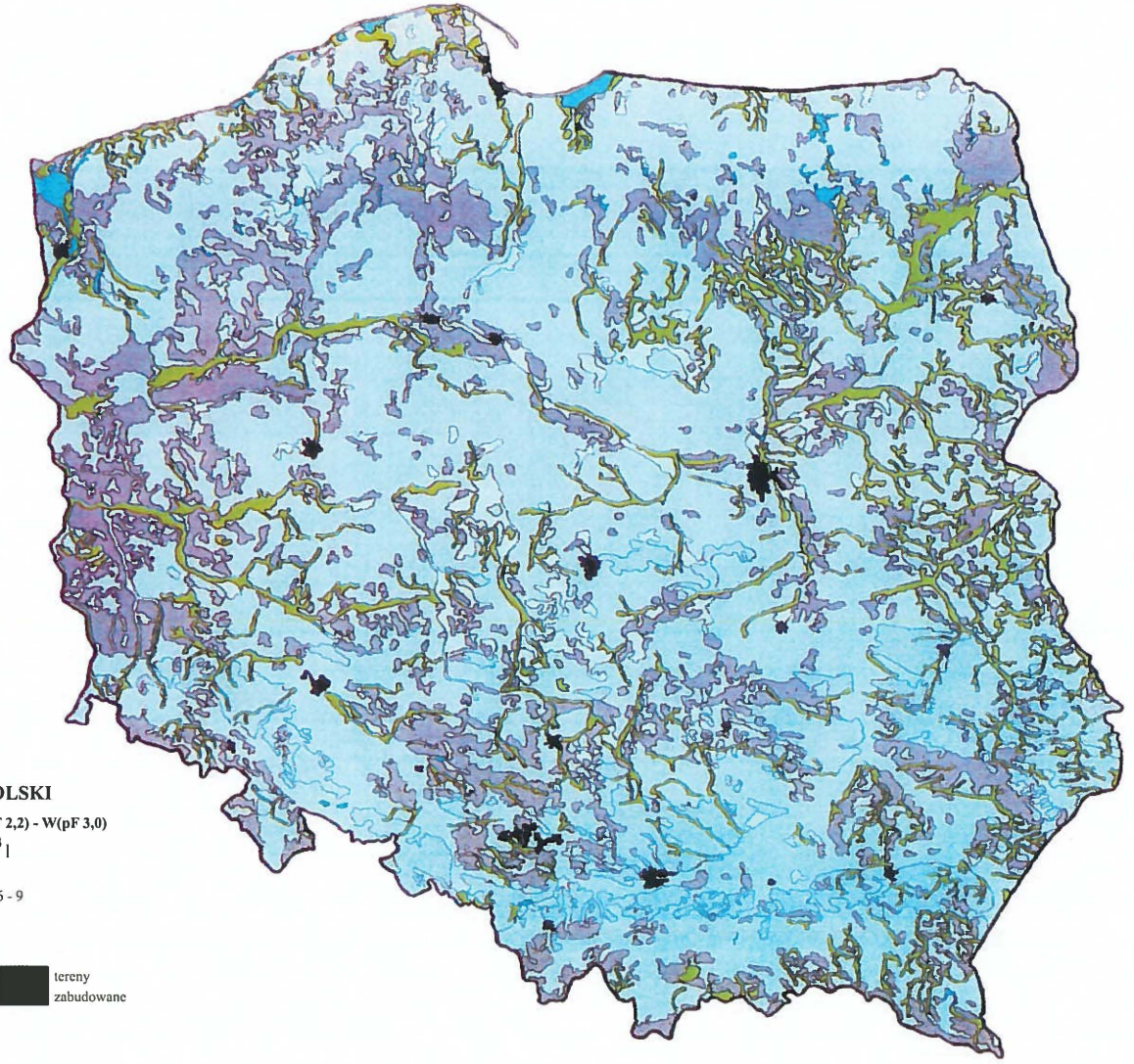
warstwa podorna, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 3 | 3 - 6 | 6 - 9

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

21



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA ŁATWO DOSTĘPNA DLA ROŚLIN W(pF 2,2) - W(pF 3,0)

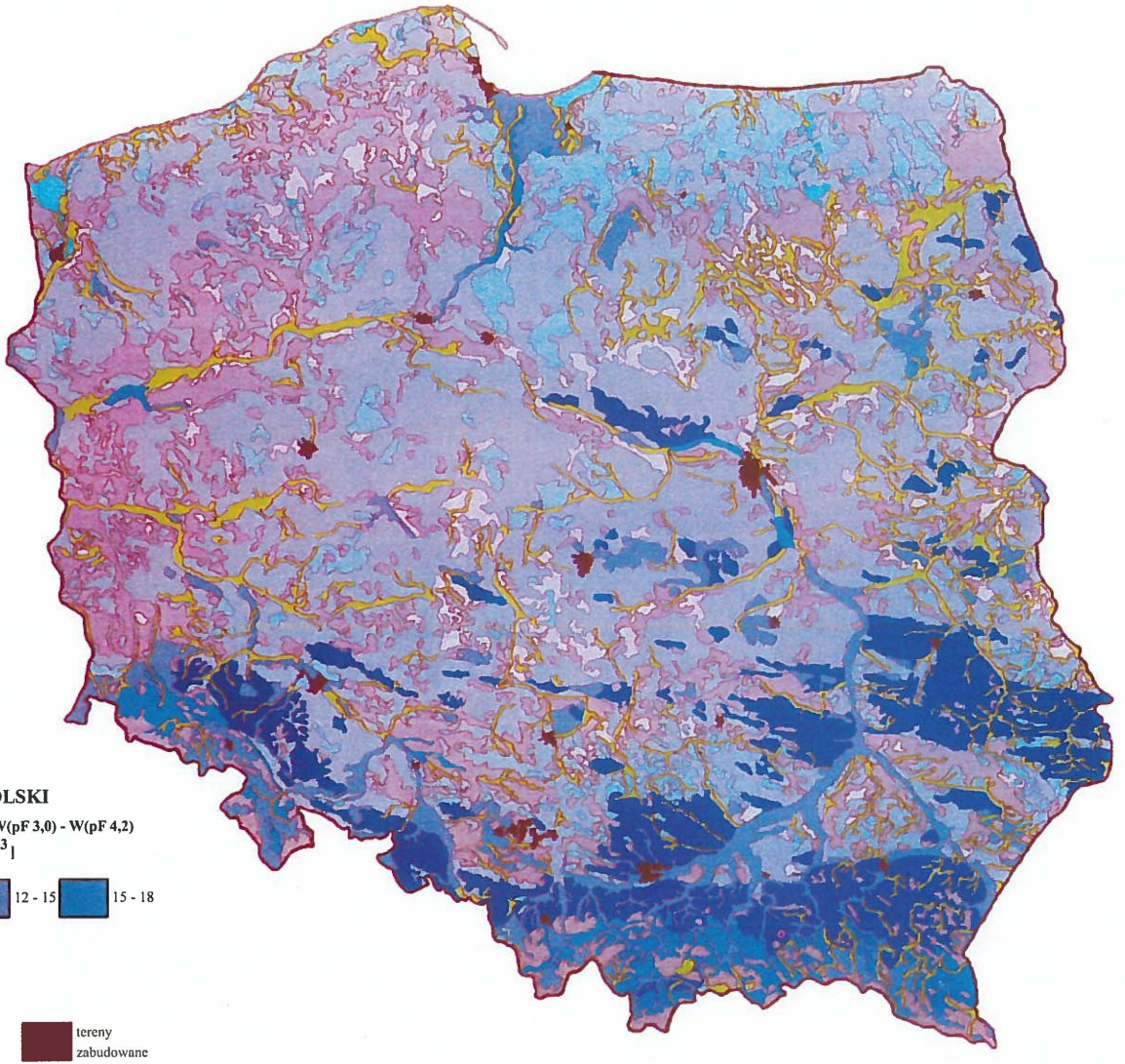
warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 3 | 3 - 6 | 6 - 9

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

22



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA TRUDNO DOSTĘPNA DLA ROŚLIN W(pF 3,0) - W(pF 4,2)

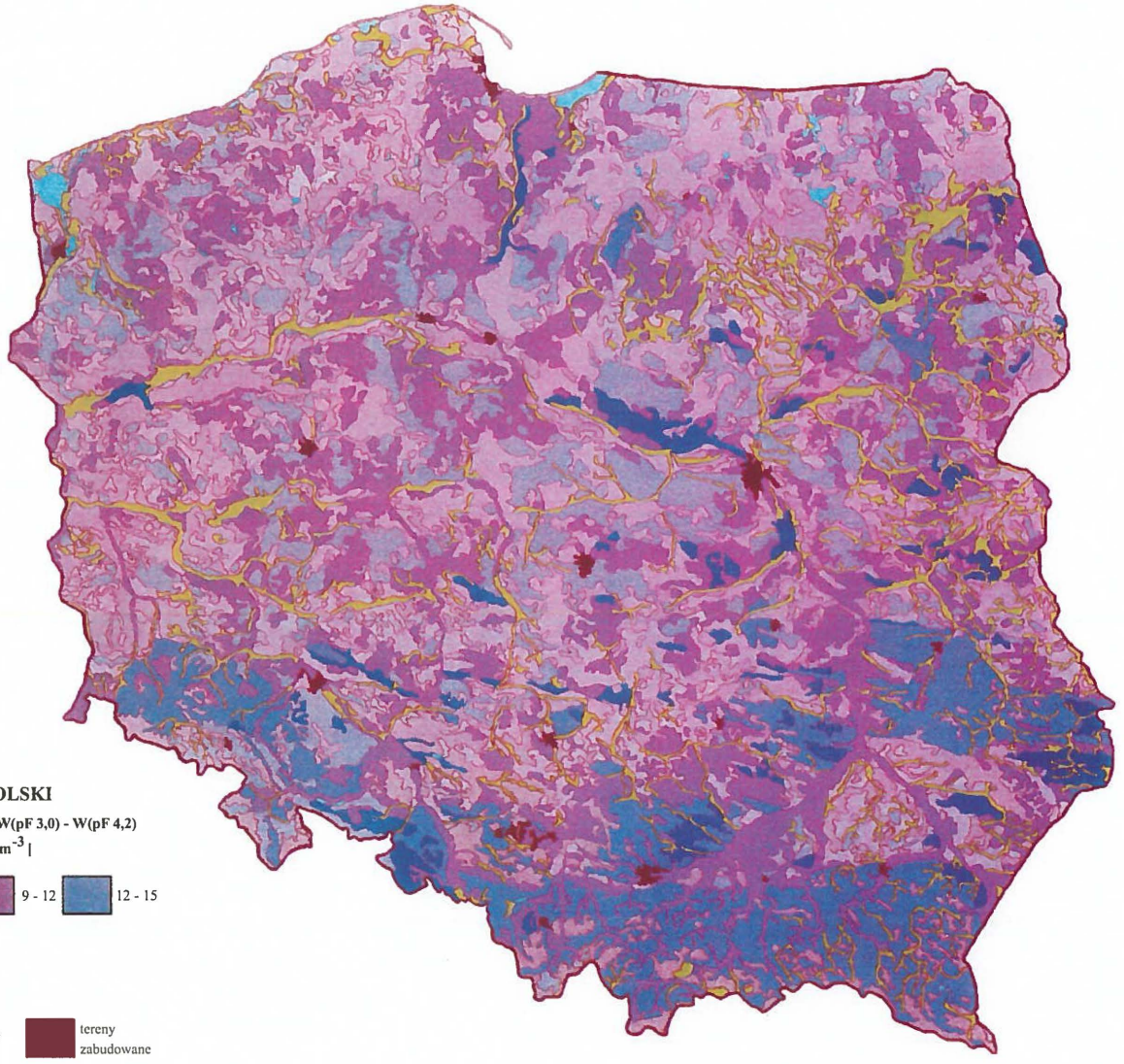
warstwa orna, W [% cm^3 cm^{-3}]

3 - 6 | 6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18 | 18 - 21

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

23



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA TRUDNO DOSTĘPNA DLA ROŚLIN W(pF 3,0) - W(pF 4,2)

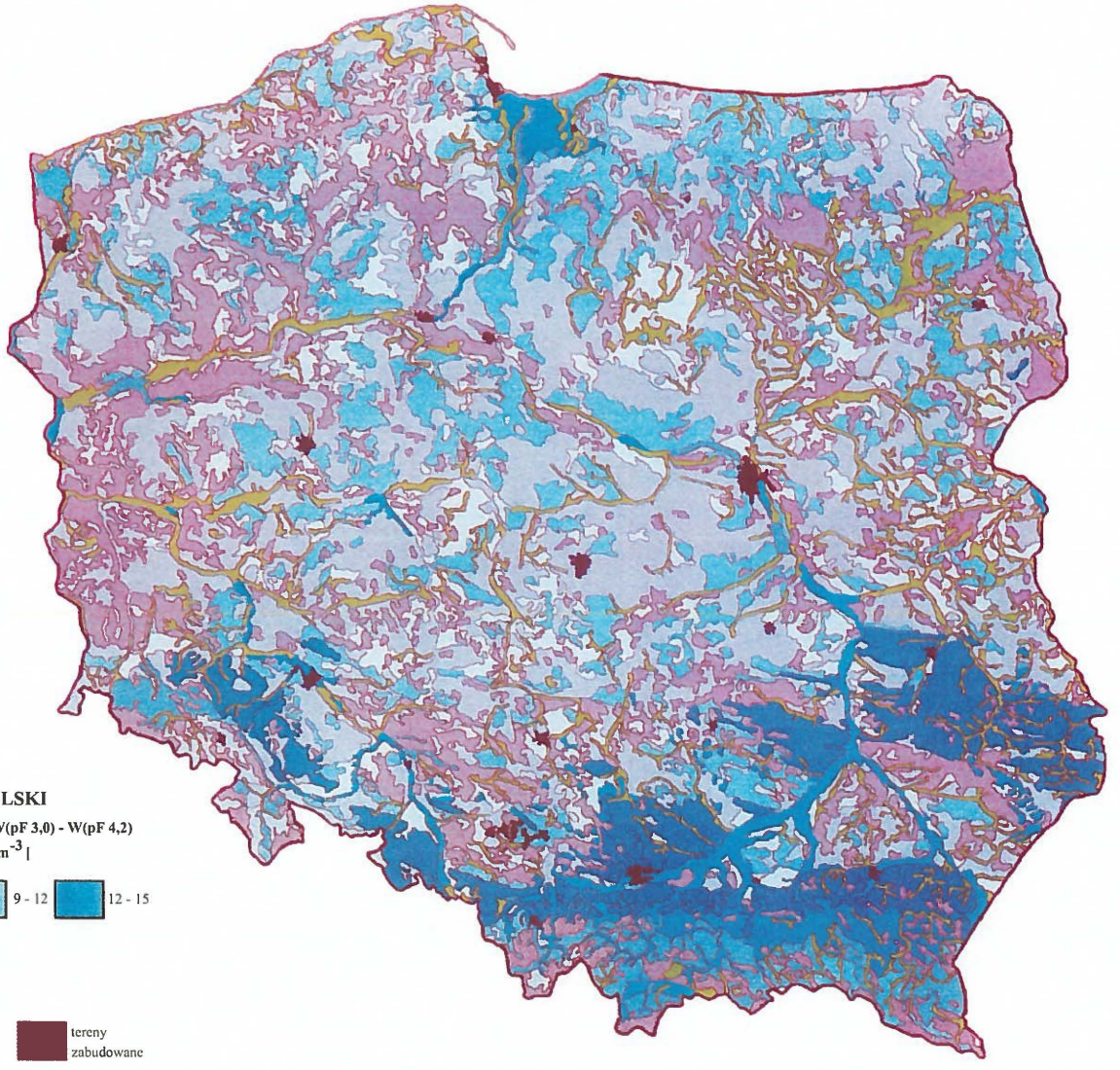
warstwa podorna, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 3 | 3 - 6 | 6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

24



MAPA ZDOLNOŚCI RETENCYJNEJ MINERALNYCH GLEB ORNYCH POLSKI

WODA TRUDNO DOSTĘPNA DLA ROŚLIN W(pF 3,0) - W(pF 4,2)

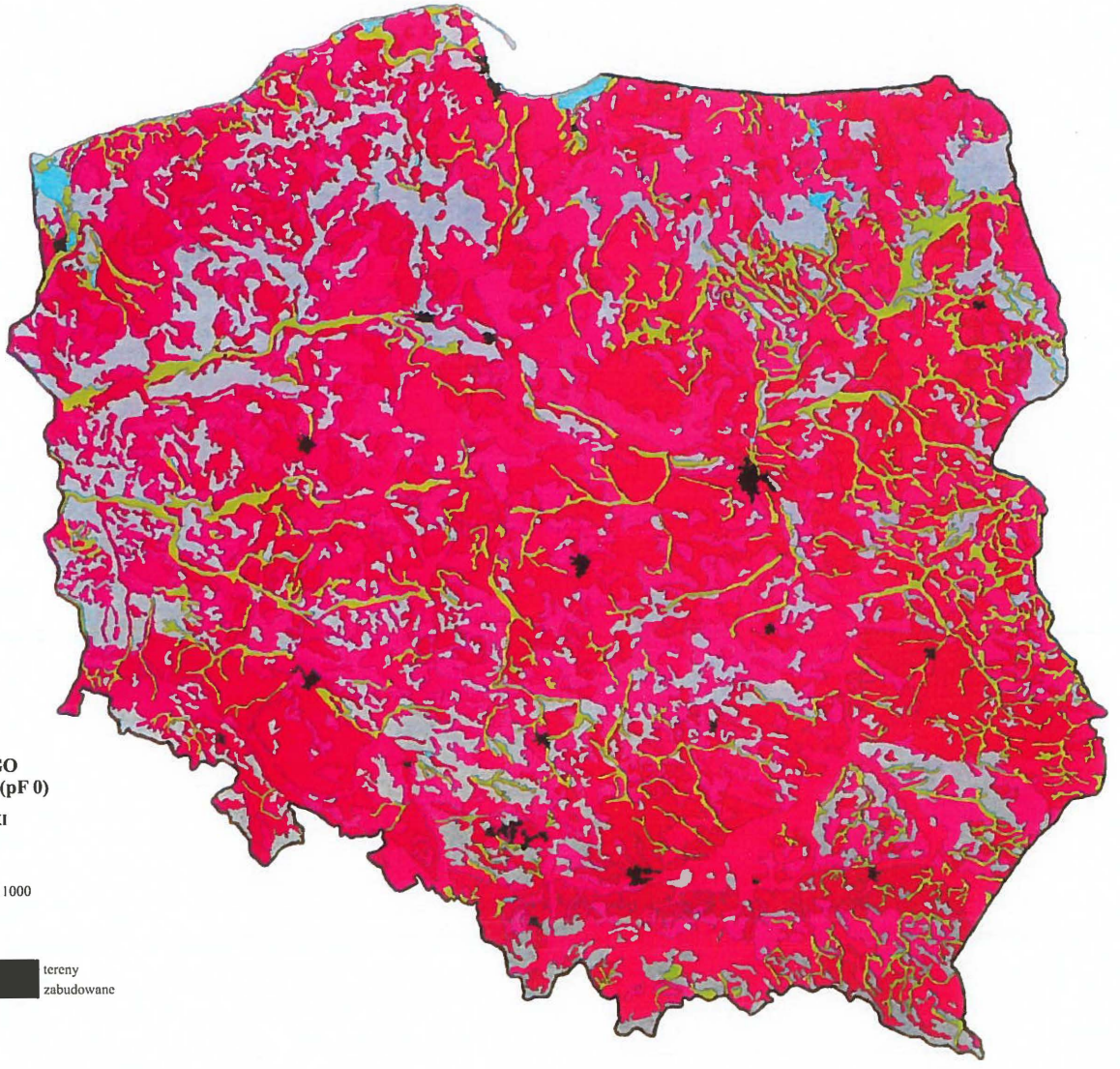
warstwa podglebia, W [% cm^3 cm^{-3}]

0 - 3 | 3 - 6 | 6 - 9 | 9 - 12 | 12 - 15 | 15 - 18 | 18 - 21

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

25



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO NASYCENIU (pF 0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

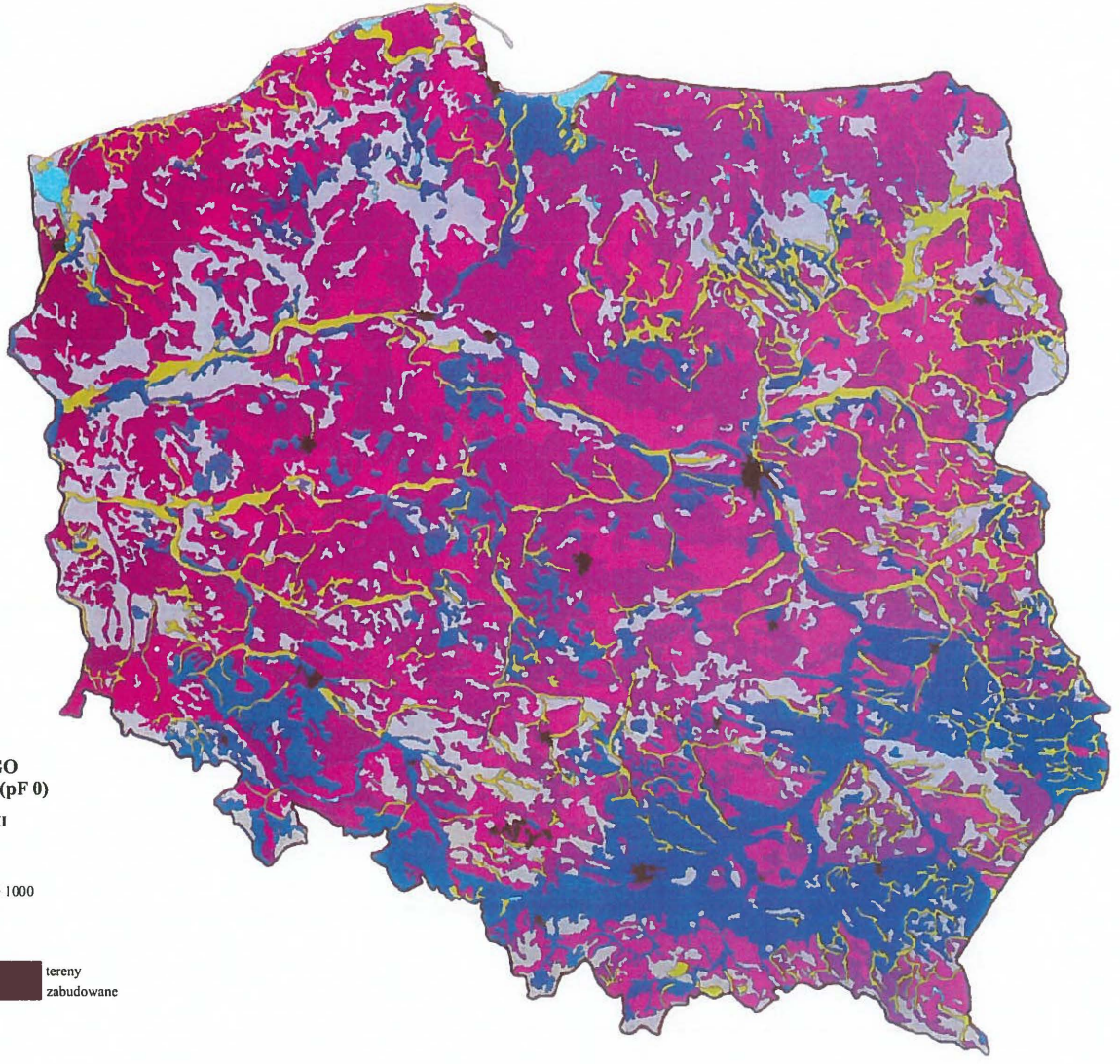
warstwa orna, K | cm doba^{-1} |

5 - 500 | 500 - 1000 | > 1000

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

26



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO NASYCENIU (pF 0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

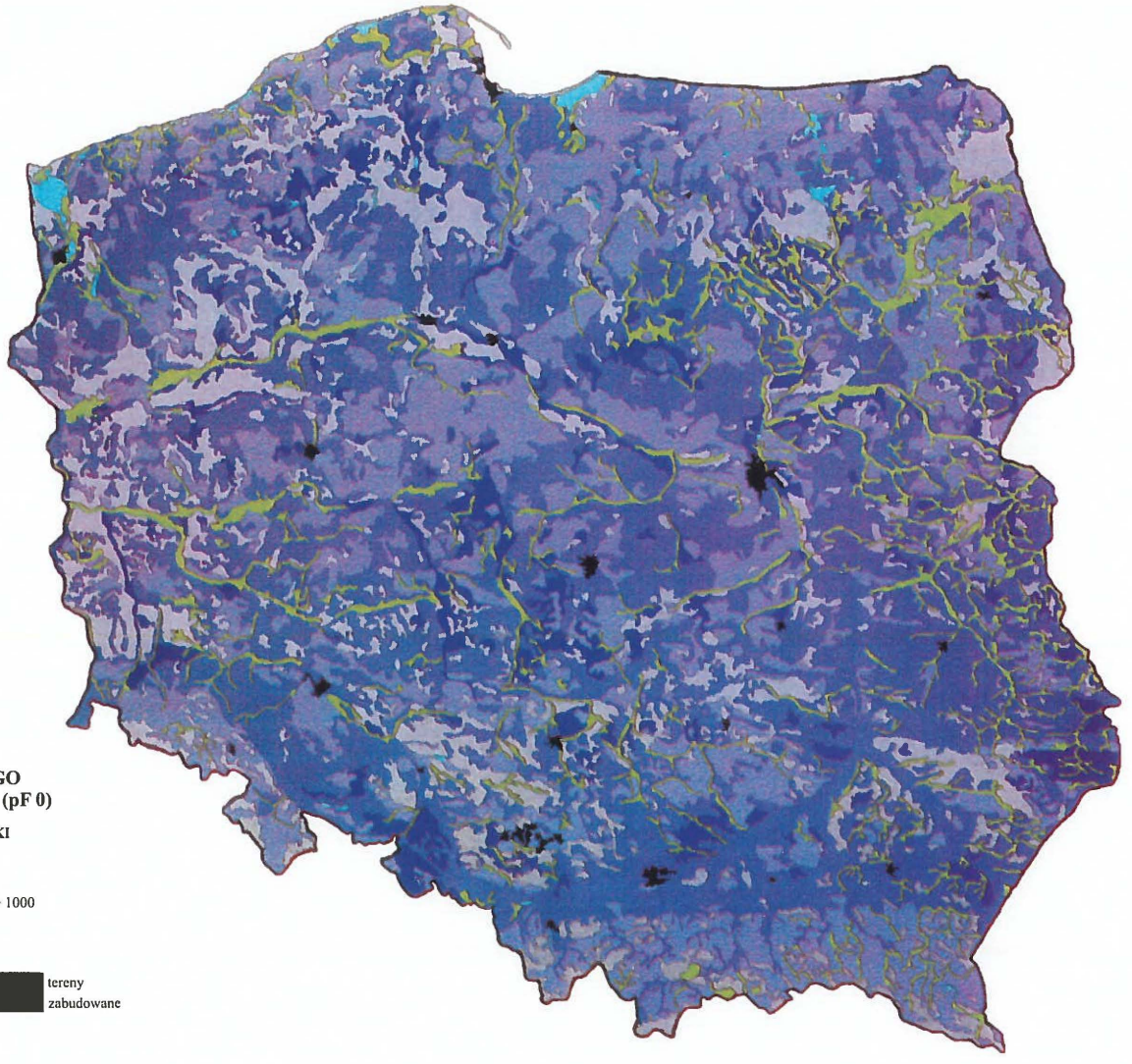
warstwa podorna, K [cm doba^{-1}]

5 - 500 | 500 - 1000 | > 1000

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

27



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO NASYCENIU (pF 0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

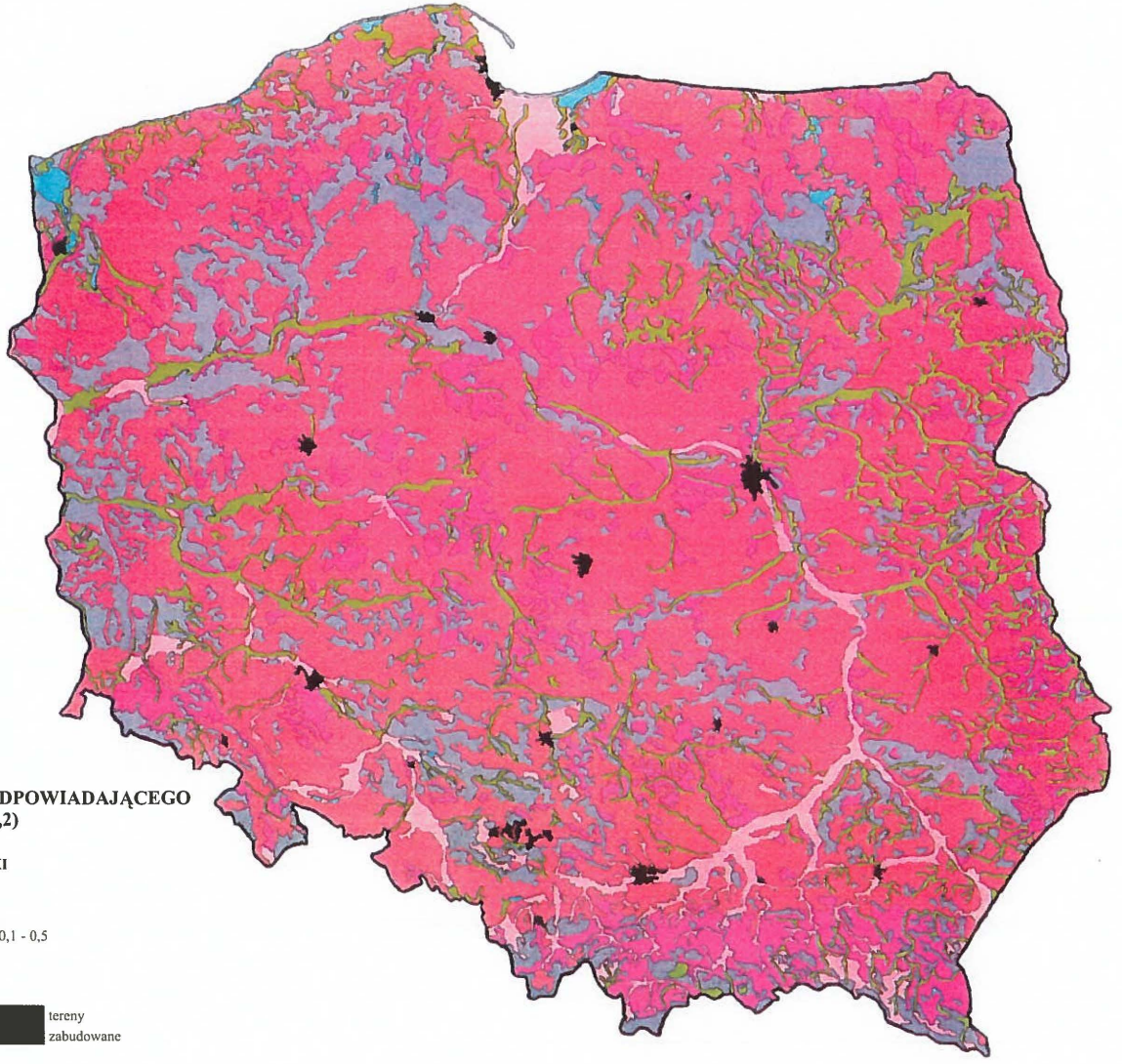
warstwa podglebia, K [cm doba^{-1}]

5 - 500 | 500 - 1000 | > 1000

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

28



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO POLOWEJ POJEMNOŚCI WODNEJ (pF 2,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

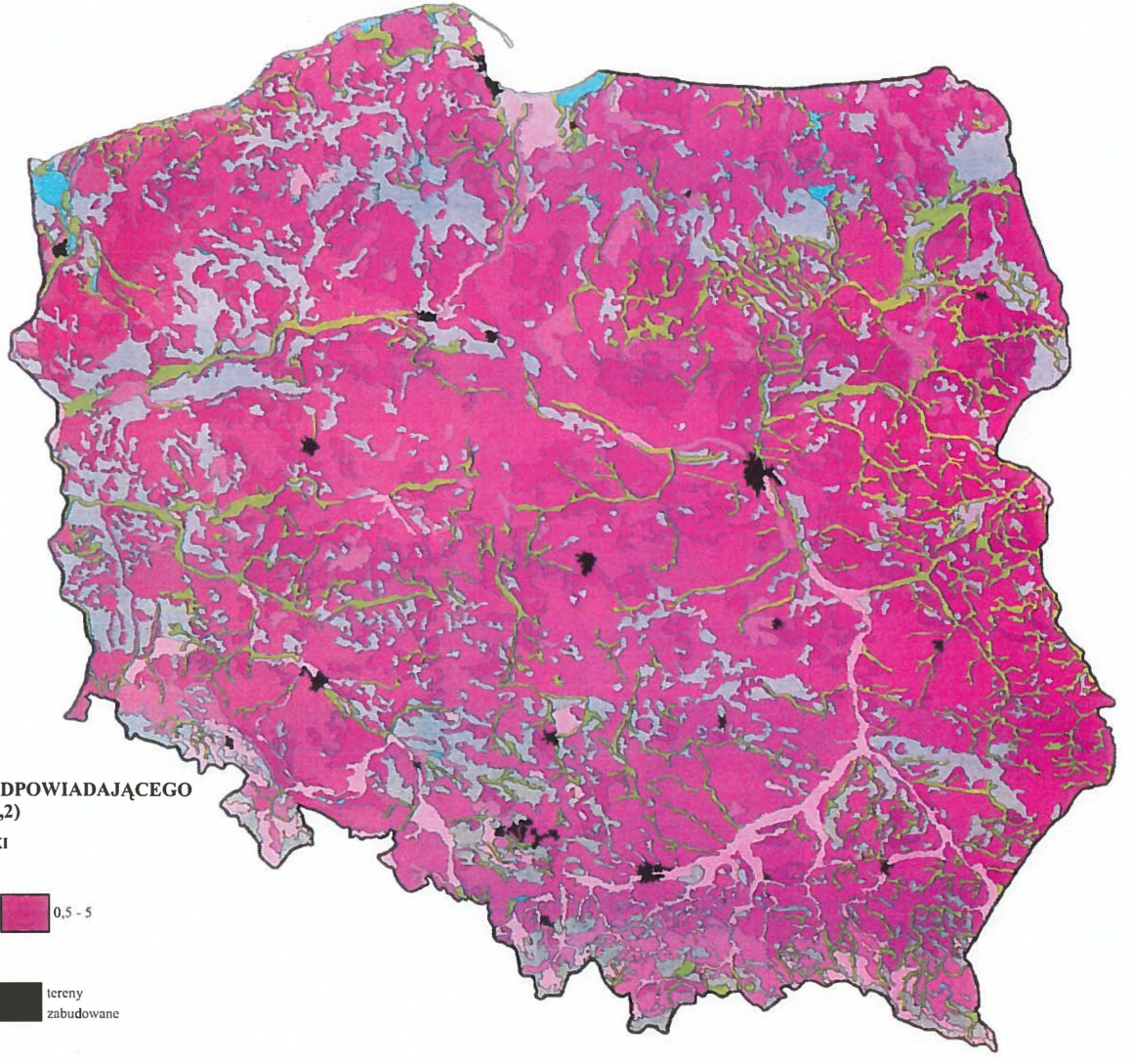
warstwa orna, K [cm doba^{-1}]

0,01 - 0,05 | 0,05 - 0,1 | 0,1 - 0,5

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

29



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO POLOWEJ POJEMNOŚCI WODNEJ (pF 2,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

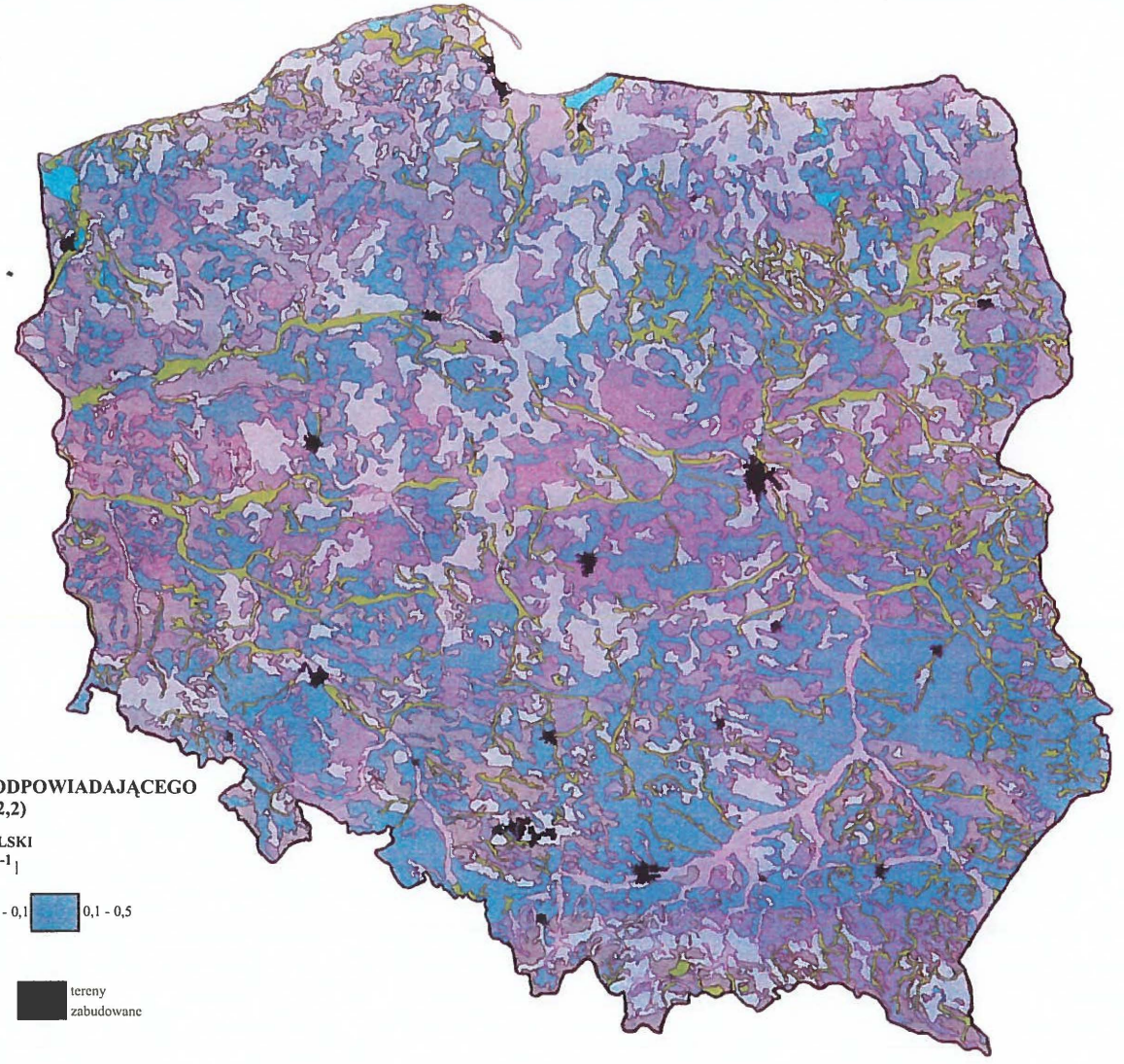
warstwa podorna, K [cm doba^{-1}]

0,01 - 0,05 | 0,05 - 0,1 | 0,1 - 0,5 | 0,5 - 5

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

30



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO POLOWEJ POJEMNOŚCI WODNEJ (pF 2,2)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

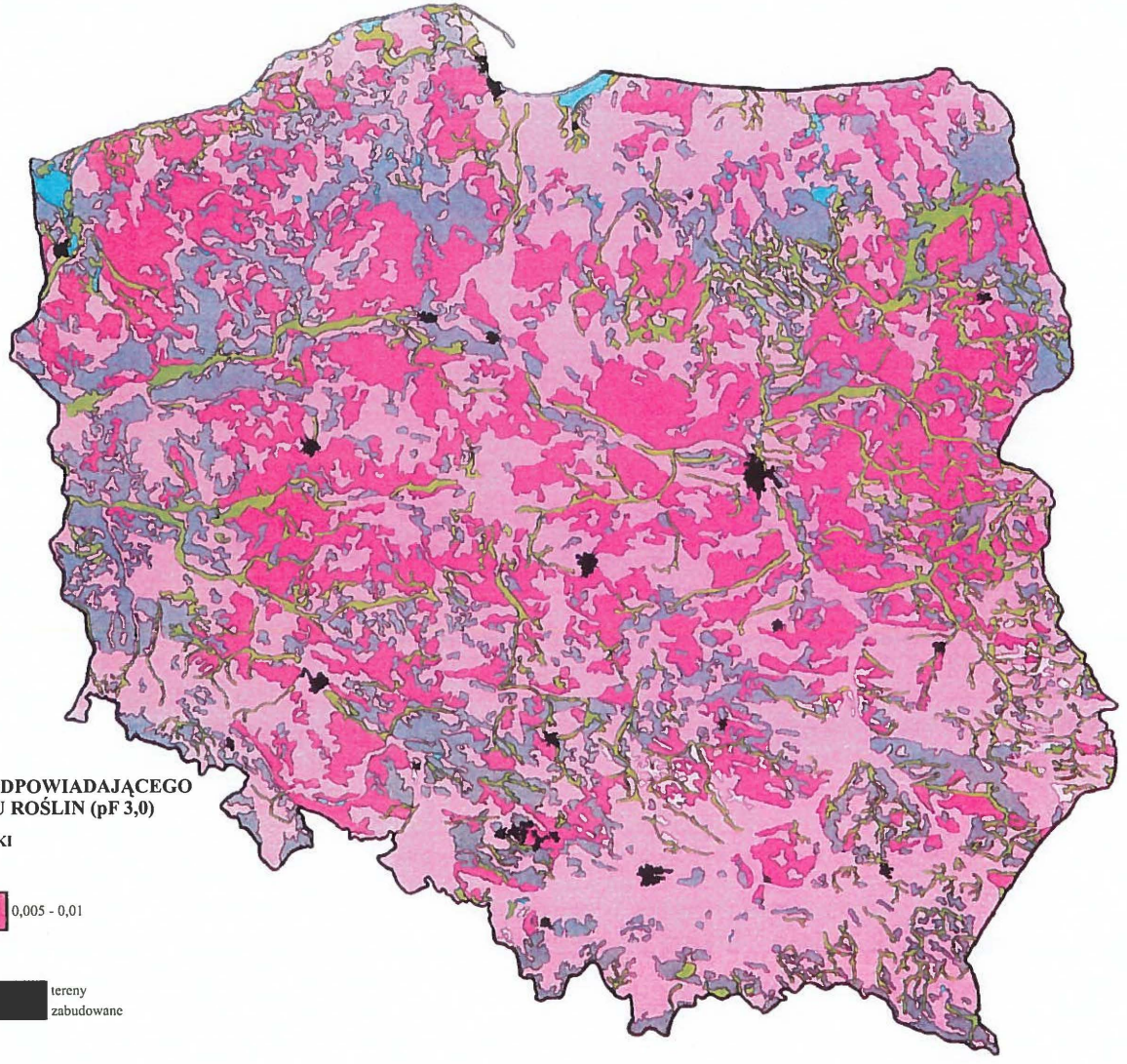
warstwa podglebia, K [cm doba^{-1}]

0,005 - 0,01 | 0,01 - 0,05 | 0,05 - 0,1 | 0,1 - 0,5

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

31



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO POCZĄTKOWI HAMOWANIA WZROSTU ROŚLIN (pF 3,0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

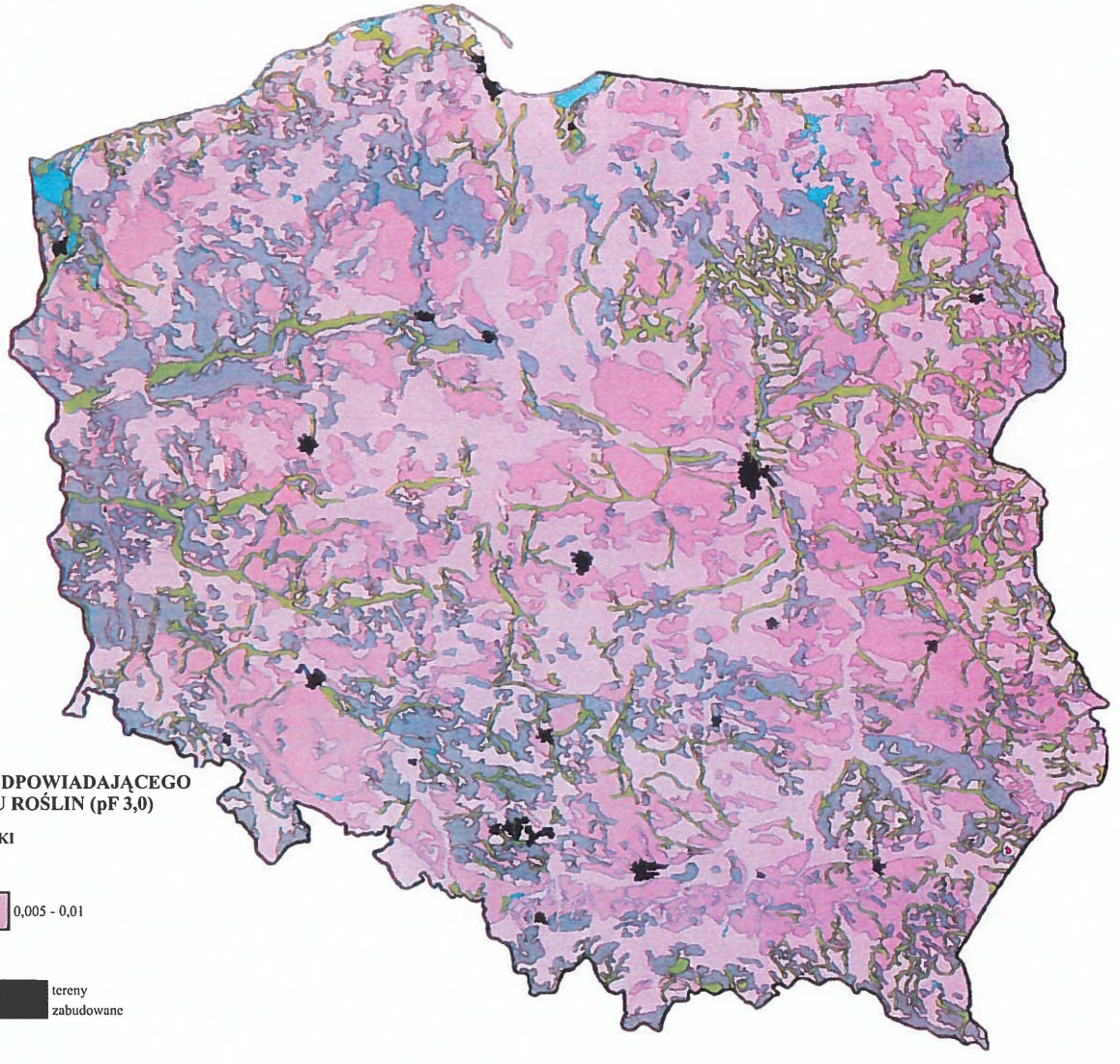
warstwa orna, K [cm doba^{-1}]

0,0005 - 0,001 | 0,001 - 0,005 | 0,005 - 0,01

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

32



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO POCZĄTKOWI HAMOWANIA WZROSTU ROŚLIN (pF 3,0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

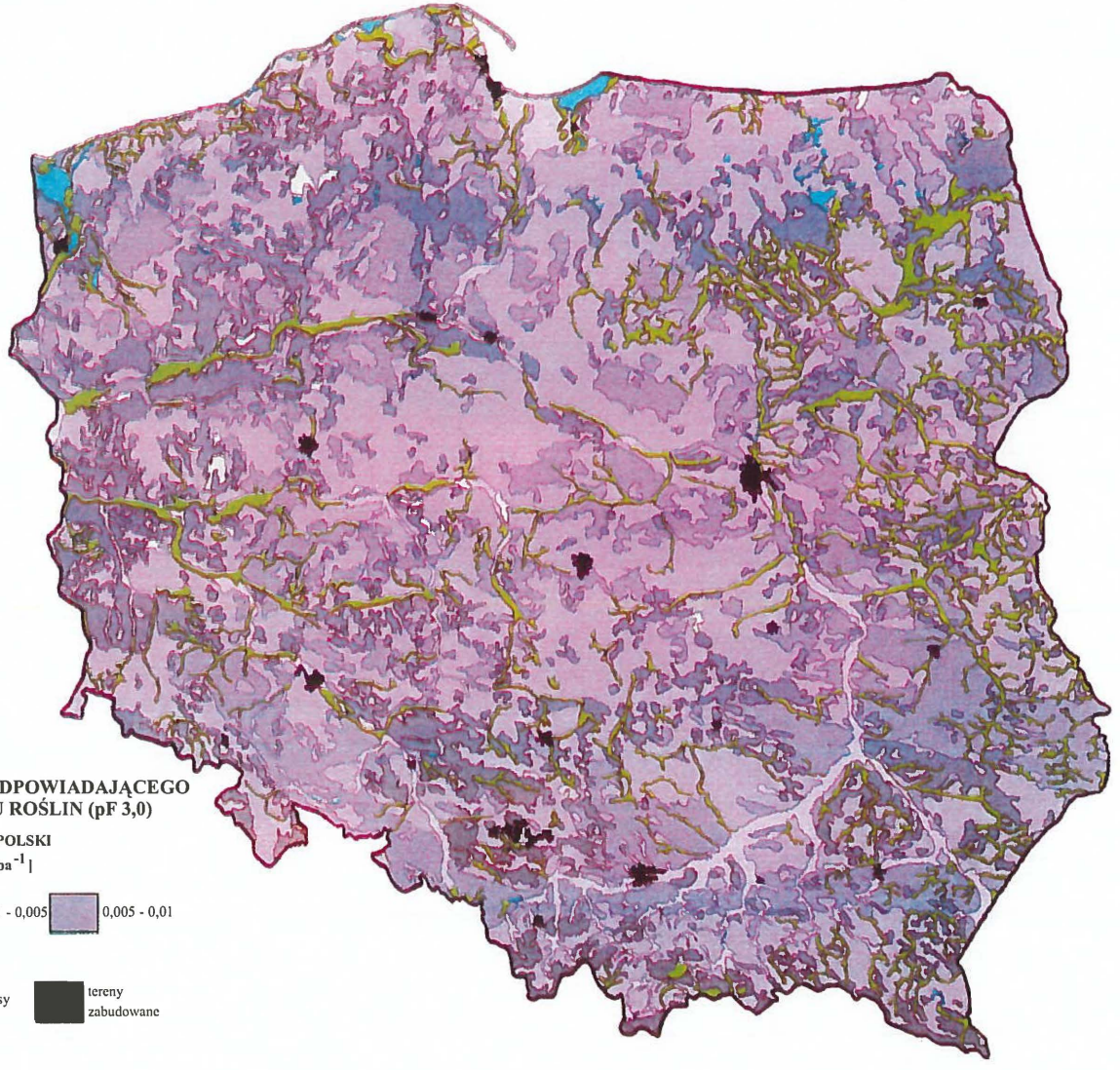
warstwa podorna, K [cm doba^{-1}]

0,0005 - 0,001 | 0,001 - 0,005 | 0,005 - 0,01

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane

33



MAPA PRZEWODNICTWA WODNEGO ODPOWIADAJĄCEGO POCZĄTKOWI HAMOWANIA WZROSTU ROŚLIN (pF 3,0)

MINERALNE GLEBY ORNE POLSKI

warstwa podglebia, K [cm doba^{-1}]

< 0,0005 | 0,0005 - 0,001 | 0,001 - 0,005 | 0,005 - 0,01

Inne oznaczenia

użytki zielone | wody | lasy | tereny zabudowane