

problemy agrofizyki

POLSKA AKADEMIA NAUK • ZAKŁAD AGROFIZYKI



Ossolineum zeszyt 40 rok 1983

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
ZAKŁAD AGROFIZYKI W LUBLINIE

PROBLEMY AGROFIZYKI 40

JERZY LIPIEC

MOŻLIWOŚCI OCENY PRZEWODNICTWA WODNEGO GLEB NA PODSTAWIE ICH NIEKTÓRYCH WŁAŚCIWOŚCI

**WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

1983

Komitet redakcyjny
prof. dr JAN GLIŃSKI (redaktor naczelny)
prof. dr IGNACY DECHNIK, doc. dr BOGUSŁAW SZOT

Rozprawa habilitacyjna

Redaktor Wydawnictwa Jacek Sikora
Redaktor techniczny Elżbieta Garnarczyk

© Copyright by Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1983
Printed in Poland

PL ISSN 0137-6586
ISBN 83-04-01751-2

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1983.
Nakład: 380 egz. Objętość: ark. wyd. 3,80, ark. druk. 4,75. Papier
offsetowy kl. III, 70 g, 61 x 86. Oddano do drukarni 20 X 1983.
Druk ukończono w grudniu 1983. Wrocławska Drukarnia Naukowa.
Zam. 258/83 — U-2. Cena zł 30.—

SPIS TREŚCI

Wstęp i przegląd piśmiennictwa	5
Zakres i metodyka badań	13
Omówienie wyników	16
Współczynnik przewodnictwa wodnego w zależności od ciśnienia ssącego w badanych glebach	16
Zależność między współczynnikiem przewodnictwa wodnego a nie- którymi właściwościami podstawowymi gleb	18
Zawartość frakcji piasku	18
Zawartość frakcji pyłu	19
Zawartość cząstek spławialnych	19
Powierzchnia właściwa	20
Wskaźnik uziarnienia	20
Zawartość agregatów > 1 mm	21
Rozkład porów glebowych	21
Gęstość	22
Zawartość próchnicy, półtoratlenków żelaza i węgla wap- nia; poziom pH	23
Wykorzystanie niektórych właściwości fizycznych gleb do oceny przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej przy pomocy równań regresji	25
Określenie wielkości podsiąku kapilarnego i wartości krytycz- nych poziomu wody gruntowej na podstawie danych przewodnictwa wodnego w funkcji ciśnienia ssącego badanych gleb	33
Dyskusja	34
Wnioski	42
Tabele	44
Piśmiennictwo	64

Wykaz użytych symboli

k	- współczynnik przewodnictwa wodnego
Ψ	- ciśnienie ssące gleby
h	- szybkość ewapotranspiracji
z	- wysokość podsiąku kapilarnego
pl	- piasek luźny
ps	- piasek słabogliniasty
psp	- piasek słabogliniasty pylasty
pgl	- piasek gliniasty lekki
pglp	- piasek gliniasty lekki pylasty
pgm	- piasek gliniasty mocny
pgmp	- piasek gliniasty mocny pylasty
gl	- glina lekka
glp	- glina lekka pylasta
gs	- glina średnia
gsp	- glina średnia pylasta
gc	- glina ciężka
gcp	- glina ciężka pylasta
plz	- pył zwykły
pti	- pył ilasty

WSTĘP I PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

Przewodnictwo wodne gleb jest jedną z podstawowych właściwości warunkujących ruch wody w glebie. Ma ono istotne znaczenie w kształtowaniu różnych procesów glebowych, a przede wszystkim w zaopatrzeniu roślin w wodę. Znajomość tej właściwości jest niezbędna do opisu ruchu wody, przewidywania rozkładu wilgotności w profilu glebowym (6, 43, 61, 75) oraz projektowania urządzeń melioracyjnych. Od przewodnictwa wodnego zależy w dużym stopniu także przemieszczanie składników pokarmowych, a zwłaszcza azotu w profilu glebowym (74).

Oznaczenia współczynnika przewodnictwa wodnego k są pracochłonne i długotrwałe oraz wymagające specjalnej aparatury. Stąd wynika potrzeba znalezienia zależności umożliwiających ocenę wielkości przewodnictwa wodnego na podstawie właściwości gleb stosunkowo łatwiejszych do oznaczenia lub dostępnych w dotychczas opracowanych materiałach gleboznawczych. Do właściwości tych można zaliczyć skład granulometryczny, jako stosunkowo niezmienną cechę gleby oddziałującą na przewodnictwo wodne zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio przez wpływ na agregację i rozkład porów pod względem wielkości.

Oddziaływanie poszczególnych cząstek glebowych na przewodnictwo wodne jest odmienne ze względu na ich wielkość, kształt oraz właściwości fizykochemiczne. Pillsbury (76) podaje, że wartość współczynnika k w strefie nasyconej, mierzonego w warunkach laboratoryjnych, jest dodatnio skorelowana z wielkością cząstek glebowych w przedziale od 110 do 500 μm a zależność wyraża się funkcją wykładniczą. Istotny wpływ gruboziarnistych frakcji piasku na zwiększenie przewodnictwa wodnego potwierdzają wyniki innych doświadczeń przeprowadzonych na nielicznych wybranych jednostkach glebowych (1, 52).

Rozważając wpływ cząstek ilu na przewodnictwo wodne należy wziąć pod uwagę fakt, że są one bardzo drobne i występują praktycznie w postaci małych agregatów. Sposób ich oddziaływania zależy od typu minerału ilastego we frakcji ilu. Fahmy (42) podaje, że dodatek agregatów ilastych typu illitu (0,5-1 mm) zmniejszał przewodnictwo wodne tylko nieznacznie, przeciwnie niż agregaty typu montmorylonitu. Pierwsze z nich bowiem, w warunkach wilgotnych nie pęcznieją i nie rozpadają się pod wpływem wody, a ich oddziaływanie na strukturę gleby jest podobne do cząstek piasku. Natomiast agregaty typu montmorylonitu absorbują znaczne ilości wody i pęcznieją. Pęcznienie powoduje nie tylko przesuwanie cząstek piasku do góry, lecz także wciśnięcie cząstek ilu do podstawowych porów piasku i ich zablokowanie. Stąd istotny wpływ tych agregatów na zmniejszenie przewodnictwa wodnego przez zwiększenie styczności między cząstkami glebowymi. Pęcznienie ilu powodujące zmniejszenie trwałości agregatów było przyczyną spadku przewodnictwa wodnego w badaniach Klagesa /59/. Moldenhauer i Kemper /72/ natomiast zwracają uwagę na dwojaki charakter oddziaływania frakcji ilu. Z jednej strony wpływa ona na zwiększenie wodoodporności agregatów, a tym samym wzmacnia przepływ wody dostarczanej do gleby w sposób nie powodujący mechanicznego niszczenia jej struktury. Natomiast nawadnianie metodą spadających kropeł o energii podobnej opadom deszczu powoduje rozmycie agregatów, a zdyspergowane cząstki ilu zakrywają pory glebowe i zmniejszają szybkość ruchu wody. Uważa się, że już małe ilości ilu powodują istotne zmniejszenie nasyczonego przewodnictwa wodnego gleby piaszczystej /4, 42/ oraz zwiększenie jej kohezji /81/. Znaczny zaś wzrost zawartości ilu wpływa w niektórych przypadkach na powstawanie struktury agregatowej ułatwiającej ruch wody w profilu glebowym /13, 42, 56, 81/.

Ruch wody w glebie zależy także w znacznym stopniu od zawartości cząstek pyłu. Frakcja ta wpływa na tworzenie się struktury agregatowej i wzrost porowatości ogólnej, mimo że agregaty te charakteryzują się niską wodoodpornością /58, 63, 88/, a w wyniku ich rozmycia drobne cząstki glebowe zakrywają pory biorące udział w transporcie wody. Krüger i Ehwald /62/ wykazali, że wymieniona frakcja w glebach pylastych była w największym stopniu ujemnie skorelowana z nasyconym przewodnictwem

wodnym. Do odmiennych wniosków doszli Nielsen i współautorzy /74/, którzy wskazali, że frakcja pyłu nie jest istotnie skorelowana ze współczynnikiem przewodnictwa wodnego oraz infiltracją. Zawartość cząstek pyłu była też podstawą do określenia stopnia przepuszczalności gleb w doświadczeniu Diebolda /31/.

Wymieniony brak zgodności wyników może być rezultatem wzajemnego oddziaływania cząstek o różnej wielkości, którego kierunek zależy od udziału wybranych frakcji w składzie granulometrycznym poszczególnych gleb /68/. Podjęto więc próby znalezienia zależności między syntetycznym wskaźnikiem uziarnienia- uwzględniającym całkowite uziarnienie gleby, a przewodnictwem nasyconym /12, 40, 67/. W efekcie stwierdzono, że przewodnictwo nasyczone gleby wzrasta wraz ze wzrostem średniej wielkości cząstek, a przy tej samej średniej - wraz ze wzrostem jednorodności rozmiarów cząstek glebowych /8, 67/.

Ogólnie można stwierdzić, że oddziaływanie składu granulometrycznego na przewodnictwo wodne zależy od wielkości i właściwości fizykochemicznych poszczególnych frakcji glebowych warunkujących stopień tak zwanego upakowania gleb.

Ruch wody w dowolnym poziomie kolumny lub profilu glebowego zależy nie tylko od właściwości glebowych w tej części, lecz także od właściwości sąsiadujących warstw położonych powyżej i poniżej badanej warstwy /69, 70/. Każda niejednorodność składu granulometrycznego profilu, w porównaniu z glebą całkowitą, różnicuje rozkład porów pod względem wielkości i przejawia się w zmniejszeniu ruchu wody w zakresie zależnym od budowy profilu glebowego. Wykazano /71/, że warstwa o składzie granulometrycznym piasku wpływa na stosunki wodne gleby gliniastej podobnie jak poziom słabo przepuszczalny, z tym że obecność poziomu gruboziarnistego nie powoduje ponad nim nadciśnienia wody. Poziom ten przenosi wodę szybko z warstw wyżej położonych przy ciśnieniach ssących bliskich zera (stan bliski nasycenia gleby wodą). Natomiast zwiększenie ciśnienia ssącego (zmniejszenie wilgotności) powoduje wyraźny spadek przewodnictwa na granicy faz niejednorodnych. Rose i Passioura /80/ wykazali, że ruch wody przez ośrodki porowate, np. piaski, jest głównie uwarunkowany ich niską dyspersją hydrodynamiczną. Istotny wpływ obecności pozio-

mów piasku lub żwiru, występujących w sąsiedztwie materiału drobnoziarnistego, na obniżenie ruchu wody przez profil glebowy potwierdzają także inne doświadczenia [2, 23, 71]. Taylor [90] i Gardner [46] posługując się techniką fotograficzną udowodnili, że poziomy żwiru i piasku położone poniżej materiału gliniastego biorą udział w transporcie wody tylko wtedy, gdy poziom gliniasty osiągnie stan nasycenia. Wynika stąd, że stosunkowo niewielkie opady deszczu w rejonach położonych w strefie klimatu suchego i umiarkowanego nie przenikają do poziomów piaszczystych lub żwirowych podścielających materiał drobnoziarnisty. W tych strefach powstają często na granicy faz różnych frakcji granulometrycznych skorupy złożone z osadów węglanu wapnia, krzemionki oraz innych soli wytrącających się podczas odparowywania wody. W takich warunkach także materiał drobnoziarnisty podścielający materiał piaszczysty może tworzyć barierę ograniczającą ruch wody [89].

Wpływ budowy profilu glebowego na zmiany ruchu wody, a tym samym na rozkład w nim wilgotności, wykorzystano w wielu doświadczeniach z przebudową profili i zastosowaniem poziomów sztucznych [33, 40, 41, 55, 57, 82]. Z prac tych wynika, że ilość zmagazynowanej wody w profilu zbudowanym z warstw niejednorodnych na ogół wzrasta, przy czym efekt ten zmniejsza się wraz ze wzrostem wysokości ponad warstwę ograniczającą filtrację wody. Jeśli warstwa taka jest blisko powierzchni, zatrzymywana woda łatwo paruje. Natomiast gdy jest ona dość głęboko, wpływ jej na zawartość wody jest nieznaczny, chociaż całkowita zawartość wody powyżej takiej bariery zwiększa się w porównaniu do podobnej gleby bez poziomu ograniczającego ruch wody.

Omówione prace wskazują, że oddziaływanie niejednorodności gleb na ruch wody i rozkład wilgotności w ich profilu zależy od położenia względem siebie warstw o odmiennym składzie granulometrycznym i głębokości ich zalegania.

Wzajemne oddziaływanie cząstek organicznych i glebowych mineralnych prowadzi do tworzenia się różnych form strukturalnych, które także określają geometrię porów glebowych i warunkują ruch wody w glebie. Większość badań dotyczących wpływu wielkości i trwałości agregatów na przewodnictwo wodne gleb przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych; osiągnięto

nięte rezultaty nie są zgodne. Jak podaje Amemiya /3/, agregaty o średnicy 0,5-1 mm, zawierające mniej ilu a więcej piasku, charakteryzowały się większym współczynnikiem przewodnictwa wodnego (w szerokim zakresie wilgotności) niż agregaty o rozmiarach 3-5 mm. Zdaniem autora różnice te były spowodowane tym, że w agregatach 0,5-1 mm przy tej samej wilgotności potencjał wody glebowej był większy. Również inne doświadczenia /24/ potwierdzają, że w kolumnach wypełnionych agregatami o mniejszej średnicy ruch wody był mniejszy. Odmienne to zjawisko przebiegało w agregatach o znacznej wodoodporności wydzielonych z czarnoziemiu /34/. Wartość współczynnika przepuszczalności wodnej zwiększała się wraz ze wzrostem wielkości agregatów. Zależność ta jest uwarunkowana bezpośrednio wpływem wielkości agregatów na liczbę dużych porów - o średnicy większej od $18,5 \times 10^{-6}$ m. Do podobnych wniosków doszedł Rengasamy /78/ stwierdzając, że przewodnictwo wodne zmniejsza się wraz ze wzrostem zawartości mikroagregatów tworzących większą liczbę mikroporów, których udział w przewodnictwie wodnym gleby w stanie nasyconym jest nieznaczny.

Wartość współczynnika przepuszczalności uzyskana z badań polowych czarnoziemiu była ujemnie skorelowana z zawartością rolniczo cennych agregatów o średnicy 1-5 mm /49/, natomiast dodatnio w glebach gliniastych i piaszczystych /87/.

Przewodnictwo wodne profilu glebowego w znacznej mierze zależy również od stopnia agregacji poziomów położonych w dolnych jego partiach /72/. W przypadku agregatów o średnicy 0,5 lub 0,5-2 mm podścielających bryły glebowe o wielkości 8-20 mm szybkość ruchu wody była zbliżona, natomiast agregaty o rozmiarach 2-4,7 mm położone niżej powodowały istotne zmniejszenie przewodnictwa. Niejednorodność struktury oddziaływała na warunki ruchu wody przez zmniejszenie gradientu hydraulicznego między warstwami o odmiennym rozkładzie porów.

Ważnym elementem struktury gleby określającym przewodnictwo wodne jest trwałość agregatów. Panuje zgodność poglądów, że zmniejszona wodoodporność agregatów wywołuje obniżenie nasyczonego przewodnictwa wodnego gleb w warunkach polowych /1, 44, 87/ i laboratoryjnych /20, 64, 86/. Autorzy cytowanych prac podają, że spadek przewodnictwa wodnego wywo-

łany jest głównie zakryciem porów glebowych cząstkami zdyspergowanych agregatów oraz powstawaniem słabo przepuszczalnej skorupy. Według Collis-George'a i Greena /20/ agregaty gleb drobnoziarnistych i pylastych rozpadają się pod wpływem działania wody na mniejsze, widoczne pod mikroskopem z 40-krotnym powiększeniem. Mikroagregaty te tworzą całkowicie odmienną strukturę w porównaniu do poziomów nierozmytych położonych niżej i warunkują ruch wody w głąb profilu glebowego /21, 22/. Stwierdzono także, że zjawisko dyspersji poziomów ilastych występuje w większym stopniu w glebach o strukturze z agregatami zaokrąglonymi aniżeli przyzmatycznymi /5, 13/. W glebach o strukturze o niskiej wodoodporności ciepło zwilżania połączone jest z rozpadem agregatów, a zniszczona struktura ogranicza ruch wody do poziomów niżej położonych /21/.

Wśród czynników poprawiających trwałość agregatów, a więc i warunki ruchu wody, wymienia się głównie oddziaływanie iłu, próchnicy, wapnia oraz tlenków żelaza /19, 30/. Największy wpływ na stabilność makroagregatów wywiera substancja organiczna /30, 53/, natomiast tlenki żelaza, oddziałujące głównie przez tworzenie błonek na powierzchni iłu, mają znaczenie drugorzędne /10/. Wykazano również, że w wyniku połączeń wspomnianych tlenków z innymi składnikami gleby mogą tworzyć się kryształy tlenków żelaza i strefy stwardnienia /85/.

Ostatnio wzrasta zainteresowanie wykorzystaniem syntetycznych środków chemicznych do poprawy trwałości struktury, ze względu na możliwość połączenia ich z produktami odpadowymi przemysłu i rolnictwa /26/. Dobrzański i współautorzy /32/ wykazali, że odpady po flotacji siarki flokulowane rokrysolem WF-2 wzmagają przewodnictwo wodne przy niskich ciśnieniach ssących przez zwiększenie udziału porów dużych oraz wodoodporności agregatów.

Omówiony dotychczas wpływ składu granulometrycznego, agregacji i jej wodoodporności oraz niektórych innych właściwości gleb jest wpływem pośrednim, działającym głównie przez tworzenie specyficznej dla danej gleby lub grupy gleb porowatości ogólnej, różnicowej, a także geometrii porów określających bezpośrednio możliwości ruchu wody w glebie.

Wpływ porowatości ogólnej gleb na ich przewodnictwo nasycone nie jest oceniany jednolicie. Niektóre badania wykazały dodatnią korelację

między współczynnikiem k a porowatością ogólną i aeracyjną /37, 87/; inne - ujemną /73/. Rozbieżności te wynikają prawdopodobnie z odmienne- go rozkładu porów pod względem wielkości, a przede wszystkim z różnej zawartości dużych porów decydujących o transporcie wody w strefie nasy- conej. W glebach drobnoziarnistych, o znacznej zawartości ilu koloidalne- go i wysokiej porowatości ogólnej, duży wpływ na rozmieszczenie porów glebowych ma wspomniane już pęcznienie gleby. W czasie ruchu wody, w stanie nasycenia gleby, pęcznienie wywołuje wzrost porowatości ogólnej, ale udział dużych porów się zmniejsza, czego konsekwencją jest spadek współczynnika k w strefie nasyconej. Natomiast zgodność poglądów pa- nuje co do tego, że nasycone przewodnictwo wodne jest proporcjonalne do zawartości porów dużych, określanых jako niekapilarne /9, 17, 73, 84/, i odwrotnie proporcjonalne do zawartości porów małych /73/. Podobne wnioski wynikają z analizy praw Poisseuilla i Darcy'ego, wskazujące, że przy tej samej wielkości cząstek glebowych przewodnictwo wzrasta, gdy pory między nimi są większe /42/. Wynika to z założenia, że cząstki gle- bowe mają kształt okrągły. W rzeczywistości są one różnokształtne, co wpływa bezpośrednio na formę i rozkład porów.

Istotny wpływ na przewodnictwo nasycone mają kanaliki po dżdżowni- cach zaliczane do dużych przestworów glebowych. Oddziaływanie ich na transport wody w głąb profilu jest większe w glebach drobnoziarnistych aniżeli gruboziarnistych. Przyczyną są większe różnice między średnicą tych kanalików a pozostałymi porami w glebach drobnoziarnistych /52/. Znaczny udział tych przestworów w nasyconym przewodnictwie gleb potwier- dzają także inne prace /27, 38, 39/. Germann i Beven /50/ wskazują na możliwość regulowania aktywności dżdżownic i innych organizmów zwierzę- cych, np. przez sposób użytkowania gleb, i wywieranie w ten sposób is- totnego wpływu na hydrologię gleb.

Ważnym czynnikiem oddziałującym na ruch wody w glebie jest jej gę- stość. Istotny wpływ tego czynnika na zmniejszenie objętości makroporów oraz wymianę gazów dokumentują doświadczenia przeprowadzone w ośrodku lubelskim /29, 35, 36, 66, 91 - 93/. Każda zmiana właściwości gleb prze- jawiająca się w zmniejszeniu wielkości porów powoduje zmniejszenie prze- wodnictwa nasyconego /15/. Jak podają Prasad i Perkins /77/, nasycone

przewodnictwo wodne warstwy położonej bezpośrednio pod poziomem uprawnym, zwykle bardziej zagęszczonej (podeszwa płużna), było mniejsze w porównaniu do poziomów podścielających i położonych wyżej. Autorzy wykazali, że warstwa poduprawowa charakteryzowała się mniejszą porowatością ogólną, zawartością wody dostępnej oraz udziałem dużych porów. Do podobnych wniosków doszli Bouma i Hole /14/ badając glebę pylastą. Ścisłą zależność między przewodnictwem nasyconym a gęstością i porowatością otrzymano w glebach o mniejszej zawartości pyłu /16/. Według Dasa /25/ wzrost gęstości gleby od 1,25 do 1,56 g/cm³ powodował wielokrotne zmniejszenie przewodnictwa wodnego, przy czym zakres zmian zależał od stanu fizycznego gleby podczas zagęszczania. Canarache i współautorzy /18/ informują, że wartość współczynnika k jest skorelowana istotnie ujemnie z gęstością, a wartość r wynosi -0,77.

W strefie nienasyconej, w odróżnieniu od nasyconej, wzrost gęstości gleby powodował czasem zwiększenie współczynnika k . Jak podaje Koleva /60/, wzrost współczynnika k pod wpływem gęstości zaznaczył się w największym stopniu przy wilgotności odpowiadającej zasobowi wody dostępnej roślinom. Z tym związane było również szybsze przesuszanie zbitego poziomu iluwialnego aniżeli pulchniejszej warstwy wierzchniej podczas wegetacji. Według Berdena i Pavlakisa /7/, zwiększenie przewodnictwa nienasyconego pod wpływem ugniatania jest efektem wzrostu udziału ruchu wody poprzez błonki wodne wzdłuż powierzchni cząstek glebowych. Do odmiennych wniosków doszedł Sharda /83/ badając wpływ gęstości gleby na dyfuzyjność wody glebowej. Według niego zmniejszenie dyfuzyjności w miarę zagęszczania gleby jest wynikiem wzrostu powierzchni właściwej, a tym samym krętości porów.

Wyniki badań prezentowane w omawianej literaturze wskazują, że poglądy na wpływ niektórych właściwości gleb na ich przewodnictwo wodne nie są jednolite. Składają się na to w dużej mierze odmienne warunki badań gleby, jak: stan struktury, jej początkowa wilgotność, wielkość prób glebowych oraz metoda oznaczania współczynnika k .

Celem podjętych badań było określenie możliwości oceny przewodnictwa wodnego gleb o nienaruszonej strukturze na podstawie ich niektórych właściwości: składu granulometrycznego, agregacji, rozkładu porów pod

względem wielkości, gęstości, zawartości próchnicy oraz odczynu, na przykładzie wybranych jednostek glebowych Makroregionu Środkowo-Wschodniego.

ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badaniami objęto 31 profili glebowych (tab. 1), ale tylko 28 analizowano w 3 wybranych warstwach: 0-30, 30-60, 60-90 cm. Zbyt twarda skała macierzysta lub obecność kamieni uniemożliwiały pobranie prób nienaruszonych strukturalnie z głębokości 60-90 cm na stanowiskach 21-23. Próby glebowe pobierano z pól obsianych zbożami. Wilgotność gleby mieściła się w przedziale efektywnej retencji użytecznej (przy ciśnieniu ssącym 200-1000 hPa). Właściwości fizyczne i chemiczne badanych prób przedstawia tabela 2. Profile glebowe uszeregowano w niej według zawartości cząstek spławialnych w warstwie 0-30 cm, natomiast w warstwach 30-60 i 60-90 cm kolejność jest inna, bowiem często skład granulometryczny tych warstw jest odmienny, ale numery profili odpowiadają stanowiskom wymienionym w tabeli 1.

Oznaczenia współczynnika przewodnictwa wodnego k w strefach nasyconej i nienasyconej wykonano metodą filtracji z zastosowaniem skorup gipsowo-piaskowych [13, 28/]. W technice tej stosowano stosunkowo duże infiltrometry stalowe o średnicy 28 cm i wysokości 15 cm, a więc objętości 7,1 l., do których pobierano glebę o nienaruszonej strukturze. W laboratorium infiltrometry ustawiono na kolumnach glebowych (z odpływem) o tej samej średnicy i wysokości 100 cm. Stosowano kolejno skorupy o zawartości gipsu 100, 75, 50 i 25%, a więc o zmniejszającej się oporności hydraulicznej. Przy takiej kolejności skorup ciśnienie ssące podczas ruchu wody zmniejsza się, eliminując efekt histerezy. Przed rozpoczęciem pomiaru infiltrometry przykryto płytą pleksiglasową z otworem wlotowym i zaworem odpowietrzającym. Otwór wlotowy połączono z biuretą zaopatrzoną w urządzenie Mariotte'a, które utrzymuje stałe ciśnienie słupa wody nad powierzchnią skorupy, wynoszące około 3 mm H_2O . Pomiar szybkości ruchu wody w glebie rozpoczynano po osiągnięciu równowagi ciśnienia ssą-

cego w infiltrometrach mierzonego tensjometrami. Po ustaleniu się stałej szybkości ruchu wody obliczono współczynnik przewodnictwa wodnego k zgodnie z prawem Darcy'ego według wzoru:

$$k = \frac{v}{i},$$

gdzie: v - szybkość ruchu wody,

i - gradient ciśnienia ssącego.

Gradient ciśnienia ssącego, po ustaleniu się warunków ruchu wody, był zbliżony do jedności i zastosowanie jednego tensjometru na głębokości 3 cm wystarczało do otrzymania reprezentatywnego ciśnienia ssącego. Po usunięciu ostatniej skorupy oznaczano współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej. Metodą tą mierzono przewodnictwo nienasycone do ciśnienia ssącego 50 hPa. Wybrano ją głównie z tego względu, że pomiar przewodnictwa wodnego odbywa się w dużych próbach glebowych o nienaruszonej strukturze. W dalszym zakresie ciśnienia ssącego współczynnik przewodnictwa wodnego k obliczano metodą Greena i Coreya w modyfikacji Luxmoore'a [65] opierając się na wartościach współczynnika k oznaczonych metodą filtracji oraz na krzywych retencji wodnej. Wartość współczynnika przewodnictwa wodnego w zależności od ciśnienia ssącego podano w tabeli 4.

Na podstawie wyników badań przewodnictwa wodnego w warstwie 60-90 cm obliczono wskaźnik z podsiąku kapilarnego wody gruntowej do strefy korzeniowej według wzoru podanego przez Rijtemę [79]

$$z = \frac{k \cdot \Delta \Psi}{v + k},$$

gdzie: k - współczynnik przewodnictwa wodnego (cm/dobę),

$\Delta \Psi$ - gradient ciśnienia ssącego,

v - szybkość ewapotranspiracji (cm/dobę).

Zmiany podsiąku kapilarnego w funkcji ciśnienia ssącego przedstawiono na rycinach 9-11.

W celu oznaczenia właściwości fizycznych i chemicznych gleb pobrano z tych samych głębokości, na jakich umieszczono infiltrometry, próbki

do woreczków oraz cylindrów o pojemności 100 cm^3 (6 powtórzeń).

Badano następujące parametry:

- 1) skład granulometryczny metodą Boyoucosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego,
- 2) powierzchnię właściwą metodą absorpcji pary wodnej,
- 3) zawartość agregatów $> 1 \text{ mm}$ jako sumę agregatów pozostających na sitach (średnice oczek: 7, 5, 3 i 1 mm) po przesianiu powietrznie suchych prób. Wodoodporność agregatów $> 1 \text{ mm}$ określona w glebach o zawartości cząstek spławialnych $> 20\%$ jest średnią wodoodporności frakcji agregatów o średnicach: 10-7, 7-5, 5-3 i 3-1 mm - oznaczoną aparatem Bakszejewa,
- 4) zawartość poszczególnych porów obliczono na podstawie krzywych retencji wodnej wyznaczonych metodą opisaną przez Zawadzkiego /95/,
- 5) próchnicę metodą Tiurina,
- 6) oznaczenia zawartości Fe_2O_3 oraz pH w KCl^* ,
- 7) zawartość węgla wapnia metodą Scheiblera.

Dodatkowo obliczono, według metody Giesela, wskaźnik uziarnienia. Przykład określenia tego wskaźnika jest podany w pracy Bloemena /11/. Średnie wyniki oznaczeń właściwości glebowych wymienionych w punktach 1-7 oraz wskaźniki uziarnienia podano w tabeli 2, zaś ich wartości graniczne w tabeli 3.

Statystyczne opracowanie badań obejmowało w pierwszym etapie wyznaczenie wskaźników korelacji prostej między przewodnictwem wodnym w strefie nasyconej oraz w strefie nienasyconej (przy wybranych wartościach ciśnienia ssącego) a oznaczonymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Obliczenia wykonano oddzielnie dla wszystkich gleb oraz w dwóch grupach o zawartości cząstek spławialnych: $< 20\%$ i $> 20\%$.

Następnie, opierając się na danych dotyczących zawartości frakcji piasku, pyłu i cząstek spławialnych (oddzielnie dla każdej frakcji i łącznie) oraz wskaźniku uziarnienia i zawartości porów o równoważnej średnicy $> 30 \mu\text{m}$ (oddzielnie), opracowano równania regresji umożliwiające obliczenie wartości współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nasy-

* Wykonała Stacja Chemiczno-Rolnicza w Lublinie.

conej. Graficzną postać wymienionych równań regresji dla frakcji piasku, pyłu, cząstek spławialnych i zawartości porów podano na rycinach 1-5. Formuły matematyczne dla frakcji granulometrycznych łącznie zawiera tabela 8. Obliczenia statystyczne wymienione wyżej wykonano w Pracowni Metod Numerycznych Akademii Rolniczej w Lublinie.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Współczynnik przewodnictwa wodnego w zależności od ciśnienia ssącego w badanych glebach

Jak wynika z danych w tabeli 4, przewodnictwo wodne zmniejsza się pod wpływem wzrostu ciśnienia ssącego gleby, a tym samym zmniejszenia jej wilgotności. We wszystkich badanych glebach zmniejszenie przewodnictwa wodnego zaznaczyło się najwyraźniej w niskim zakresie ciśnienia i było zróżnicowane w poszczególnych jednostkach systematycznych gleb. W wyniku wzrostu ciśnienia ssącego od 0 do 50 hPa największy spadek stwierdzono w glebie o składzie granulometrycznym piasku luźnego (profil 1, warstwa 0-30 cm), a mianowicie od $533,7 \cdot 10^0$ do $7,2 \cdot 10^{-1}$ cm/dobę, a najmniejszy w pyłe zwykłym - od $55,1 \cdot 10^0$ do $2,5 \cdot 10^0$ cm/dobę (profil 26; 0-30 cm). Wynika stąd, że zmniejszenie przewodnictwa wodnego było 740-krotne w piasku luźnym, natomiast w glebie pylastej 22-krotne. Również w poziomach niżej położonych największy spadek przewodnictwa wodnego, we wspomnianym zakresie ciśnienia ssącego, wystąpił w glebach o składzie granulometrycznym piasków. Stosunkowo wysoki spadek wartości współczynnika k (286-296-krotny) stwierdzono także w czarnoziemach (profile 29 i 30) o dobrym stanie strukturalnym i bogatych w próchnicę (tab. 2). Znacznie mniejszy spadek współczynnika przewodnictwa wodnego we wszystkich badanych glebach wystąpił w miarę wzrostu ciśnienia ssącego od 50 do 100 hPa. Wartość k w zdecydowanej większości zmniejszała się mniej niż 10 razy. Wyjątkiem są jedynie gleby o składzie granulometrycznym piasków w warstwie 60-90 cm (tab. 4, profile 2-5 i 12), gdzie był on największy (107-krotny) w profilu 2 o maksymalnej zawartości frakcji piasku wynoszącej 96% (tab. 2).

Przy dalszym wzroście ciśnienia ssącego zmniejszenie wartości współczynnika k było jeszcze mniejsze. Skok od 2500 do 5000 hPa wywołał zaledwie 1,7-15-krotny spadek wartości k w zdecydowanej większości gleb.

Wysoki spadek wartości k pod wpływem wzrostu ciśnienia ssącego w niskim jego zakresie jest wynikiem tego, że początkowy wzrost ciśnienia ssącego powoduje w pierwszej kolejności odwodnienie porów dużych, a więc najbardziej efektywnych w transporcie wody w strefie nasyconej. Dlatego w glebie nasyconej wodą już nieznaczne zmniejszenie wilgotności powoduje wielokrotnie większy spadek wartości przewodnictwa wodnego aniżeli w glebie w stanie nienasyconym. Decydujący wpływ dużych porów na wielkość przewodnictwa wodnego nasyconego, jak też stopień zmniejszenia współczynnika k w niskim zakresie ciśnienia ssącego potwierdza zawartość porów $> 30 \mu\text{m}$ we wspomnianych już glebach. W glebie piaszczystej (tab. 2, profil 1, warstwa 0-30 cm), charakteryzującej się wysokim przewodnictwem nasyconym oraz wysokim spadkiem k w niskim zakresie ciśnienia ssącego, ilość wymienionych porów wynosiła 25,1%; w pyle zwykłym (tab. 2, profil 26, warstwa 0-30 cm) - wykazującym mniejszy współczynnik k w strefie nasyconej i mniejszy jego spadek (w takim samym zakresie ciśnienia ssącego) - 11,6%. Większa zawartość dużych porów w glebach piaszczystych jest wynikiem ich luźniejszego "upakowania", ponieważ całkowita powierzchnia gruboziarnistych cząstek piasku jest znacznie mniejsza aniżeli cząstek drobniejszych lub mieszaniny różnorodnych frakcji granulometrycznych w glebach gliniastych i ilistych.

W przypadku czarnoziemów wysoki spadek wartości k można wyjaśnić obecnością dużych przestworów międzyagregatowych przenoszących wodę tylko w strefie nasyconej.

Ogólnie można stwierdzić, że wielkość współczynnika k przy różnych ciśnieniach ssących gleb zależy głównie od rozkładu porów pod względem wielkości, warunkowanym uziarnieniem gleby oraz innymi ich właściwościami fizycznymi i chemicznymi.

Zależność między współczynnikiem przewodnictwa wodnego a niektórymi właściwościami podstawowymi gleb

Wpływ badanych właściwości podstawowych gleb na współczynnik przewodnictwa wodnego znalazł odzwierciedlenie w wartościach wskaźników korelacji oraz poziomie istotności. Stopień i kierunek oddziaływania tych właściwości na współczynnik przewodnictwa wodnego zależy w znacznym stopniu od uziarnienia gleb. Dlatego wskaźnik korelacji obliczono oddzielnie dla całości badanych gleb oraz w obrębie dwu grup: o zawartości cząstek spławialnych $< 20\%$ i $> 20\%$ (tab. 6).

Zawartość frakcji piasku

Wpływ zawartości frakcji piasku w warstwie 0-30 cm, w obrębie całości gleb, na współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej i przy ciśnieniu ssącym 20 hPa jest istotnie dodatni, natomiast przy ciśnieniach ssących 2500 i 5000 hPa korelacja ta jest również istotna, lecz znak jej jest ujemny (tab. 6). W przedziale średnich wartości ciśnienia ssącego zależność ta jest nieistotna. W przypadku gleb o zawartości cząstek spławialnych $> 20\%$ omawiana frakcja wpływała istotnie na współczynnik k jedynie przy ciśnieniu ssącym 20 hPa. W warstwie niżej położonej (30-60 cm), podobnie jak w wierzchniej, współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej przy niskich ciśnieniach ssących (20 i 50 hPa) jest istotnie dodatnio skorelowany, natomiast przy ciśnieniach ssących > 200 hPa zależność ta jest ujemna. Podobny wpływ frakcji piasku stwierdzono w grupie gleb o zawartości cząstek spławialnych $< 20\%$, lecz stopień zależności był większy, o czym świadczą wartości współczynników korelacji (tab. 6). W przypadku gleb o zawartości cząstek spławialnych $> 20\%$ omawiana frakcja wpływała istotnie dodatnio na współczynnik k tylko przy niskich wartościach ciśnienia ssącego.

W warstwie położonej najniżej (60-90 cm) omawiana frakcja w obrębie całości gleb jest istotnie dodatnio skorelowana ze współczynnikiem k tylko w strefie nasyconej i przy ciśnieniu ssącym 20 hPa ($r = 0,71; 0,65$). Natomiast w glebach o zawartości cząstek spławialnych $< 20\%$ istotną zależność stwierdzono w całym prawie zakresie ciśnienia ssącego, przy czym

do 50 hPa była ona dodatnia, a od 200 hPa wzwyż - ujemna. Nie stwierdzono istotnego wpływu frakcji piasku na współczynnik przewodnictwa wodnego w obrębie gleb zawierających $>20\%$ cząstek spławialnych.

Zawartość frakcji pyłu

Jak wskazują wartości wskaźników korelacji (tab. 6), ujemny wpływ frakcji pyłu na współczynnik przewodnictwa wodnego zaznaczył się w strefie nasyconej przy ciśnieniu ssącym 20 hPa. Współczynniki korelacji są znacznie większe w warstwach 30-60 i 60-90 cm niż w warstwie wierzchniej. Przy większych ciśnieniach ssących wpływ frakcji pyłu na współczynnik k jest mniejszy i na ogół statystycznie nieistotny. Tylko przy niektórych wartościach ciśnienia ssącego, na przykład: 2500 i 5000 hPa, w warstwie 0-30 cm, omawiana zależność jest istotnie dodatnia w odróżnieniu od niskich ciśnień ssących (tab. 6).

W grupie profili zawierających $<20\%$ cząstek spławialnych wpływ frakcji pyłu na współczynnik k był znacznie większy niż w całości badanych gleb, zwłaszcza w strefie nasyconej i przy ciśnieniu ssącym 20 hPa. Największą wartość współczynnika korelacji ($r = -0,81$) uzyskano w warstwie 60-90 cm dla k w strefie nasyconej. Przy wyższych ciśnieniach ssących największy wpływ pyłu, ale już dodatni, zaznaczył się również w warstwie 60-90 cm.

W przypadku gleb o zawartości cząstek spławialnych $>20\%$ omawiana zależność jest nieistotna we wszystkich badanych warstwach profili glebowych.

Zawartość cząstek spławialnych

Wpływ obecności cząstek spławialnych na współczynnik k , podobnie jak w przypadku poprzednich frakcji, uwidocznił się najwyraźniej w strefie nasyconej i niskich ciśnieniach ssących, zarówno w obrębie całości gleb, jak też w grupie o zawartości cząstek spławialnych $<20\%$ (tab. 6). Jednak w drugim wypadku korelacje były większe. Przy znacznie większych wartościach ciśnienia ssącego wpływ omawianej frakcji był na ogół nieistotny. W glebach o zawartości cząstek spławialnych $>20\%$ istotnie ujemny wpływ tej frakcji na współczynnik k stwierdzono tylko przy ciśnieniach ssących 20 i 50 hPa w warstwie 30-60 cm, a dodatni przy ciśnieniu ssącym 200 hPa w warstwie 60-90 cm (tab. 6).

Powierzchnia właściwa

Zależność między współczynnikiem przewodnictwa wodnego a powierzchnią właściwą zaznaczyła się najwyraźniej w obydwu warstwach poniżej 30 cm (tab. 6). W warstwie 30-60 cm istotną ujemną korelację stwierdzono przy ciśnieniach ssących do 50 hPa we wszystkich grupach gleb. Natomiast przy ciśnieniach ssących powyżej 200 hPa istotne zależności, ale dodatnie, uzyskano jedynie w przypadku gleb zawierających < 20% cząstek spławialnych. Istotna zależność (ujemna) w warstwie 60-90 cm zaznaczyła się, głównie w zakresie niskich ciśnień ssących, w obrębie całości gleb i grupy < 20% cząstek spławialnych. Natomiast przy ciśnieniach ssących > 200 hPa omawiana zależność jest nieistotna we wszystkich badanych grupach gleb.

Statystycznie istotne różnice w warstwie 0-30 cm stwierdzono tylko w przypadku współczynnika k w strefie nasyconej i przy ciśnieniu ssącym 20 hPa, a wartości wskaźników korelacji były znacznie niższe aniżeli w warstwach niżej położonych (tab. 6).

Wskaźnik uziarnienia

Wskaźnik uziarnienia, zawierający rozkład granulometryczny gleb, jest ściśle dodatnio skorelowany ze współczynnikiem przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej i przy niskich ciśnieniach ssących. Dotyczy to całości gleb oraz grupy < 20% cząstek spławialnych we wszystkich badanych warstwach (tab. 6). W tej ostatniej grupie wskaźnik uziarnienia jest ponadto istotnie, lecz ujemnie skorelowany ze współczynnikiem k przy większych wartościach ciśnienia ssącego, przy czym w największym przedziale ciśnienia ssącego w warstwie 30-60 cm.

Wartości wskaźników korelacji są na ogół większe w warstwach niżej położonych i grupie gleb zawierających < 20% cząstek spławialnych.

W obrębie gleb zawierających > 20% cząstek spławialnych istotna korelacja ze współczynnikiem k występowała jedynie w strefie nasyconej w warstwie 30-60 cm.

Zawartość agregatów > 1 mm

Na podstawie wielkości wskaźników korelacji (tab. 6) i poziomu istotności można stwierdzić, że ujemna zależność między zawartością agregatów > 1 mm a współczynnikiem k zaznaczyła się najwyraźniej w strefie nasyconej (ryc. 8), a przy niskich wartościach ciśnienia ssącego w obrębie całości gleb oraz w grupie $< 20\%$ cząstek spławialnych (tab. 6). Natomiast przy większych ciśnieniach ssących, a więc przy mniejszych wilgotnościach, istotny dodatni wpływ zawartości agregatów > 1 mm zaznaczył się w największym stopniu w warstwie 30-60 cm.

Zawartość omawianych agregatów w grupie gleb zawierających $> 20\%$ cząstek spławialnych była istotnie skorelowana ze współczynnikiem przewodnictwa wodnego jedynie przy niskich ciśnieniach ssących i tylko w warstwach 30-60 i 60-90 cm.

Rozkład porów glebowych

Wartości wskaźników korelacji podane w tabeli 6 wskazują, że kierunek oddziaływania porów o równoważnej średnicy > 30 i > 10 μm jest podobny. Wzrost ich zawartości powoduje zwiększenie przewodnictwa w strefie nasyconej (ryc. 5 i 6) przy niskim ciśnieniu ssącym gleby - 20 hPa (wysoka wilgotność), ponieważ w tym zakresie ciśnienia biorą one bezpośrednio udział w transporcie wody. Zależność ta wystąpiła w największym stopniu w obrębie gleb o zawartości cząstek spławialnych $< 20\%$, o czym świadczą większe wartości wskaźników korelacji we wszystkich warstwach profilu, przy czym w warstwach niżej położonych były one największe i wynosiły od 0,64 do 0,89 (tab. 6).

Warto zwrócić uwagę, że przewodnictwo wodne w strefie nasyconej gleb drobnoziarnistych, w porównaniu do gleb gruboziarnistych o zbliżonej zawartości procentowej porów dużych o średnicy równoważnej > 30 μm , jest mniejsze. Na przykład w warstwie 30-60 cm (profile 21 i 24) o składzie granulometrycznym gliny średniej i gliny ciężkiej, zawierającej odpowiednio 11,5 i 13,1% wspomnianych porów, przewodnictwo wodne w strefie nasyconej wynosi 41,0 i 22,5 cm/dobę. Natomiast w glebach o składzie granulometrycznym piasku luźnego i piasku słabogliniastego (profile 4 i 8),

o podobnej zawartości tych porów (12,0 i 11,0%), przewodnictwo wodne nasycone osiąga wartości 189,1 i 172,1 cm/dobę. Różnice te można wyjaśnić tym, że gleby drobnoziarniste o większej porowatości ogólnej zawierają więcej małych porów, które przyczyniają się do zmniejszenia ciągłości dużych porów (najbardziej efektywnych w przenoszeniu wody w strefie nasyconej), a tym samym ograniczają ich zdolność do transportu wody. Małe pory gleb drobnoziarnistych koncentrują się głównie w agregatach glebowych i zatrzymują znaczne ilości wody, w tym także dostępną roślinom.

Przy ciśnieniu ssącym powyżej 200 hPa wraz ze wzrostem zawartości omawianych porów przewodnictwo wodne zmniejszało się istotnie. Oczywiście, pory te nie biorą bezpośrednio udziału w transporcie wody przy wysokich ciśnieniach ssących, ponieważ są już przy nich odwodnione. Większy ich udział w porowatości ogólnej zmniejsza jednak objętość porów małych, odpowiedzialnych za ruch wody w tym zakresie ciśnienia ssącego. Decydujący wpływ porów małych (o średnicy równoważnej $< 3 \mu\text{m}$) w transporcie wody przy niskiej wilgotności gleby potwierdzają istotne dodatnie korelacje ze współczynnikiem k przy wyższych ciśnieniach ssących, a mianowicie 2500 i 5000 hPa w warstwach 0-30 i 30-60 cm (tab. 6). Natomiast zależność między procentowym udziałem tych porów a współczynnikiem k w stanie nasycenia gleb wodą jest ujemna (ryc. 7).

Gęstość

Zależność między współczynnikiem przewodnictwa wodnego a gęstością dla większości ciśnień ssących jest nieistotna (tab. 6). Stwierdzone przy niektórych ciśnieniach ssących statystycznie istotne zależności są odwrotne od tych, jakich można by oczekiwać z punktu widzenia fizyki gleby. Przykładem tego może być (dla warstwy 30-60 cm całości gleb) dodatnia korelacja między współczynnikiem k przy niskim zakresie ciśnienia ssącego (20 i 50 hPa) oraz ujemna zależność przy ciśnieniu ssącym 5000 hPa. Wiadomo bowiem, że wzrost gęstości powoduje zmniejszenie zawartości porów dużych odpowiedzialnych za transport wody przy niskich ciśnie-

niach ssących, a zwiększa ilość porów małych decydujących o ruchu wody przy wysokich ciśnieniach ssących. Stąd otrzymana zależność jest nieprawdziwa. Wynika bowiem z drugorzędnych związków, przede wszystkim między gęstością a składem granulometrycznym gleb (tab. 7).

Zawartość próchnicy, półtoratlenków żelaza i węglanu wapnia; poziom pH

Niezależnie od składu granulometrycznego (wszystkie grupy gleb) wraz ze wzrostem próchnicy zmniejsza się współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej (tab. 6). Również w tym przypadku wpływ próchnicy na tworzenie się struktury agregatowej ułatwiającej przepływ nasycony jest maskowany przez wtórną zależność dodatnią między zawartością próchnicy a zawartością cząstek spławialnych (tab. 7), które w znacznym stopniu warunkują przewodnictwo nasycone gleby.

Zależność między zawartością Fe_2O_3 a współczynnikiem przewodnictwa wodnego zaznaczyła się najwyraźniej w warstwie 30-60 cm w obrębie całości gleb (tab. 6). Jak wskazują wielkości wskaźników korelacji, wraz ze wzrostem zawartości Fe_2O_3 zmniejsza się istotnie współczynnik k przy niskich ciśnieniach ssących. Odwrotna zależność ma miejsce przy ciśnieniach ssących 2500 i 5000 hPa. W warstwach 0-30 i 60-90 cm omawiana korelacja była istotna jedynie w przypadku przewodnictwa nasyconego przy ciśnieniu ssącym 20 hPa.

Zawartość węglanu wapnia (CaCO_3) prawie we wszystkich badanych glebach jest na ogół nieduża. Waha się ona od 0 do 0,1% w glebach o zawartości cząstek spławialnych < 20% oraz od 0 do 0,25% w glebach o zawartości cząstek spławialnych > 20%. Jedynie w dwu profilach glebowych zawartość węglanu wapnia jest znacznie większa. Są to gleby: czarnoziem (profil 30) oraz rędzina (profil 24), w których zawartość CaCO_3 w warstwach 0-30, 30-60 i 60-90 cm wynosiła odpowiednio: 2,1; 8,6; 13,2 oraz 24,2; 37,7 i 68,1%. W obrębie wszystkich gleb łącznie nie stwierdzono istotnego wpływu wapnia na ich przewodnictwo wodne. Wpływ wapnia na współczynnik k jest natomiast widoczny w wymienionym profilu 30 zawierającym stosunkowo dużo CaCO_3 . Wartość k w strefie

nasyconej przy ciśnieniu ssącym 20 hPa jest znacznie większa w tej glebie niż w innych reprezentujących ten sam gatunek (pył ilasty), ale wykazujących małą zasobność w węglan wapnia, poniżej 0,13% (tab. 4, profile 27-29, 31; warstwa 0-30 cm).

Korelacja między pH a współczynnikiem przewodnictwa wodnego jest przy większości ciśnień ssących nieistotna (tab. 6). Statystycznie istotną ujemną zależność stwierdzono w warstwach: 0-30 cm przy ciśnieniu ssącym 1000 hPa, w obrębie gleb zawierających > 20% cząstek spławialnych; 30-60 cm przy ciśnieniach ssących 2500 i 5000 hPa w obrębie całości gleb i grupie o zawartości cząstek spławialnych < 20% oraz 60-90 cm przy ciśnieniu ssącym 50 hPa w przypadku wszystkich grup gleb.

Powyższe omówienie wyników i wielkości wskaźników korelacji wskazuje, że zależności między przewodnictwem wodnym gleb a badanymi właściwościami chemicznymi gleb są istotne tylko przy niektórych ciśnieniach ssących i w wybranych warstwach. Oddziaływanie tych właściwości na przewodnictwo wodne w obrębie badanych gleb jest przysłanianie przez wpływ innych cech, a przede wszystkim przez skład granulometryczny. Potwierdzeniem tego jest wyraźny wpływ parametrów chemicznych na przewodnictwo wodne gleb reprezentujących ten sam gatunek. Przykładem są gleby o składzie granulometrycznym pyłu ilastego (w warstwie 0-30 cm) reprezentowane przez 5 profili: 28, 31, 27, 29, 30 (tab. 4). Współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej kolejno się w nich zwiększa i wynosi odpowiednio: 33,6; 54,4; 103,2; 122,0 i 140,4 cm/dobę. Zwiększenie współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej w wymienionych profilach można wyjaśnić wzrastającą wodoodpornością agregatów o średnicy > 1 mm : od 8,7 (profil 28) do 27,0% (profil 30) oraz wzrostem udziału porów o średnicy równoważnej > 30 μ m. Na większą trwałość struktury gleb pylastych może mieć znaczny wpływ zawartość próchnicy, zwiększająca się kolejno w wymienionych glebach od 1,5 do ponad 3% oraz pH od 4,3 do 7,2. Ten ostatni wskaźnik jest istotnie skorelowany z zawartością próchnicy ($r = 0,74$) w glebach o zawartości cząstek spławialnych > 20%. Należy dodać, że w wymienionej glebie o pH 7,2 (profil 30) znajduje się stosunkowo dużo węglanu wapnia (od 2,1 do 13,2%). Również w niższych warstwach gleby o składzie granulometrycznym

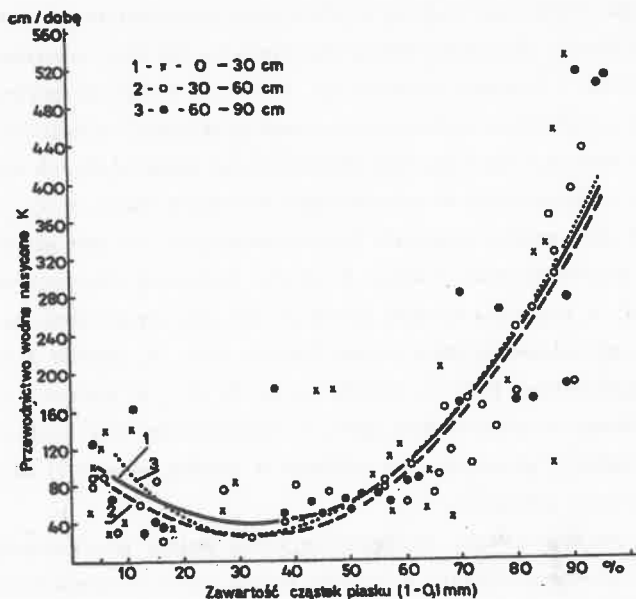
pyłu ilastego, wykazując większy współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej, charakteryzowały się większym pH oraz znaczniejszym udziałem porów o średnicy równoważnej $> 30 \mu\text{m}$. Powyższe porównanie wartości przewodnictwa wodnego nasyconego i niektórych właściwości podstawowych wskazuje na wzajemne oddziaływanie poszczególnych czynników fizycznych i chemicznych w kształtowaniu warunków ruchu wody.

Wśród gleb gruboziarnistych (reprezentujących ten sam gatunek) większym przewodnictwem wodnym w strefie nasyconej charakteryzowały się warstwy o większym udziale porów $> 30 \mu\text{m}$. Przykładem są gleby o składzie granulometrycznym piasku luźnego (tab. 4, profile 2-5) i piasku słabogliniastego (tab. 4, profile 1, 6, 8, 31), w warstwie 30-60 cm. Nie stwierdzono w obrębie tych gleb, w zdecydowanej większości kwaśnych, zależności przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej od pH oraz zawartości próchnicy.

Warto zwrócić uwagę, że omówione wyżej zmiany przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej w obrębie gleb o składzie granulometrycznym pyłu ilastego mieszczą się w przedziale 33,6-140,4, natomiast w glebach reprezentujących piasek luźny: 189,1-436,6 cm/dobę. Wynika stąd, że zarówno w glebach drobnoziarnistych jak i gruboziarnistych wielkość przewodnictwa wodnego zależy nie tylko od ich składu granulometrycznego. Zmiany współczynnika k wywołane przez inne właściwości podstawowe mieszczą się w odmiennych przedziałach wartości uwarunkowanych przez skład granulometryczny. Potwierdzeniem wpływu składu granulometrycznego są również wartości średnie przewodnictwa wodnego nasyconego poszczególnych grup gleb o różnej zawartości cząstek spławialnych: $< 20\%$ - $k = 197 \text{ cm/dobę}$ (średnia z 53 warstw); $> 20\%$ - $k = 80 \text{ cm/dobę}$ (średnia z 37 warstw).

Wykorzystanie niektórych właściwości fizycznych gleb do oceny przewodnictwa nasyconego przy pomocy równań regresji

Na podstawie statystycznie istotnych zależności między przewodnictwem wodnym w strefie nasyconej a zawartością piasku, pyłu i cząstek spławialnych oraz wskaźnikiem uziarnienia i zawartością porów $> 30 \mu\text{m}$ opracowano równania regresji wielokrotnej do oceny wielkości przewo-



Ryc. 1. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a zawartością % cząstek piasku (x)

Równania regresji wielokrotnej:

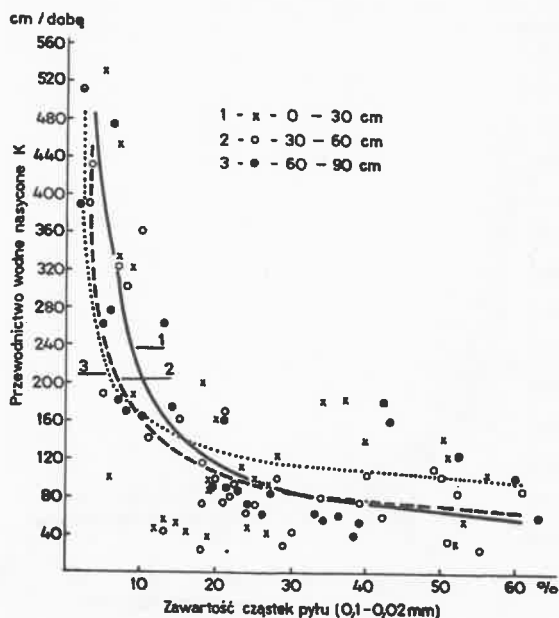
$$k = 131,32 + 0,089x^2 - 5,75x, R = 0,71 \text{ (0-30 cm)}$$

$$k = 118,56 + 0,091x^2 - 5,87x, R = 0,90 \text{ (30-60 cm)}$$

$$k = 143,46 + 0,095x^2 - 6,32x, R = 0,87 \text{ (60-90 cm)}$$

dnictwa nasyconego. Frakcje granulometryczne wybrano dlatego, że są to składniki gleby stosunkowo niezmiennie, łatwo dostępne z opracowanych już materiałów gleboznawczych, a ponadto pozostają w istotnej zależności z innymi właściwościami, o czym świadczą wskaźniki korelacji w tabeli 7.

Zależność między współczynnikiem przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej a zawartością frakcji piasku przebiega według funkcji parabolicznej (ryc. 1). Zależność ta wskazuje, że wpływ piasku na współczynnik przewodnictwa nasyconego nie jest jednakowy w poszczególnych gle-



Ryc. 2. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a zawartością % cząstek pyłu (x)

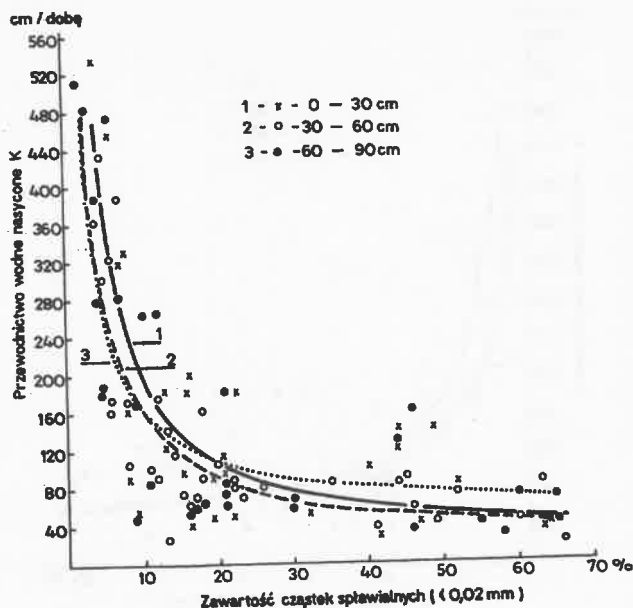
Równania regresji wielokrotnej:

$$k = 29,10 + \frac{1785,62}{x}, R = 0,70 \text{ (0-30 cm)}$$

$$k = 45,51 + \frac{1165,05}{x}, R = 0,84 \text{ (30-60 cm)}$$

$$k = 87,45 + \frac{799,99}{x}, R = 0,83 \text{ (60-90 cm)}$$

bach czy grupach gleb. Dowodem na to jest rozmieszczenie na wykresie punktów reprezentujących gleby o odmiennych właściwościach. Grupa gleb wykazujących stosunkowo wysokie przewodnictwo nasycone charakteryzuje się zawartością piasku < 10%. Są to przede wszystkim profile o wysokiej zawartości próchnicy (głównie czarnoziemy), charakteryzujące się dobrze rozwiniętą i wodoodporną strukturą. Trwałość tej struktury umożliwia transport znacznych ilości wody przez pory międzyagregatowe



Ryc. 3. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a zawartością % cząstek spalwialnych (x)

Równanie regresji wielokrotnej:

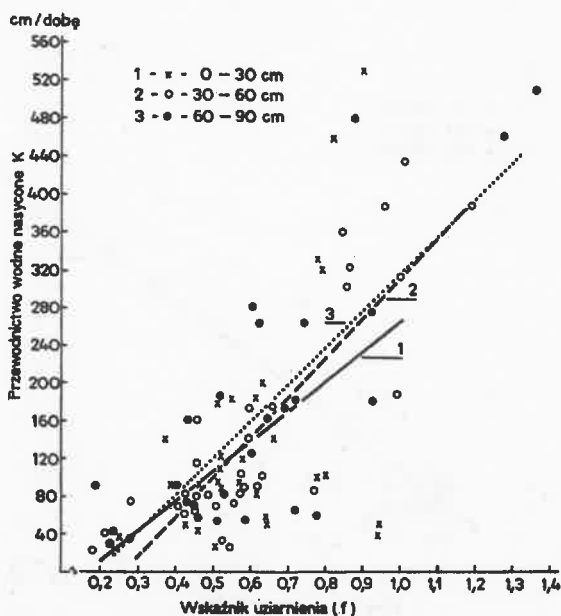
$$k = 19,65 + \frac{1753,35}{x}, \quad R = 0,76 \quad (0-30 \text{ cm})$$

$$k = 24,66 + \frac{1312,45}{x}, \quad R = 0,79 \quad (30-60 \text{ cm})$$

$$k = 55,12 + \frac{1042,17}{x}, \quad R = 0,82 \quad (60-90 \text{ cm})$$

oraz naturalne przestwory (kanaliki po dżdżownicach i korzeniach).

Najniższe wartości przewodnictwa nasyczonego uzyskano w glebach o zawartości piasku od 10 do 35% (ryc. 1). Należą do nich w znacznej części profile o największej powierzchni właściwej, a więc bogate w minerały ilaste. Są to profile o składzie granulometrycznym glin pylistych i pyłów. Pęcznienie minerałów prowadzi do zakrycia porów dużych, co



Ryc. 4. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a wskaźnikiem uziarnienia (x)

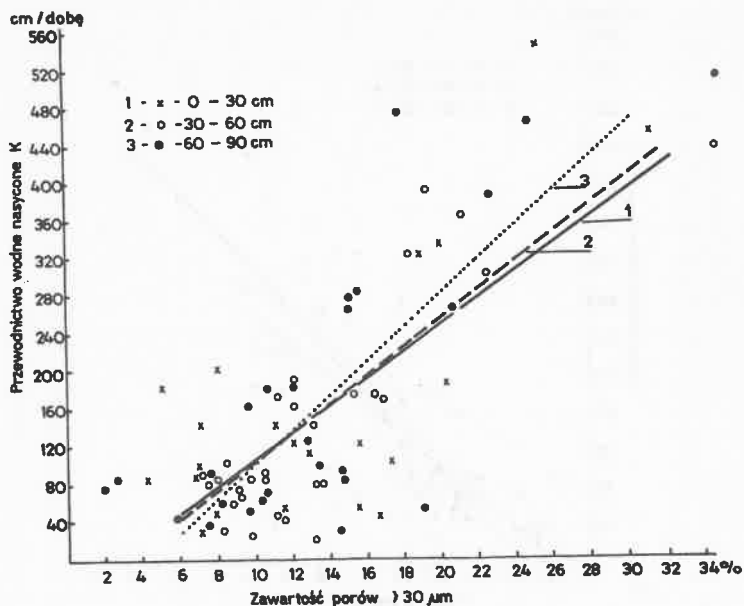
Równanie regresji wielokrotnej:

$$\begin{aligned} k &= 50,94 + 318,15x, \quad R = 0,49 \quad (0-30 \text{ cm}) \\ k &= 110,78 + 422,02x, \quad R = 0,81 \quad (30-60 \text{ cm}) \\ k &= 75,51 + 390,0x, \quad R = 0,80 \quad (60-90 \text{ cm}) \end{aligned}$$

może być jedną z zasadniczych przyczyn niskiego przewodnictwa nasyconego tych gleb.

Zależność przewodnictwa wodnego nasyconego od frakcji piasku przejawia się w największym stopniu przy jego procentowej zawartości od 65 do 92%. W tym przedziale niewielki wzrost zawartości tej frakcji powoduje znaczne zwiększenie przewodnictwa nasyconego. Omawiana zależność jest ściślejsza w warstwach położonych poniżej 30 cm, na co wskazują wielkości wskaźników korelacji.

Graficzna postać regresji między przewodnictwem wodnym nasyconym a zawartością pyłu (ryc. 2) ma kształt hiperboli. Największy spadek

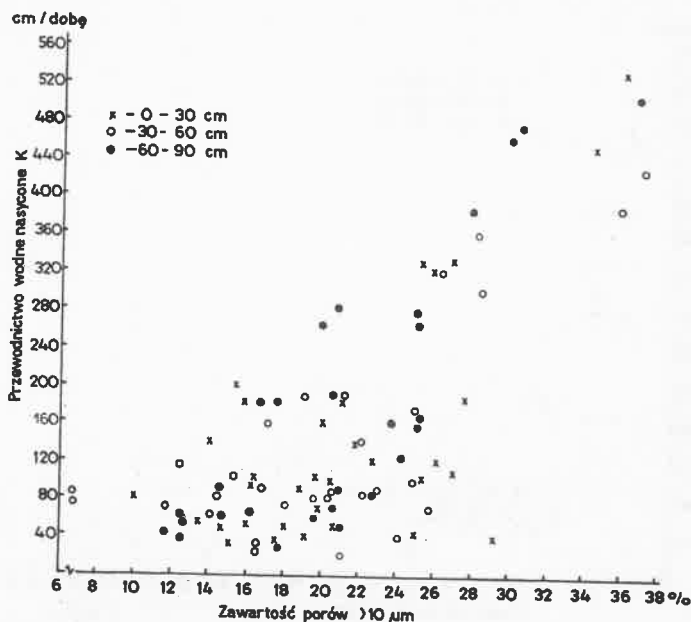


Ryc. 5. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a zawartością % porów $> 30 \mu m$ (x)

Równania regresji wielokrotnej:

$$\begin{aligned} k &= -37,85 + 14,34x, R = 0,82 \text{ (0-30 cm)} \\ k &= -45,94 + 14,98x, R = 0,83 \text{ (30-60 cm)} \\ k &= -79,30 + 18,12x, R = 0,80 \text{ (60-90 cm)} \end{aligned}$$

współczynnika k ma miejsce przy wzroście zawartości frakcji pyłu od 2 do 20%. Przy dalszym zwiększeniu zawartości tej frakcji wielkość przewodnictwa nasyczonego zmienia się w znacznie mniejszym stopniu. Ujemne oddziaływanie wysokiej zawartości frakcji pyłu można wyjaśnić tym, że charakteryzuje się ona małymi siłami wiążącymi cząstki glebowe. Stąd łatwy rozpad struktury w wyniku działania wody i zablokowanie porów biorących udział w transporcie wody. W przedziale zawartości pyłu od 2 do 15% wartości przewodnictwa nasyczonego są na ogół największe w warstwie 0-30 cm, natomiast przy większej zawartości tej frakcji w warstwie 60-90 cm.

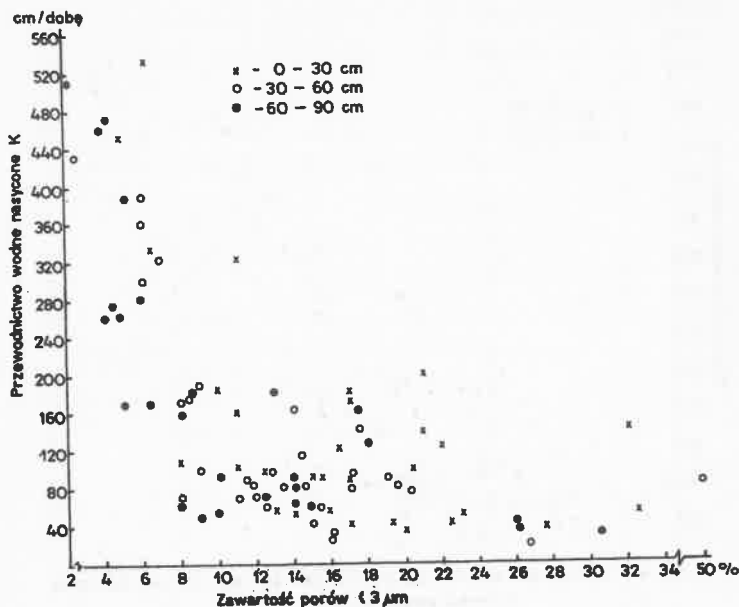


Ryc. 6. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a zawartością porów $> 10 \mu m$

$R = 0,65$ (0-30 cm), $R = 0,72$ (30-60 cm), $R = 0,82$ (60-90 cm)

Wraz ze wzrostem zawartości cząstek spławialnych wielkość przewodnictwa nasyconego zmniejsza się według funkcji hiperbolicznej, podobnie jak pod wpływem zawartości frakcji pyłu (rys. 3). Oddziaływanie cząstek spławialnych na zmiany przewodnictwa wodnego zaznaczyło się w największym stopniu przy wzroście udziału cząstek spławialnych od 3 do 20%, czyli w obrębie gleb piaszczystych. Przebieg zależności we wszystkich warstwach jest podobny, przy czym największy wskaźnik korelacji równania regresji uzyskano w warstwie 60-90 cm.

Warto zwrócić uwagę, że mimo wzrostu całkowitej objętości porów pod wpływem większej zawartości cząstek spławialnych, o czym świadczą wilgotności objętościowe przy ciśnieniu ssącym 0 (tab. 5), przewodnictwo nasycone się zmniejsza. Wynika to stąd, że wzrost porowatości ogólnej spowodowany jest przede wszystkim zwiększeniem udziałów porów ma-



Ryc. 7. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a zawartością porów $< 3 \mu m$

$R = -0,57$ (0-30 cm), $R = -0,51$ (30-60 cm), $R = -0,67$ (60-90 cm)

łych $< 3 \mu m$ (tab. 2), które nie mają istotnego wpływu na ruch wody w stanie pełnego nasycenia gleby wodą.

Powyższa analiza wskazuje, że oddziaływanie poszczególnych frakcji granulometrycznych na współczynnik przewodnictwa wodnego jest różne. Związek przewodnictwa wodnego nasyconego z zawartością frakcji piasku przebiega według funkcji parabolicznej, natomiast z frakcjami pyłu i cząstek splewiałnych według frakcji hiperbolicznej. Stopień oddziaływania wybranej frakcji należy także od udziału pozostałych. W celu uwzględnienia wzajemnego różnorodnego wpływu poszczególnych frakcji opracowano równania regresji łącznie dla wszystkich trzech frakcji. Równania te charakteryzują się nieco większymi wskaźnikami korelacji (tab. 8) niż każda z frakcji oddzielnie. Oznacza to, że ocena wielkości współczynnika przewodnictwa wodnego nasyconego na podstawie trzech frakcji łącznie

jest bliższa danym eksperymentalnym. Równania regresji dla poszczególnych frakcji dają natomiast obraz ich oddzielnego oddziaływania przy różnej zawartości w glebach (ryc. 1-3).

Wpływ składu granulometrycznego na nasyczone przewodnictwo wodne potwierdza istotna korelacja ze wskaźnikiem uziarnienia (ryc. 4). Wskaźnik ten przedstawia syntetycznie uziarnienie gleb, a wartości jego są większe w glebach gruboziarnistych i zawierających mniejszą liczbę różnych frakcji granulometrycznych. Dlatego jego wartości są najwyższe w glebach o składzie granulometrycznym piasku luźnego. Jak wynika z ryciny 4, zależność przewodnictwa nasyczonego od wskaźnika uziarnienia przebiega według funkcji prostoliniowej, którą opisuje stosowne równanie regresji. Wymieniona zależność jest ściślejsza w obydwu warstwach poniżej 30 cm.

Ocenę wielkości nasyczonego przewodnictwa wodnego umożliwia także istotna zależność tej właściwości od zawartości porów o równoważnej średnicy $> 30 \mu\text{m}$ (ryc. 5). Liczbę tych porów można obliczyć znając wilgotność gleby przy ciśnieniu ssącym $100 \text{ cm H}_2\text{O}$ (pF 2,0) oraz porowatość ogólną. Wspomniana zależność jest dodatnia i ma kształt prostej opisaną równaniami regresji we wszystkich badanych warstwach profilu glebowego (ryc. 5).

Określenie wielkości podsiąku kapilarnego i wartości krytycznych poziomu wody gruntowej na podstawie danych przewodnictwa wodnego w funkcji ciśnienia ssącego badanych gleb

Odmienne wartości liczbowe przewodnictwa wodnego w funkcji ciśnienia ssącego poszczególnych gatunków gleb znalazły odzwierciedlenie w obliczonych dla stanu równowagi hydrostatycznej wielkościach podsiąku kapilarnego między dolną częścią strefy korzeniowej a poziomem wody gruntowej (ryc. 9-11).

Porównanie wielkości podsiąku kapilarnego przy ciśnieniach ssących 100-1000 hPa i wyższych, odpowiadających wodzie dostępnej dla roślin, wskazuje, że jest on największy w glebach o składzie granulometrycznym gliny lekkiej i zmniejsza się kolejno począwszy od piasku gliniastego

mocnego, przez glinę średnią, glinę ciężką, pył ilasty, pył zwykły, piasek gliniasty lekki, piasek słabogliniasty po piasek luźny. Przy szybkości ewapotranspiracji $V = 2 \text{ mm/dobę}$ i ciśnieniu ssącym 1000 hPa podsiąk kapilarny wody gruntowej możliwy jest w wymienionych gatunkach odpowiednio z głębokości: 199, 183, 180, 157, 153, 146, 143 i 100 cm . Na podstawie wymienionych wartości badane gatunki można uszeregować w 4 grupy różniące się wyraźnie pod względem podsiąku kapilarnego, a mianowicie: 1 - glina lekka, piasek gliniasty mocny, glina średnia; 2 - glina ciężka, pył ilasty, pył zwykły; 3 - piasek gliniasty lekki, piasek słabogliniasty; 4 - piasek luźny.

Przy niższych ciśnieniach ssących - do 70 hPa , a więc wysokiej wilgotności, największy podsiąk kapilarny wykazują gleby gruboziarniste o składzie granulometrycznym piasku luźnego, piasku słabogliniastego i piasku gliniastego lekkiego.

Na podstawie wielkości podsiąku kapilarnego oraz głębokości efektywnej strefy korzeniowej, dla zbóż określanej od 0 do 60 cm (80% korzeni), obliczono wartości krytyczne poziomu wody gruntowej. Analogicznie do wielkości podsiąku kapilarnego, poziomy krytyczne są najniżej położone w glinie lekkiej, piasku gliniastym mocnym i glinie średniej, zaś najwyżej w piasku luźnym (tab. 9). Obniżenie poziomu wody gruntowej poniżej wartości krytycznych przerywa podsiąk kapilarny i redukuje dopływ wody gruntowej do strefy korzeniowej.

Przedstawione wyniki wskazują, że wielkość podsiąku kapilarnego zależy od szybkości ewapotranspiracji V i ciśnienia ssącego gleby. Na przykład w glebach o składzie granulometrycznym gliny średniej (ryc. 10c) przy ciśnieniu ssącym gleby w dolnej części strefy korzeniowej 1000 hPa i ewapotranspiracji równej 5 mm/dobę woda może podsiąkać z głębokości około 110 cm , natomiast przy ewapotranspiracji $0,5 \text{ mm/dobę}$ z głębokości 320 cm .

DYSKUSJA

Zależności między przewodnictwem wodnym a badanymi właściwościami podstawowymi gleb zaznaczyły się w największym stopniu w strefie nasyczonej oraz przy ciśnieniach ssących bliskich stanu nasycenia. Wśród

czynników warunkujących przewodnictwo wodne podstawowe znaczenie ma skład granulometryczny. Działa on bezpośrednio przez wielkość i ułożenie poszczególnych frakcji granulometrycznych oraz pośrednio - przez istotny wpływ na inne właściwości fizyczne i chemiczne gleb (tab. 7).

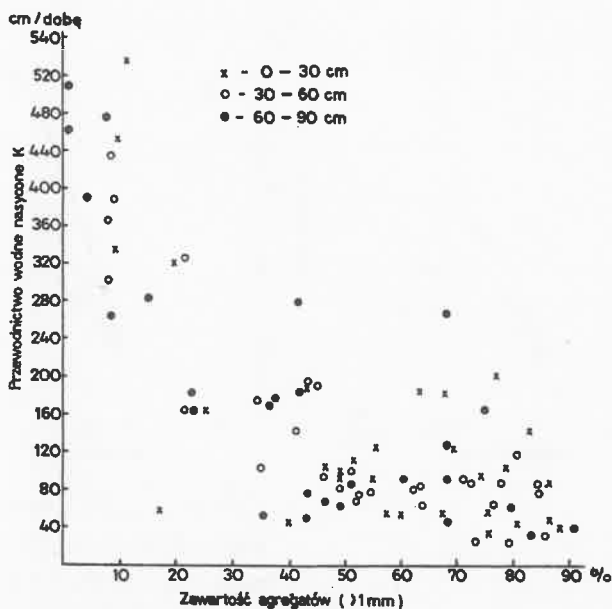
Otrzymane zależności wyrażone równaniami regresji pozwalają ocenić wielkości przewodnictwa wodnego nasyconego na podstawie składu granulometrycznego, łatwiejszego do oznaczenia lub dostępnego w dotychczas opracowanych materiałach gleboznawczych [94]. Przedstawione na rycinach (1-3) funkcje równań regresji wskazują na wzrastający wpływ frakcji piasku (na przewodnictwo nasycone) w miarę zwiększania się ich udziału, przeciwnie niż w przypadku pyłu i cząstek spławialnych. Wynika stąd, że najściślejsze korelacje ze wszystkimi frakcjami mają miejsce w glebach gruboziarnistych. Są one rezultatem bezpośredniego wzajemnego oddziaływania poszczególnych frakcji na stopień ich "upakowania" oraz rozkład porów określających wielkość przewodnictwa wodnego. Na słabszą korelację między przewodnictwem wodnym w strefie nasyconej a zawartością frakcji granulometrycznych w glebach cięższych wpływa możliwość tworzenia różnorodnych struktur agregatów i porów wskutek oddziaływania cząstek ilastych i próchnicy, obecność większej ilości różnych frakcji granulometrycznych oraz pęczniejących minerałów ilastych - o czym świadczą wyniki pomiarów powierzchni właściwej. Dokładne określenie wpływu powyższych czynników wymaga bardziej ścisłych doświadczeń w poszczególnych jednostkach systematycznych gleb.

Infiltrometri do badań przewodnictwa wodnego pobierano z gleb znajdujących się w podobnych warunkach, a mianowicie obsianych zbożami i charakteryzującymi się średnim poziomem wilgotności (przy ciśnieniu ssącym odpowiadającym efektywnej retencji użytecznej). Miało to wyeliminować niektóre czynniki drugorzędne, jak wpływ roślin i sposobów uprawy, a przede wszystkim dużych przestworów powstałych w wyniku spękań i kurczenia się gleb drobnoziarnistych. Stąd w glebach prezentujących odmienne warunki, na przykład bezpośrednio spulchnionych lub zagęszczonych, wartości przewodnictwa nasyconego mogą znacznie odbiegać od uzyskanych na podstawie równań regresji, bowiem, jak wskazano

w pracy, niewielkie zmiany ilości dużych przestworów mogą wielokrotnie zwiększać lub zmniejszać przewodnictwo nasyczone gleb.

Wartości liczbowe wskaźników korelacji (tab. 6) wskazują, że zależność między badanymi właściwościami podstawowymi gleb a przewodnictwem wodnym w stanie nasycenia gleb wodą przy niskich ciśnieniach ssących jest znacznie ściślejsza aniżeli przy większych. Wynika to z faktu, że przy wyższych ciśnieniach ssących (mniejsza wilgotność) część porów, przede wszystkim dużych, jest wypełniona powietrzem i ich całkowita objętość, efektywna w transporcie wody, zmniejsza się. Rola porów wypełnionych powietrzem nie ogranicza się tylko do tego, że nie biorą one udziału w transporcie wody, lecz utrudniają one transport wody w porach mniejszych, powodują bowiem zmianę kierunku ruchu wody. W rezultacie droga wody staje się bardziej zawiła i dłuższa. Duży w tym udział poszczególnych porów i ich przestrzennego rozmieszczenia, którego nie można określić za pomocą krzywych retencji wodnej. Umożliwiają to metody dużych szlifów glebowych, doskonałe ostatnio w coraz większym zakresie [54]. Eliminują one również efekt histerezy, a ich szersze wykorzystanie w gleboznawstwie przyczyni się do dokładniejszego poznania procesów transportu wody oraz jego zależności od podstawowych właściwości gleb.

Na uwagę zasługuje zależność między przewodnictwem wodnym a gęstością gleb. Jak już wspomniano, wyliczona korelacja jest w znacznym przedziale ciśnienia ssącego nieistotna, a w warstwie 30-60 cm dodatnia przy niskich ciśnieniach ssących oraz ujemna przy wysokich. Wyniki te nie są zbieżne z rezultatami wielu doświadczeń przeprowadzonych na jednej glebie lub grupie gleb o zbliżonym składzie granulometrycznym [16, 25, 29, 77]. Jest to efektem wpływu składu granulometrycznego na gęstość, jest ona bowiem istotnie dodatnio skorelowana z cząstkami piasku zwiększającymi przewodnictwo w niskim zakresie ciśnienia ssącego oraz ujemnie z zawartością cząstek spławialnych, zmniejszającymi przewodnictwo przy identycznym ciśnieniu ssącym (tab. 7). Z drugiej strony konsekwencją zmniejszenia gęstości i wzrostu zawartości cząstek spławialnych jest zwiększenie porowatości ogólnej, o czym świadczy większa wilgotność objętościowa gleb cięższych w sta-

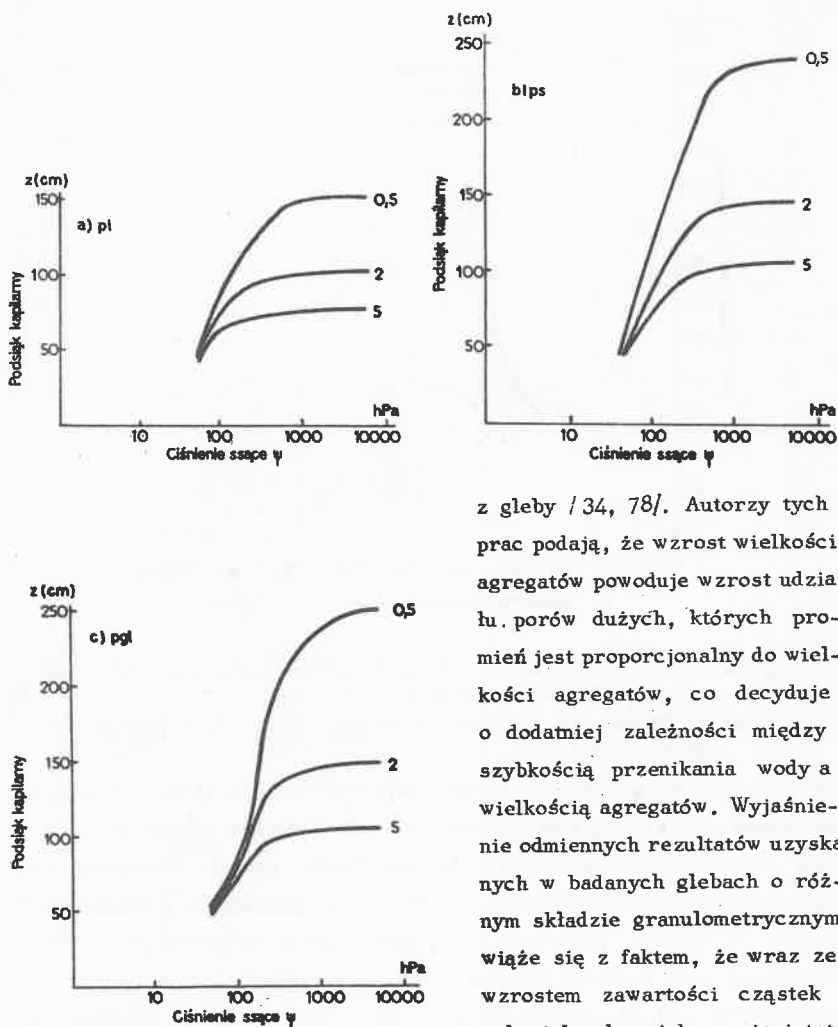


Ryc. 8. Zależność między przewodnictwem wodnym nasyconym (k) a zawartością agregatów > 1 mm

$R = -0,64$ (0-30 cm), $R = -0,84$ (30-60 cm), $R = -0,75$ (60-90 cm)

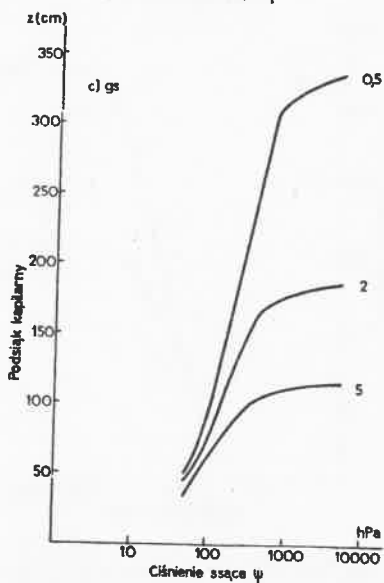
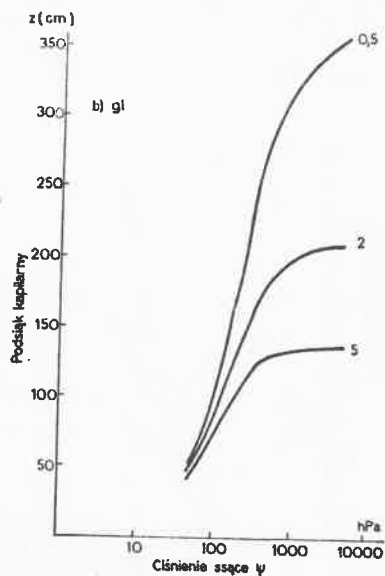
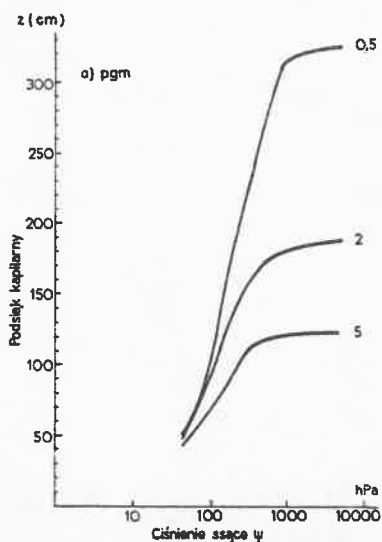
nie nasycenia wodą (tab. 5). Wynika stąd wniosek, że gleby o większej porowatości ogólnej są mniej przepuszczalne. Tłumaczy się to tym, że gleby gruboziarniste, mimo mniejszej porowatości ogólnej, zawierają więcej dużych porów niekapilarnych ($> 30 \mu\text{m}$) w porównaniu z drobnoziarnistymi. W badanych glebach o zawartości cząstek spławialnych $< 20\%$ wymienione pory stanowią średnio $14,8\%$, a w glebach $> 20\%$ cząstek spławialnych – $9,4\%$. Dlatego gęstość, jako wskaźnik zmian rozkładu porów pod względem wielkości, a tym samym zdolności przenoszenia wody w glebie o określonym składzie granulometrycznym, nie może być zastosowana do gleb o szerokim zakresie uziarnienia.

Zależność między zawartością agregatów o średnicy > 1 mm a przewodnictwem wodnym w strefie nasyconej jest ujemna (tab. 6, ryc. 8). Odwrotnie niż w badaniach laboratoryjnych nad agregatami wydzielonymi



Ryc. 9. Wysokość podsiąku kapilarnego (z) obliczona dla trzech szybkości ewapotranspiracji (0,5; 2 i 5 mm/dobę) przy różnym ciśnieniu ssącym w glebach : pl, ps, pgl

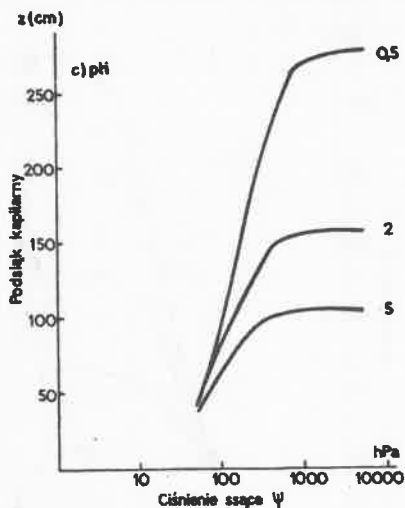
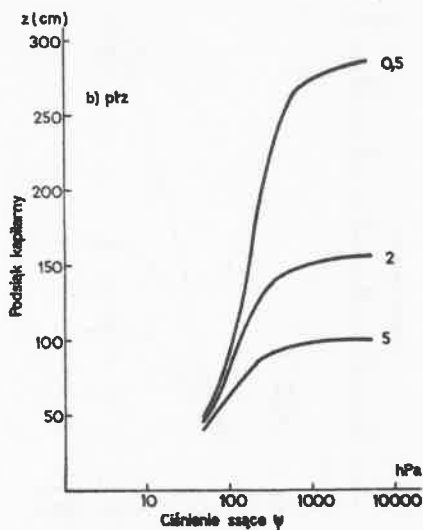
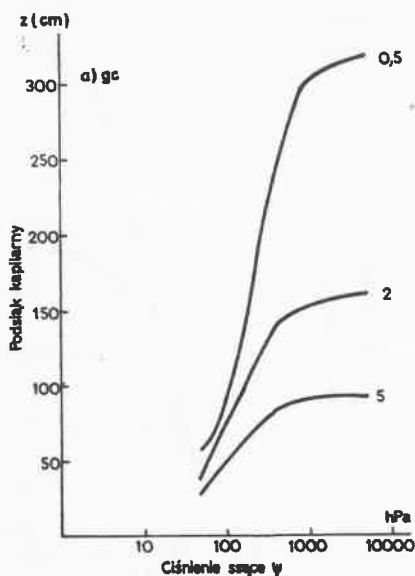
z gleby [34, 78]. Autorzy tych prac podają, że wzrost wielkości agregatów powoduje wzrost udziału porów dużych, których promień jest proporcjonalny do wielkości agregatów, co decyduje o dodatkowej zależności między szybkością przenikania wody a wielkością agregatów. Wyjaśnienie odmiennych rezultatów uzyskanych w badanych glebach o różnym składzie granulometrycznym wiąże się z faktem, że wraz ze wzrostem zawartości cząstek spławialnych zwiększa się istotnie liczba agregatów > 1 mm (wydzielonych po wysuszeniu gleby w laboratorium) oraz liczba porów małych ($< 3 \mu\text{m}$), których



zawartość jest istotnie ujemnie skorelowana z przewodnictwem nasyconym (tab. 7). W warunkach polowych, w wierzchnich warstwach gleb, określone stany agregacji można otrzymać przez odpowiednie zabiegi agrotechniczne lub zastosowanie środków strukturotwórczych [26]. Głębiej uzyskanie różnych stanów agregacji, a zwłaszcza dużych przestworów międzyagregatowych, ograniczone jest ciśnieniem warstw nadkładowych. Pewne korzyści dawała uprawa lucerny, której głębokie ukorzenienie zwiększało liczbę dużych porów i przewodnictwo nasycone [14].

Otrzymane wyniki przewo-

Ryc. 10. Wysokość podziału kapilarnego (z) obliczona dla trzech szybkości ewapotranspiracji (0,5, 2 i 5 mm/dobę) przy różnym ciśnieniu ssącym w glebach: pgm, gl, gs



Ryc. 11. Wysokość podsiąku kapilarnego (z) obliczona dla trzech szybkości ewapotranspiracji (0,5, 2 i 5 mm/dobę) przy różnym ciśnieniu ssącym w glebach : gc, ptz, pti

dnictwa i retencji wodnej świadczą, w kategoriach ilościowych, o możliwościach zaopatrzenia roślin w wodę, a więc o wartości rolniczej gleb. Gleby gruboziarniste, zwłaszcza o składzie granulometrycznym piasków luźnych, charakteryzują się największym przewodnictwem wodnym nasyconym oraz najniższym w strefie nienasyconej w zakresie ciśnienia ssącego odpowiadającego wodzie dostępnej roślinom. Wysokie przewodnictwo nasyczone oraz niewielkie zdolności tych gleb do magazynowania wody (tab. 4, 5) prowadzą do dużych strat wody z opadów atmosferycznych, z nawadniania oraz wymywania składni-

ków pokarmowych z profilu glebowego. Natomiast niskie przewodnictwo wodne oraz zdolności retencyjne tych gleb w przedziale wody dostępnej roślinom ograniczają zaopatrzenie roślin w wodę. Wykazano bowiem [47, 48], że przy wysokim współczynniku przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej ciśnienie ssące gleby na granicy korzenie-gleba nie podlega szybkim zmianom. Wymagany gradient ciśnienia ssącego dla danej szybkości transpiracji może być utrzymany dłużej w glebie drobnoziarnistej niż gruboziarnistej. Warto również podkreślić, że gleby wykazujące mniejsze przewodnictwo nasycone są na ogół wilgotniejsze, a ich wysychanie i nawilżanie przebiega wolniej [51].

Badania podsiąku kapilarnego wskazują, że przy niskich ciśnieniach ssących jest on większy w materiale gruboziarnistym (ryc. 9-11), natomiast przy ciśnieniach odpowiadających wodzie dostępnej roślinom jest zdecydowanie większy w glebach drobnoziarnistych. Rijtema [79] wskazuje, że różnice we właściwościach kapilarnych materiałów o różnym składzie granulometrycznym mają istotny wpływ na wielkość podsiąku kapilarnego w profilach niejednorodnych. Zatem w profilach gleb drobnoziarnistych podścielonych warstwami piaszczystymi w sąsiedztwie nawet głębokiej wody gruntowej wysokość podsiąku kapilarnego może być znaczna. Znajomość budowy profilu glebowego uwzględniana także w ocenie przydatności rolniczej gleb oraz właściwości kapilarnych poszczególnych warstw umożliwiają dość dobrą ocenę podsiąku kapilarnego do strefy korzeniowej w różnych glebach niecałkowitych.

Stwierdzone zależności oraz uzyskane wyniki wskazują, że przewodnictwo wodne, będąc zależne od wielu czynników glebowych, reguluje transport wody w profilu glebowym i zaopatrzenie roślin w wodę. Przeprowadzono jednak mało badań dotyczących bezpośredniego wpływu tej właściwości na rozwój roślin. Dotychczasowe doświadczenia [45] dowodzą, że przewodnictwo nasycone jest dodatnio skorelowane z głębokością systemu korzeniowego tymotki. Jednak wyników tych nie można uogólniać, bowiem doświadczenia te przeprowadzono tylko na glebie gliniastej z jednym gatunkiem roślin.

WNIOSKI

1) Przewodnictwo wodne jest istotnie skorelowane z niektórymi podstawowymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi gleb, takimi jak: skład granulometryczny i zależny od niego rozkład porów, zawartość agregatów > 1 mm, wskaźnik uziarnienia, zawartość próchnicy i Fe_2O_3 . Znak i stopień korelacji zależy od ciśnienia ssącego, głębokości i uziarnienia gleb.

2) Badane właściwości fizyczne i chemiczne wpływają w największym stopniu na przewodnictwo wodne w strefie nasyconej oraz przy niskim ciśnieniu ssącym. Stwierdzone istotne korelacje dodatnie dotyczą zawartości frakcji piasku, porów o średnicy równoważnej > 30 , > 10 μm , wskaźnika uziarnienia. Ujemne – zawartości pyłu, cząstek spławialnych, agregatów > 1 mm, porów o średnicy < 3 μm , próchnicy, Fe_2O_3 oraz powierzchni właściwej. W wysokich ciśnieniach ssących (2500 i 5000 hPa) współczynnik przewodnictwa wodnego jest istotnie ujemnie skorelowany z zawartością frakcji piasku, porów o średnicy > 30 i > 10 μm , a dodatnio z zawartością frakcji pyłu i porów o średnicy < 3 μm .

3) Spośród stałych właściwości podstawowych gleb najściślej skorelowane z przewodnictwem wodnym w strefie nasyconej są: syntetyczny wskaźnik uziarnienia oraz zawartość poszczególnych frakcji granulometrycznych, a spośród czynników niestałych – procentowy udział porów o średnicy równoważnej > 30 μm .

4) Zależności między przewodnictwem wodnym nasyconym a uziarnieniem gleb, wyrażone w równaniach regresji wielokrotnej, pozwalają na ocenę wielkości tego przewodnictwa na podstawie zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych (ryc. 1-3) lub wszystkich łącznie (tab. 8).

5) Korelacje między przewodnictwem wodnym a składem granulometrycznym są w obrębie całości badanych gleb oraz w grupie o zawartości cząstek spławialnych $< 20\%$ ściśsze niż przy obecności cząstek spławialnych $> 20\%$. Zależność jest wyraźniejsza w warstwach 30-60 i 60-90 cm niż w warstwie wierzchniej 0-30 cm (tab. 6).

6) Współczynnik przewodnictwa wodnego zmniejsza się wraz ze wzrostem ciśnienia ssącego gleb. W niskim zakresie ciśnienia ssącego

(0-50 hPa) spadek ten jest wyraźnie większy w glebach gruboziarnistych w porównaniu z drobnoziarnistymi.

7) Gleby gruboziarniste charakteryzują się, przy ciśnieniu ssącym odpowiadającym wodzie dostępnej dla roślin, najniższymi wartościami przewodnictwa wodnego, magazynowania wody oraz najwyższym przewodnictwem wodnym w strefie nasyczonej. Czynniki te określają w kategoriach ilościowych potencjalnie niskie możliwości zaopatrzenia roślin w wodę, a tym samym wartość rolniczą tych gleb.

8) Podsiąg kapilarny z wody gruntowej, obliczony na podstawie przewodnictwa wodnego, w funkcji ciśnienia ssącego przyjmuje największe wartości w glebach o składzie granulometrycznym gliny lekkiej, piasku gliniastego mocnego i gliny średniej (przy ciśnieniach ssących odpowiadających wodzie dostępnej roślinom). Przy wartościach ciśnienia ssącego do 70 hPa jest największy w glebach o składzie granulometrycznym piasków: luźnego, słabogliniastego i gliniastego lekkiego.

9) Zależności między badanymi cechami glebowymi, wyrażone równaniami regresji i wskaźnikami korelacji, pozwalają na ocenę wielkości współczynnika przewodnictwa wodnego oraz podsiąku kapilarnego na podstawie niektórych właściwości gleb.

Tabela 1. Wykaz badanych gleb

Nr profilu	Miejscowość	Województwo	Typ gleby	Kompleks przydatności rolniczej
Gleby wytworzone z piasków luźnych i słabogliniastych				
1	Jawidz	lubelskie	płowa	7
2	Rogóżno	"	"	7
3	Wólka Wytycka	chełmskie	"	7
4	Jabłoń	bielskopodlaskie	czarna ziemia	9
5	Spiczyn	lubelskie	płowa	6
6	Łucka	"	"	6
7	Hanna	bielskopodlaskie	"	6
8	Annopol	siedleckie	"	6
Gleby wytworzone z piasków gliniastych				
9	Horodyszcz	chełmskie	czarna ziemia	9
10	Annopol	siedleckie	"	8
11	Dołhobrody	bielskopodlaskie	płowa	5
12	Curyń	"	"	5
13	Dawidy	"	czarna ziemia	8
14	Wytyczno	chełmskie	płowa	2
15	Pawłuki	bielskopodlaskie	"	4
16	Rogóżno	lubelskie	"	4
17	Urszulin	chełmskie	"	4
Gleby wytworzone z glin				
18	Sojówka	bielskopodlaskie	płowa	4
19	Michałów	chełmskie	"	4
20	Annopol	siedleckie	"	2
21	Wereszczyn	chełmskie	rędzina	3
22	Rudnik	zamojskie	brunatna	2
23	Trzcianka	siedleckie	płowa	2
24	Machnów	zamojskie	rędzina	3
25	Rudnik	"	brunatna	2
Gleby wytworzone z pyłów i lessów				
26	Dawidy	bielskopodlaskie	płowa	2
27	Tarnawatka	zamojskie	"	1
28	Rudnik	"	"	2
29	Rzeczycza	"	czarnoziem	1
30	Dzieskanów	"	"	1
31	Rogóżno	lubelskie	płowa	2

Tabela 2. Skład granulometryczny oraz niektóre właściwości fizyczne i fizykochemiczne w poszczególnych warstwach badanych gleb

Nr pro- filu	% zawartości frakcji granulometrycznych < 1 mm				Po- wierz- chnia wła- ściwa (m ² /g)	Wska- znik uziat- nienia	Za- war- tość agre- gatów > 1mm (%)	Wodo- odpor- ność agre- gatów > 1mm (%)	% zawartości porów o średnicy równo- ważnej w µm			Ges- tość (kg/m ³ · 10 ⁻³)	Próchni- ca (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	pH w KCl	Za- war- tość CaCO ₃ (%)	
	1-0,1 0,1-0,02 <0,02 <0,002								> 30	> 10	< 3						
	1	2	3	4													5
0-30 cm																	
1	89	6	5	3	16,2	0,91	10,9	.	25,1	36,0	6,2	1,46	0,95	0,46	5,2	0,10	
2	87	7	6	5	16,0	0,85	9,9	.	31,2	34,4	5,0	1,51	1,07	0,32	4,9	0,08	
3	84	9	7	2	21,3	0,79	19,9	.	19,0	25,9	11,0	1,48	1,21	0,60	4,4	0,11	
4	86	6	8	2	36,4	0,81	45,9	.	17,3	25,3	11,0	1,37	2,32	0,64	5,5	0,13	
5	85	7	8	2	17,1	1,19	9,0	.	20,0	27,1	6,5	1,48	1,19	0,46	4,8	0,10	
6	72	20	8	2	21,0	0,66	25,2	.	12,5	20,0	11,0	1,52	1,03	0,44	5,7	0,08	
7	78	13	9	2	18,5	0,64	16,9	.	11,4	20,7	13,0	1,50	0,90	0,36	4,5	0,06	
8	67	25	8	3	31,7	0,57	48,8	.	8,7	20,7	12,5	1,44	1,71	0,52	4,4	0,10	
9	78	9	13	3	34,2	0,63	42,6	.	20,3	27,6	10,1	1,39	2,02	0,59	5,8	0,08	
10	64	21	15	4	39,0	0,51	74,0	.	6,9	16,3	15,5	1,42	2,03	0,64	5,9	0,06	
11	59	28	13	5	29,2	0,52	55,0	.	15,5	26,0	16,5	1,54	1,48	0,62	4,8	0,11	
12	68	16	16	4	29,2	0,46	40,1	.	16,6	29,3	17,0	1,43	1,85	0,44	6,6	0,12	
13	66	18	16	0	63,4	0,63	77,0	.	8,0	15,4	21,0	1,39	3,30	0,92	6,3	0,08	
14	57	24	19	5	19,0	0,42	59,8	.	7,9	14,7	16,0	1,58	0,86	0,52	6,5	0,02	
15	57	23	20	4	33,0	0,52	51,2	.	12,8	27,0	8,0	1,55	1,78	0,68	4,4	0,00	
16	47	37	16	3	30,3	0,55	63,4	.	11,1	21,0	17,0	1,43	1,68	0,58	4,8	0,11	
17	54	26	20	5	37,2	0,46	55,0	.	7,2	19,8	17,0	1,42	1,62	0,56	4,8	0,00	
18	60	19	21	6	41,1	0,39	48,8	34,1	7,0	18,8	15,0	1,41	2,32	0,75	4,9	0,08	
19	63	15	22	7	26,8	0,43	56,9	33,4	15,5	17,8	14,0	1,49	1,33	0,52	5,7	0,00	
20	44	34	22	8	45,4	0,52	67,7	27,2	5,1	15,8	17,0	1,35	2,43	0,64	5,2	0,10	

c.d. tabeli 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
21	41	12	47	30	178,6	0,21	85,8	31,0	11,0	25,0	22,5	1,13	4,19	2,20	6,7	0,25
22	11	40	49	23	165,3	0,37	84,7	22,4	7,0	14,0	32,0	1,21	2,30	2,44	4,5	0,15
23	29	19	52	18	112,8	0,62	86,2	39,8	4,3	10,1	19,3	1,57	2,20	1,28	5,5	0,17
24	18	19	63	27	219,7	0,25	88,3	27,1	11,7	17,5	27,5	1,13	3,99	2,60	6,8	24,00
25	9	27	64	4	58,7	0,94	80,4	35,7	11,1	19,1	19,3	1,31	1,88	1,40	4,4	0,08
26	27	41	32	6	89,6	0,94	67,5	7,7	11,6	16,1	23,0	1,34	1,70	0,64	5,3	0,00
27	4	56	40	5	53,9	0,76	78,8	19,8	9,9	19,6	20,4	1,22	2,11	1,04	4,8	0,13
28	7	52	41	16	56,9	0,51	75,6	8,7	7,1	15,1	20,0	1,33	1,50	1,28	4,3	0,06
29	5	51	44	13	94,2	0,58	68,9	20,2	11,9	22,6	22,0	1,28	3,36	1,68	5,8	0,10
30	6	50	44	14	87,7	0,66	83,0	27,0	10,9	21,7	21,0	1,30	3,06	1,96	7,2	2,15
31	3	53	44	8	50,8	0,64	75,5	11,0	7,2	13,4	32,5	1,33	2,11	1,12	4,7	0,00
30-60 cm																
3	86	10	4	2	17,9	0,84	7,7	*	21,2	28,2	6,0	1,67	0,57	0,52	4,3	0,08
2	92	3	5	5	8,9	1,10	8,4	*	34,6	37,1	2,5	1,58	0,16	0,36	5,7	0,06
4	90	5	5	1	13,7	0,99	45,4	*	12,0	19,0	9,0	1,65	0,19	0,24	6,4	0,08
5	87	8	5	1	9,8	0,86	8,0	*	21,5	28,3	6,1	1,56	0,53	0,39	4,6	0,06
1	90	3	7	2	14,1	0,95	9,0	*	19,4	35,9	6,1	1,58	0,32	0,72	5,3	0,04
6	72	20	8	2	17,6	0,63	34,9	*	8,4	15,4	9,0	1,65	0,23	0,52	4,0	0,08
8	71	21	8	3	14,6	0,60	34,2	*	11,1	21,1	8,0	1,51	0,34	0,48	4,4	0,06
31	87	7	6	2	15,6	0,86	21,7	*	18,3	25,3	7,0	1,67	0,10	0,56	5,1	0,00
9	80	8	12	3	10,2	0,66	42,9	*	16,3	26,0	8,3	1,58	0,24	0,27	5,4	0,04
17	66	22	12	3	16,5	0,53	46,0	*	10,4	16,8	11,5	1,69	0,20	0,64	5,4	0,00
12	76	11	13	3	15,1	0,59	41,3	*	13,0	12,0	17,5	1,66	0,93	0,40	6,7	0,04
16	32	55	13	3	41,8	0,55	73,7	*	9,8	16,5	16,0	1,60	0,29	0,72	4,9	0,08
13	68	18	14	5	57,8	0,46	80,4	*	10,7	12,4	14,5	1,65	2,75	0,72	6,5	0,10
11	61	28	11	3	19,8	0,57	51,0	*	13,3	24,8	12,8	1,63	0,25	0,57	4,9	0,06

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20	46	39	15	5	18,4	0,56	54,4	.	9,1	17,8	12,0	1,42	1,08	0,88	4,3	0,21
7	67	15	18	8	18,0	0,45	21,4	.	12,1	19,0	14,0	1,55	0,45	0,60	5,4	0,04
10	60	24	16	6	25,7	0,45	63,6	.	7,2	14,1	12,5	1,67	0,99	0,60	5,3	0,08
19	65	18	17	5	21,8	0,51	52,3	.	8,2	11,8	6,0	1,80	0,20	0,48	6,3	0,00
14	56	22	22	4	13,2	0,41	62,7	4,1	7,5	14,4	13,5	1,66	0,27	0,56	6,4	0,00
18	56	22	22	7	33,4	0,42	48,9	6,0	13,2	20,3	14,6	1,57	0,93	0,68	4,8	0,00
15	52	25	23	7	31,3	0,41	52,2	7,1	9,1	25,8	11,0	1,65	1,44	0,72	4,4	0,00
26	40	34	26	7	29,2	0,46	62,3	8,7	13,6	19,6	17,0	1,55	0,84	0,60	4,9	0,00
21	38	13	49	27	157,4	0,22	80,6	25,0	11,5	24,0	15,0	1,31	3,92	1,92	7,0	0,16
25	12	42	46	15	96,8	0,42	76,5	7,7	8,7	16,1	15,4	1,52	0,42	2,36	4,5	0,06
23	27	21	52	19	100,7	0,28	84,2	37,2	2,0	6,7	20,3	1,69	0,90	1,48	5,7	0,14
22	15	22	63	11	170,9	0,58	84,1	7,5	2,7	6,7	50,0	0,99	0,59	4,40	3,8	0,13
24	17	21	62	29	215,0	0,18	78,9	35,1	13,1	21,1	26,5	1,18	2,87	2,44	6,9	33,70
27	4	61	35	6	39,8	0,75	77,7	5,5	7,9	20,5	17,1	1,26	0,84	0,96	4,9	0,10
28	8	51	41	13	85,7	0,52	85,6	9,9	8,2	16,5	16,0	1,45	0,38	2,28	4,8	0,06
29	4	52	44	11	102,8	0,63	72,1	15,7	9,6	22,2	19,5	1,32	2,98	1,84	6,3	0,15
30	6	49	45	13	86,3	0,58	79,0	32,7	10,4	22,9	19,0	1,33	2,76	1,80	7,2	8,60
60-90 cm																
2	96	2	2	0	6,6	1,36	1,0	.	34,8	36,7	2,0	1,56	0,12	0,28	5,8	0,08
3	95	2	3	1	6,8	1,28	1,0	.	24,8	29,8	4,0	1,65	0,10	0,52	4,7	0,08
4	89	7	4	1	3,6	0,93	41,8	.	12,1	17,6	8,6	1,66	0,10	0,18	6,6	0,10
5	94	2	4	1	7,2	1,19	4,0	.	22,0	27,8	5,2	1,61	0,14	0,33	4,7	0,06
12	89	7	4	1	3,8	0,92	41,7	.	15,2	25,0	4,5	1,63	0,02	0,36	6,9	0,04
1	88	6	6	4	10,9	0,89	7,4	.	17,8	30,4	4,2	1,61	0,08	0,68	5,4	0,00

c.d. tabeli 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6	70	23	7	3	8,1	0,60	14,8	*	15,4	20,7	6,0	1,68	0,08	0,64	6,0	0,06
10	80	14	6	3	12,8	0,69	37,6	*	15,2	20,6	5,0	1,74	0,45	0,40	5,1	0,10
8	73	21	6	3	9,0	0,65	22,5	*	9,6	23,6	8,0	1,59	0,13	0,40	4,5	0,08
9	83	8	9	2	4,8	0,72	36,0	*	16,9	25,1	6,3	1,60	0,11	0,16	6,2	0,08
7	77	13	10	3	10,8	0,62	8,3	*	20,6	25,0	4,0	1,60	0,10	0,44	6,1	0,08
13	83	5	12	2	9,9	0,74	67,9	*	15,1	19,9	4,8	1,81	0,38	0,12	6,0	0,08
11	62	27	11	3	17,8	0,53	50,7	*	14,7	22,7	11,8	1,65	0,05	0,84	5,0	0,06
26	60	22	18	12	22,6	0,19	60,3	*	14,6	20,9	14,0	1,50	0,20	1,64	5,6	0,02
19	50	34	16	12	58,9	0,51	42,9	*	9,6	12,7	10,0	1,71	0,20	1,08	5,8	0,02
15	57	26	17	7	19,9	0,48	48,3	*	10,3	16,1	14,0	1,60	0,55	0,64	5,6	0,02
17	49	33	18	6	30,2	0,72	46,1	*	7,9	12,4	14,0	1,64	0,04	0,88	4,6	0,00
14	60	19	21	5	13,2	0,40	67,8	2,7	7,5	14,5	10,0	1,67	0,10	0,56	6,7	0,02
18	55	24	21	7	14,9	0,42	43,0	2,2	10,5	20,6	12,2	1,59	0,29	0,38	5,0	0,00
20	43	39	21	8	33,4	0,45	48,8	9,4	7,6	14,7	8,0	1,78	0,04	0,72	4,3	0,10
31	38	41	21	4	32,2	0,58	34,8	0,6	19,0	20,9	9,0	1,75	0,02	1,04	5,6	0,00
28	16	38	46	28	155,9	0,28	90,4	0,8	7,5	13,0	26,0	1,37	0,21	3,20	4,3	0,08
25	15	30	55	29	101,2	0,23	67,9	*	5,7	11,7	26,0	1,48	0,23	2,84	4,1	0,10
24	13	29	58	31	212,0	0,23	83,0	69,6	14,0	17,7	30,5	1,22	1,06	1,36	7,3	68,00
16	37	42	21	4	18,7	0,52	22,5	0,8	10,7	16,7	13,0	1,69	0,20	1,44	4,9	0,10
27	7	63	30	6	40,7	0,78	79,4	1,2	8,2	19,6	14,9	1,36	0,46	1,36	4,4	0,10
29	4	52	44	12	96,4	0,60	68,4	2,2	12,7	24,1	18,0	1,29	1,90	2,00	6,6	0,13
30	11	43	46	14	78,2	0,44	75,0	47,2	13,7	25,1	17,5	1,34	1,23	1,84	7,3	13,20

Tabela 3. Wartości graniczne właściwości fizycznych i chemicznych w poszczególnych warstwach i grupach badanych gleb

Grupa badanych gleb	War- tości	Frakcje granulometryczne (%)					Po- wierz- chnia wła- ściwa (m ² /g)	Wska- znik uziar- nienia	Zawar- tość aggre- gatów >1mm (%)	% zawartość po- rów o ekwi- valentnej średnicy (w µm)				Ge- stość (kg/m ³ · 10 ⁻³)	Próchni- czość (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	pH w KCL	Za- war- tość CaCO ₃ (%)
		10-1 mm	0,1-0,02 mm	<0,02 mm						>30	>10	<3						
		mm	mm	mm														
		mm	mm	mm														
0-30 cm																		
Wszystkie	max	89	56	64	219,7	0,942	88,3	31,2	36,0	32,5	1,58	4,19	2,60	7,2	24,00			
	min	3	5	4	16,2	0,214	9,0	4,3	10,1	5,0	1,13	0,86	0,32	4,3	0,00			
Zawierające <20% cząstek spławialnych	max	89	37	20	63,4	0,910	77,0	31,2	36,0	21,0	1,58	3,30	0,92	6,6	0,13			
	min	47	5	5	16,2	0,391	9,0	6,9	14,7	4,0	1,37	0,86	0,32	4,4	0,00			
Zawierające >20% cząstek spławialnych	max	63	56	64	219,7	0,941	88,3	15,5	25,0	32,5	1,57	4,19	2,60	7,2	24,00			
	min	3	12	21	26,8	0,214	48,8	4,3	10,1	14,0	1,13	1,33	0,52	4,3	0,00			
30-60 cm																		
Wszystkie	max	92	61	66	215,0	1,071	85,6	34,6	37,1	50,0	1,80	3,92	4,40	7,2	33,70			
	min	4	3	4	8,9	0,176	7,7	2,0	6,7	2,5	9,99	0,10	0,24	3,8	0,00			
Zawierające <20% cząstek spławialnych	max	92	55	18	57,8	1,071	80,4	34,6	37,1	17,5	1,80	2,75	0,88	6,7	0,21			
	min	32	3	4	8,9	0,446	7,7	7,2	11,8	2,5	1,42	0,10	0,24	4,0	0,00			
Zawierające >20% cząstek spławialnych	max	56	61	66	215,0	0,769	85,6	13,6	25,8	50,0	1,69	3,92	4,40	7,2	33,70			
	min	4	13	22	13,2	0,176	48,9	2,0	6,7	11,0	0,99	0,27	0,60	3,8	0,00			
60-90 cm																		
Wszystkie	max	96	63	58	212,0	1,357	90,4	34,8	36,7	30,5	1,81	1,90	3,20	7,3	68,00			
	min	4	2	2	3,6	0,186	1,0	5,7	11,7	2,0	1,22	0,02	0,12	4,1	0,00			
Zawierające <20% cząstek spławialnych	max	96	39	21	58,9	1,357	67,9	34,8	36,7	14,0	1,81	0,55	1,64	6,9	0,10			
	min	38	2	2	3,6	0,186	1,0	7,9	12,4	2,0	1,50	0,02	0,12	4,5	0,00			
Zawierające >20% cząstek spławialnych	max	60	63	58	212,0	0,781	90,4	14,4	25,1	30,5	1,78	1,90	3,20	7,3	68,00			
	min	4	19	21	13,2	0,226	22,5	5,7	11,7	8,0	1,22	0,04	0,38	4,1	0,00			

c.d. tabeli 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	slp	180,0·10 ⁰	5,5·10 ⁰	6,5·10 ⁻¹	4,4·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻¹	1,6·10 ⁻²	4,2·10 ⁻³	2,2·10 ⁻⁴	2,5·10 ⁻⁵	
21	ge	44,0·10 ⁰	3,9·10 ⁰	1,7·10 ⁰	8,0·10 ⁻¹	5,6·10 ⁻²	4,2·10 ⁻³	1,1·10 ⁻³	9,5·10 ⁻⁵	7,0·10 ⁻⁶	
22	gsp	142,0·10 ⁰	7,0·10 ⁻¹	4,8·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻¹	6,6·10 ⁻²	9,5·10 ⁻³	2,6·10 ⁻³	2,3·10 ⁻⁴	4,2·10 ⁻⁵	
23	gc	85,4·10 ⁰	3,1·10 ⁰	1,4·10 ⁰	6,0·10 ⁻¹	5,8·10 ⁻²	4,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻⁴	7,0·10 ⁻⁶	
24	gs	37,5·10 ⁰	4,8·10 ⁰	5,1·10 ⁻¹	1,7·10 ⁻¹	3,7·10 ⁻²	5,6·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³	8,0·10 ⁻⁵	7,5·10 ⁻⁶	
25	gsp	41,0·10 ⁰	9,4·10 ⁻¹	5,0·10 ⁻¹	2,5·10 ⁻¹	6,2·10 ⁻²	5,6·10 ⁻³	1,6·10 ⁻³	9,5·10 ⁻⁵	1,0·10 ⁻⁵	
26	piz	55,1·10 ⁰	3,7·10 ⁰	2,5·10 ⁰	7,2·10 ⁻¹	1,5·10 ⁻¹	9,2·10 ⁻²	7,9·10 ⁻⁴	2,8·10 ⁻⁴	7,5·10 ⁻⁵	
27	phi	103,2·10 ⁰	7,7·10 ⁰	1,1·10 ⁰	3,8·10 ⁻¹	1,6·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻²	3,0·10 ⁻³	2,6·10 ⁻⁴	3,2·10 ⁻⁵	
28	phi	33,6·10 ⁰	5,5·10 ⁻¹	3,3·10 ⁻¹	2,4·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻¹	1,6·10 ⁻²	4,1·10 ⁻³	2,6·10 ⁻⁴	2,5·10 ⁻⁵	
29	phi	122,0·10 ⁰	2,9·10 ⁰	4,1·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻¹	2,3·10 ⁻²	2,5·10 ⁻³	2,5·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻⁵	6,4·10 ⁻⁶	
30	phi	140,4·10 ⁰	2,8·10 ⁰	4,9·10 ⁻¹	2,9·10 ⁻¹	6,5·10 ⁻²	5,9·10 ⁻³	4,9·10 ⁻⁴	1,1·10 ⁻⁴	4,5·10 ⁻⁵	
31	phi	54,4·10 ⁰	1,9·10 ⁰	7,8·10 ⁻¹	4,4·10 ⁻¹	1,5·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻²	3,5·10 ⁻³	8,5·10 ⁻⁴	2,8·10 ⁻⁴	
30-60 cm											
3	pl	351,0·10 ⁰	36,0·10 ⁰	3,2·10 ⁰	1,6·10 ⁻¹	4,0·10 ⁻³	5,6·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁵	2,3·10 ⁻⁶	
2	pl	436,6·10 ⁰	38,1·10 ⁰	1,0·10 ⁰	5,0·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻³	9,0·10 ⁻⁵	2,0·10 ⁻⁵	2,6·10 ⁻⁶	5,4·10 ⁻⁷	
4	pl	189,1·10 ⁰	26,6·10 ⁰	8,0·10 ⁻¹	3,2·10 ⁻¹	6,2·10 ⁻²	8,2·10 ⁻³	2,1·10 ⁻³	4,0·10 ⁻⁵	6,6·10 ⁻⁶	
5	pl	301,0·10 ⁰	32,0·10 ⁰	1,1·10 ⁰	4,0·10 ⁻²	1,8·10 ⁻³	7,5·10 ⁻⁵	1,3·10 ⁻⁵	1,6·10 ⁻⁶	3,2·10 ⁻⁷	
1	ps	390,0·10 ⁰	14,0·10 ⁰	3,4·10 ⁰	9,2·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻¹	3,5·10 ⁻³	6,0·10 ⁻⁴	4,6·10 ⁻⁵	6,4·10 ⁻⁶	
6	ps	102,0·10 ⁰	19,1·10 ⁰	2,2·10 ⁻¹	5,2·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻¹	2,0·10 ⁻²	5,7·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁴	2,7·10 ⁻⁵	
8	ps	172,1·10 ⁰	7,3·10 ⁰	2,7·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻²	3,4·10 ⁻³	4,5·10 ⁻⁴	1,1·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻⁶	5,8·10 ⁻⁷	
31	ps	320,2·10 ⁰	39,0·10 ⁰	1,1·10 ⁰	2,7·10 ⁻¹	8,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	2,6·10 ⁻⁴	3,2·10 ⁻⁵	9,0·10 ⁻⁶	
9	pgl	176,1·10 ⁰	18,1·10 ⁰	1,4·10 ⁰	2,5·10 ⁻¹	2,6·10 ⁻²	3,5·10 ⁻³	1,2·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻⁶	
17	pgl	90,0·10 ⁰	14,1·10 ⁰	2,3·10 ⁰	3,4·10 ⁻¹	4,0·10 ⁻²	7,0·10 ⁻³	2,3·10 ⁻³	8,0·10 ⁻⁵	6,0·10 ⁻⁶	
12	pgl	140,0·10 ⁰	18,1·10 ⁰	5,9·10 ⁰	2,1·10 ⁻²	1,6·10 ⁻³	3,4·10 ⁻⁴	5,0·10 ⁻⁵	4,5·10 ⁻⁶	7,5·10 ⁻⁷	
16	pgl	24,5·10 ⁰	3,3·10 ⁰	1,3·10 ⁰	5,3·10 ⁻¹	1,5·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻²	4,4·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁴	5,0·10 ⁻⁵	

c.d. tabeli 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	pgl	117,2·10°	8,0·10°	1,3·10°	7,7·10 ⁻¹	2,0·10 ⁻¹	2,3·10 ⁻²	6,0·10 ⁻³	3,8·10 ⁻⁴	6,7·10 ⁻⁵	
11	pelp	99,7·10°	14,1·10°	2,5·10°	4,0·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻²	1,4·10 ⁻³	3,4·10 ⁻⁴	3,0·10 ⁻⁵	4,5·10 ⁻⁶	
20	pelp	74,9·10°	3,8·10°	6,5·10 ⁻¹	2,7·10 ⁻¹	9,0·10 ⁻²	9,0·10 ⁻³	3,0·10 ⁻³	1,3·10 ⁻⁴	7,2·10 ⁻⁵	
7	pgm	162,0·10°	17,1·10°	4,7·10°	6,4·10 ⁻¹	1,5·10 ⁻¹	2,3·10 ⁻²	4,5·10 ⁻³	3,5·10 ⁻⁴	3,4·10 ⁻⁵	
10	pgm	62,3·10°	6,8·10°	2,5·10°	1,0·10°	2,5·10 ⁻¹	2,6·10 ⁻²	8,0·10 ⁻³	4,2·10 ⁻⁴	4,4·10 ⁻⁵	
19	pgm	72,1·10°	9,2·10°	8,0·10 ⁻¹	2,1·10 ⁻¹	8,0·10 ⁻²	1,2·10 ⁻²	3,2·10 ⁻³	1,3·10 ⁻⁴	5,4·10 ⁻⁶	
14	gl	80,6·10°	6,2·10°	3,6·10°	3,4·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻²	1,7·10 ⁻²	4,2·10 ⁻³	2,4·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻⁶	
18	gl	79,9·10°	8,2·10°	1,1·10°	4,0·10 ⁻¹	6,0·10 ⁻²	8,7·10 ⁻³	2,0·10 ⁻³	1,1·10 ⁻⁴	7,0·10 ⁻⁶	
15	glp	71,1·10°	8,7·10°	2,4·10°	2,2·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻²	9,0·10 ⁻³	2,2·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁵	3,6·10 ⁻⁶	
26	glp	79,8·10°	2,4·10°	2,1·10°	1,0·10°	2,7·10 ⁻¹	3,5·10 ⁻²	1,0·10 ⁻²	7,0·10 ⁻⁴	4,2·10 ⁻⁵	
21	gc	41,0·10°	2,2·10°	1,1·10°	2,2·10 ⁻¹	3,0·10 ⁻³	9,0·10 ⁻⁴	3,0·10 ⁻⁴	4,0·10 ⁻⁵	7,5·10 ⁻⁶	
25	ssp	60,0·10°	9,0·10 ⁻¹	8,0·10 ⁻¹	7,4·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻¹	3,1·10 ⁻²	7,5·10 ⁻³	4,0·10 ⁻⁴	5,0·10 ⁻⁵	
23	gc	76,3·10°	3,5·10°	1,3·10°	1,9·10 ⁻¹	7,0·10 ⁻²	3,6·10 ⁻³	1,8·10 ⁻³	1,1·10 ⁻⁴	9,0·10 ⁻⁶	
22	gc	85,8·10°	5,0·10 ⁻¹	3,5·10 ⁻¹	2,7·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻¹	2,1·10 ⁻²	7,0·10 ⁻³	5,0·10 ⁻⁴	2,1·10 ⁻⁴	
24	gc	22,5·10°	1,3·10°	2,5·10 ⁻¹	1,2·10 ⁻¹	2,10 ⁻²	3,4·10 ⁻³	9,0·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻⁵	7,5·10 ⁻⁶	
27	piz	86,7·10°	5,5·10°	9,0·10 ⁻¹	5,8·10 ⁻¹	1,7·10 ⁻¹	8,5·10 ⁻²	2,2·10 ⁻³	1,2·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁵	
28	ph	33,0·10°	2,2·10°	9,5·10 ⁻¹	5,4·10 ⁻¹	1,9·10 ⁻¹	2,5·10 ⁻²	4,4·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁴	2,1·10 ⁻⁵	
29	ph	85,2·10°	5,4·10°	4,5·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻¹	2,2·10 ⁻²	1,8·10 ⁻³	4,8·10 ⁻⁴	2,7·10 ⁻⁵	3,2·10 ⁻⁶	
30	ph	90,7·10°	3,8·10°	1,6·10°	7,0·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻²	2,7·10 ⁻³	2,3·10 ⁻⁵	1,0·10 ⁻⁵	
60-90 cm											
2	pl	510,1·10°	34,0·10°	8,0·10 ⁻¹	7,5·10 ⁻³	2,6·10 ⁻⁴	2,2·10 ⁻⁵	5,5·10 ⁻⁶	8,0·10 ⁻⁷	1,8·10 ⁻⁷	
3	pl	461,1·10°	18,1·10°	5,7·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻²	1,0·10 ⁻³	1,5·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻⁵	2,4·10 ⁻⁶	4,0·10 ⁻⁷	
4	pl	183,1·10°	24,0·10°	9,8·10 ⁻¹	5,8·10 ⁻¹	1,2·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻²	2,7·10 ⁻³	2,7·10 ⁻⁴	1,8·10 ⁻⁵	
5	pl	389,1·10°	40,1·10°	9,7·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻¹	8,0·10 ⁻³	3,4·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻⁵	6,2·10 ⁻⁶	1,2·10 ⁻⁶	

c.d. tabeli 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	pl	278,2·10 ⁰	24,1·10 ⁰	2,9·10 ⁰	2,0·10 ⁻¹	3,8·10 ⁻³	7,0·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁴	7,5·10 ⁻⁶	1,4·10 ⁻⁶	
1	ps	475,1·10 ⁰	12,0·10 ⁰	2,7·10 ⁰	7,5·10 ⁻¹	8,0·10 ⁻²	2,1·10 ⁻³	2,3·10 ⁻⁴	3,5·10 ⁻⁵	5,5·10 ⁻⁶	
6	ps	282,3·10 ⁰	36,2·10 ⁰	1,9·10 ⁰	3,2·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻¹	2,3·10 ⁻²	5,7·10 ⁻³	2,4·10 ⁻⁴	2,5·10 ⁻⁵	
10	ps	174,5·10 ⁰	17,2·10 ⁰	2,5·10 ⁰	1,0·10 ⁰	1,1·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻²	2,1·10 ⁻³	9,5·10 ⁻⁵	1,1·10 ⁻⁵	
8	ps	161,2·10 ⁰	3,5·10 ⁰	1,9·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻¹	2,8·10 ⁻²	3,6·10 ⁻³	7,5·10 ⁻⁴	1,0·10 ⁻⁵	1,1·10 ⁻⁶	
9	ps	170,1·10 ⁰	18,2·10 ⁰	1,2·10 ⁰	1,2·10 ⁻¹	7,0·10 ⁻³	2,5·10 ⁻³	6,0·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁵	6,5·10 ⁻⁷	
7	ps	264,1·10 ⁰	19,1·10 ⁰	2,7·10 ⁰	8,0·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻¹	1,9·10 ⁻²	2,2·10 ⁻³	1,5·10 ⁻⁴	2,1·10 ⁻⁵	
13	pgl	262,2·10 ⁰	18,8·10 ⁰	1,8·10 ⁰	3,2·10 ⁻¹	6,4·10 ⁻²	8,0·10 ⁻³	2,1·10 ⁻³	2,2·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻⁵	
11	pgl	85,2·10 ⁰	12,1·10 ⁰	1,1·10 ⁰	4,0·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻²	1,4·10 ⁻³	3,4·10 ⁻⁴	3,0·10 ⁻⁵	4,5·10 ⁻⁶	
26	pgm	90,3·10 ⁰	4,9·10 ⁰	8,5·10 ⁻¹	4,8·10 ⁻¹	2,2·10 ⁻¹	4,6·10 ⁻¹	5,2·10 ⁻³	8,5·10 ⁻⁴	1,7·10 ⁻⁶	
19	pgmp	55,1·10 ⁰	6,3·10 ⁰	8,5·10 ⁻¹	5,1·10 ⁻¹	1,6·10 ⁻¹	1,9·10 ⁻²	4,6·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁴	3,5·10 ⁻⁵	
15	pgmp	60,8·10 ⁰	7,2·10 ⁰	2,7·10 ⁰	1,8·10 ⁻¹	2,2·10 ⁻²	9,0·10 ⁻³	2,5·10 ⁻³	1,0·10 ⁻⁵	1,5·10 ⁻⁶	
17	pgmp	65,0·10 ⁰	5,1·10 ⁰	8,5·10 ⁻¹	5,2·10 ⁻¹	5,6·10 ⁻²	9,5·10 ⁻³	4,2·10 ⁻³	1,5·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁵	
14	gl	90,7·10 ⁰	4,2·10 ⁰	2,3·10 ⁰	3,8·10 ⁻¹	6,2·10 ⁻²	7,2·10 ⁻³	1,5·10 ⁻³	5,0·10 ⁻⁵	3,0·10 ⁻⁶	
18	gl	72,9·10 ⁰	6,9·10 ⁰	9,0·10 ⁻¹	3,1·10 ⁻¹	8,5·10 ⁻³	2,5·10 ⁻³	7,0·10 ⁻⁴	6,4·10 ⁻⁵	8,2·10 ⁻⁶	
20	glp	60,3·10 ⁰	6,6·10 ⁰	3,8·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻²	1,0·10 ⁻³	2,8·10 ⁻⁴	2,5·10 ⁻⁵	2,8·10 ⁻⁶	
31	glp	52,1·10 ⁰	25,0·10 ⁰	4,5·10 ⁰	1,2·10 ⁰	4,0·10 ⁻¹	9,0·10 ⁻²	3,2·10 ⁻²	5,0·10 ⁻³	9,5·10 ⁻⁴	
28	gsp	38,0·10 ⁰	1,9·10 ⁰	6,2·10 ⁻¹	4,2·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻¹	1,6·10 ⁻²	4,2·10 ⁻³	3,8·10 ⁻⁴	9,2·10 ⁻⁵	
25	gcp	41,8·10 ⁰	2,3·10 ⁰	5,4·10 ⁻¹	4,2·10 ⁻¹	1,5·10 ⁻¹	2,3·10 ⁻²	5,2·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁴	7,5·10 ⁻⁶	
24	gcp	31,0·10 ⁰	1,3·10 ⁰	6,6·10 ⁻¹	3,3·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻¹	1,8·10 ⁻²	5,2·10 ⁻³	3,6·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻⁵	
16	plz	181,1·10 ⁰	26,2·10 ⁰	1,1·10 ⁰	3,5·10 ⁻¹	7,5·10 ⁻²	1,7·10 ⁻²	6,0·10 ⁻³	7,0·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁴	
27	plz	60,0·10 ⁰	2,2·10 ⁰	2,8·10 ⁻¹	1,5·10 ⁻¹	3,3·10 ⁻²	8,0·10 ⁻⁴	6,4·10 ⁻⁴	6,4·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻⁵	
29	phi	126,3·10 ⁰	2,0·10 ⁰	8,0·10 ⁻¹	2,2·10 ⁻¹	3,3·10 ⁻²	2,5·10 ⁻³	6,4·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁵	2,4·10 ⁻⁶	
30	phi	162,3·10 ⁰	8,9·10 ⁰	2,0·10 ⁰	8,0·10 ⁻¹	1,2·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻²	2,7·10 ⁻³	1,1·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁵	

Tabela 5. Wilgotność gleb (m^3/m^3) przy różnych ciśnieniach ssących

Nr pro- filu	Gatu- nek	Ciśnienie ssące (hPa)				
		0	100	500	2500	16000
1	2	3	4	5	6	7
0-30 cm						
1	pl	0,411	0,160	0,077	0,047	0,038
2	ps	0,419	0,107	0,062	0,040	0,035
3	ps	0,434	0,325	0,182	0,110	0,036
4	ps	0,465	0,299	0,172	0,110	0,094
5	ps	0,421	0,310	0,137	0,058	0,050
6	ps	0,375	0,250	0,149	0,053	0,012
7	ps	0,425	0,310	0,114	0,069	0,041
8	psp	0,437	0,350	0,191	0,053	0,037
9	pgl	0,425	0,222	0,122	0,063	0,041
10	pgl	0,423	0,354	0,223	0,076	0,054
11	pglp	0,432	0,277	0,168	0,072	0,059
12	pgm	0,445	0,275	0,150	0,062	0,057
13	pgm	0,454	0,374	0,250	0,108	0,093
14	pgm	0,460	0,349	0,215	0,107	0,074
15	pgm	0,460	0,332	0,168	0,075	0,069
16	pgmp	0,382	0,297	0,125	0,082	0,048
17	pgmp	0,448	0,376	0,194	0,116	0,072
18	gl	0,392	0,260	0,169	0,087	0,048
19	gl	0,428	0,273	0,182	0,089	0,057
20	glp	0,433	0,382	0,239	0,085	0,043
21	gs	0,525	0,415	0,250	0,185	0,128
22	gsp	0,530	0,460	0,362	0,257	0,198
23	gc	0,479	0,380	0,310	0,210	0,117
24	gc	0,535	0,483	0,363	0,270	0,260
25	gcp	0,486	0,393	0,241	0,112	0,062
26	ptz	0,461	0,345	0,293	0,190	0,123
27	pti	0,499	0,411	0,235	0,133	0,093
28	pti	0,476	0,405	0,274	0,115	0,061

1	2	3	4	5	6	7
29	phi	0,541	0,422	0,275	0,148	0,108
30	phi	0,531	0,421	0,272	0,142	0,106
31	phi	0,509	0,448	0,354	0,285	0,150
30-60 cm						
3	pl	0,362	0,150	0,078	0,038	0,024
2	pl	0,411	0,385	0,032	0,022	0,018
4	pl	0,326	0,206	0,125	0,048	0,026
5	pl	0,360	0,145	0,071	0,046	0,034
1	ps	0,396	0,202	0,070	0,033	0,024
6	ps	0,334	0,250	0,149	0,035	0,006
8	ps	0,416	0,205	0,119	0,032	0,011
31	ps	0,343	0,160	0,081	0,057	0,034
9	pgl	0,382	0,219	0,101	0,070	0,032
17	pgl	0,343	0,239	0,153	0,071	0,051
12	pgl	0,395	0,265	0,177	0,091	0,048
16	pgl	0,390	0,292	0,200	0,106	0,063
13	pgl	0,354	0,335	0,189	0,081	0,026
11	pglp	0,387	0,254	0,116	0,076	0,059
20	pglp	0,398	0,307	0,169	0,046	0,020
7	pgm	0,405	0,284	0,183	0,089	0,049
10	pgm	0,341	0,269	0,168	0,074	0,037
19	pgm	0,298	0,206	0,128	0,031	0,022
14	gl	0,329	0,254	0,177	0,091	0,061
18	gl	0,392	0,260	0,169	0,087	0,048
15	glp	0,398	0,269	0,133	0,081	0,049
26	glp	0,436	0,300	0,213	0,115	0,074
21	gs	0,445	0,330	0,232	0,119	0,078
25	gsp	0,415	0,344	0,236	0,112	0,066
23	gc	0,446	0,361	0,248	0,146	0,108
22	gc	0,629	0,600	0,532	0,450	0,369
24	gc	0,526	0,415	0,319	0,231	0,190
27	plz	0,436	0,300	0,213	0,115	0,074

1	2	3	4	5	6	7
28	plz	0,425	0,343	0,215	0,081	0,052
29	phi	0,492	0,396	0,242	0,140	0,105
30	phi	0,494	0,400	0,245	0,141	0,100

60-90 cm

2	pl	0,397	0,049	0,026	0,021	0,012
3	pl	0,358	0,140	0,075	0,034	0,022
4	pl	0,321	0,200	0,118	0,046	0,024
5	pl	0,350	0,124	0,062	0,041	0,310
12	pl	0,320	0,168	0,075	0,033	0,021
1	ps	0,350	0,172	0,053	0,027	0,023
6	ps	0,302	0,218	0,149	0,037	0,007
10	ps	0,286	0,134	0,069	0,021	0,018
8	ps	0,356	0,280	0,139	0,026	0,016
9	ps	0,339	0,170	0,081	0,042	0,024
7	ps	0,325	0,119	0,061	0,020	0,013
13	pgl	0,302	0,208	0,135	0,068	0,021
11	pgl	0,348	0,241	0,099	0,049	0,031
26	pgm	0,434	0,288	0,096	0,071	0,051
19	pgmp	0,302	0,206	0,133	0,057	0,032
15	pgmp	0,351	0,248	0,165	0,084	0,034
17	pgmp	0,339	0,266	0,177	0,091	0,061
14	gl	0,315	0,240	0,130	0,060	0,048
18	gl	0,355	0,250	0,139	0,068	0,038
20	glp	0,277	0,201	0,115	0,059	0,037
31	glp	0,329	0,139	0,068	0,043	0,032
28	gsp	0,460	0,395	0,304	0,238	0,160
25	gcp	0,472	0,415	0,318	0,191	0,180
24	gc	0,522	0,400	0,333	0,253	0,210
16	plz	0,347	0,240	0,161	0,092	0,031
27	plz	0,430	0,333	0,198	0,167	0,078
29	phi	0,506	0,379	0,231	0,126	0,097
30	phi	0,511	0,374	0,231	0,125	0,093

Tabela 6. Współczynniki korelacji pomiędzy przewodnictwem k (przy różnych ciśnieniach ssących) a niektórymi właściwościami badanych gleb

Grupa badanych gleb	Współ- czyn- nik k cm/dobę	% zawartość frakcji granulometrycznych		Po- wierz- chnia wła- ściwa	Wska- żnik uza- nienia	Za- war- tość agre- gatów > 1mm	% zawartość porów o średnicy równo- sżnej w µm.							Ge- stość	Próchni- ca	Fe ₂ O ₃	pH KCl			
		1-0,1mm					> 30													
		0,1-0,02mm	> 0,02mm				> 10													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15						
0-30 cm																				
Wszystkie Zawierające <20% cząstek spławialnych Zawierające >20% cząstek spławialnych	W strefie nasyconej	0,51 ^b	-0,40 ^b	-0,50 ^b	-0,34 ^a	0,49 ^b	-0,64 ^b	0,71 ^b	0,65 ^b	-57 ^b	ni	-0,32 ^a	-0,31 ^a	ni						
		0,62 ^b	-0,56 ^b	-0,64 ^b	-0,37 ^a	0,82 ^b	-0,62 ^b	0,78 ^b	0,67 ^b	-0,64 ^b	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		0,66 ^b	-0,55 ^b	-0,60 ^b	-0,42 ^b	0,39 ^b	-0,73 ^b	0,72 ^b	0,63 ^b	-0,65 ^b	0,36 ^b	-0,37 ^a	-0,45 ^b	ni						
Wszystkie Zawierające <20% cząstek spławialnych Zawierające >20% cząstek spławialnych	20 hPa	0,63 ^b	-56 ^b	-0,59 ^b	ni	0,65 ^b	-0,61 ^b	0,70 ^b	0,53 ^b	-0,58 ^b	ni	ni	ni	ni						
		0,54 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
Wszystkie Zawierające <20% cząstek spławialnych Zawierające >20% cząstek spławialnych	50 hPa	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
Wszystkie Zawierające <20% cząstek spławialnych Zawierające >20% cząstek spławialnych	200 hPa	ni	ni	ni	ni	ni	-0,32 ^b	-0,36 ^b	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	0,43 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						
		ni	0,55 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni						

c.d. tabeli 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Wszystkie	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,44 ^a	-0,47 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,45 ^a	0,46 ^a	-0,51 ^a	-0,64 ^a	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,60 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	-0,65 ^a
Wszystkie	-0,43 ^b	0,50 ^b	ni	ni	ni	ni	ni	0,35 ^a	-0,43 ^b	-0,53 ^a	0,52 ^a	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	-0,43 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	-0,45 ^a	ni	-0,42 ^a	-0,52 ^a	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0,55 ^a	ni	ni	ni	ni
Wszystkie	-0,43 ^b	0,50 ^b	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,36 ^b	0,54 ^b	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	-0,41 ^a	0,35 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,41 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0,58 ^a	ni	ni	ni	ni	ni
30-60 cm															
Wszystkie	0,70 ^b	-0,61 ^b	-0,55 ^b	-0,45 ^b	-0,84 ^b	0,83 ^b	0,72 ^b	-0,51 ^b	ni	-0,35 ^b	-0,39 ^b	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	0,82 ^b	-0,73 ^b	-0,64 ^b	-0,48 ^b	0,85 ^b	-0,85 ^b	0,89 ^b	0,76 ^b	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	-0,55	0,65	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Wszystkie	0,78 ^b	-0,63 ^b	-0,66 ^b	-0,54 ^b	0,74 ^b	-0,84 ^b	0,76 ^b	0,58 ^b	-0,58 ^b	0,43 ^b	-0,41 ^b	-0,53 ^a	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	0,78 ^b	-0,69 ^b	-0,63 ^b	-0,51 ^a	0,76 ^b	-0,74 ^b	0,76 ^b	0,64 ^b	-0,63 ^b	ni	ni	-0,54 ^b	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	0,53 ^a	ni	-0,76 ^b	-0,70 ^b	ni	-0,77 ^b	ni	ni	-0,55 ^b	0,51 ^a	ni	-0,73 ^b	ni	ni	ni
Wszystkie	0,38 ^b	ni	-0,36 ^a	-0,42 ^b	ni	-0,37 ^b	ni	ni	ni	0,42 ^b	ni	-0,39 ^b	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	0,68 ^b	ni	-0,72 ^b	-0,70 ^b	ni	-0,53 ^a	ni	ni	-0,52 ^a	0,69 ^a	ni	-0,66 ^b	ni	ni	ni

c.d. tabeli 6

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Wszystkie	-0,33 ^a	0,44 ^b	ni	ni	ni	ni	0,40 ^b	-0,39 ^a	-0,45 ^a	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	-0,48 ^a	ni	-0,52 ^a	-0,54 ^a	ni	ni	0,48 ^a	0,48 ^a	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,64 ^a	ni	ni
Wszystkie	-0,33 ^a	0,34 ^a	ni	ni	ni	-0,33 ^a	0,43 ^a	-0,47 ^b	-0,61 ^b	0,34 ^a	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	-0,54 ^a	ni ^a	ni	ni	0,61 ^b	-0,60 ^b	0,62 ^b	-0,63 ^b	-0,74 ^b	0,47 ^a	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,63 ^b	-0,57 ^b	ni
Wszystkie	-0,33 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	0,40 ^a	-0,42 ^b	-0,59 ^b	0,57 ^b	ni	ni	0,45 ^b	-0,33 ^a
Zawierające <20% cząstek spławialnych	-0,56 ^a	0,47 ^a	ni	ni	0,68 ^b	-0,62 ^b	0,56 ^a	-0,55 ^a	-0,66 ^b	0,52 ^a	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,56 ^b	0,55 ^b	ni	-0,55 ^b	ni	-0,60 ^b
Wszystkie	-0,31 ^a	ni	ni	0,37 ^a	0,41 ^b	ni	0,37 ^a	-0,38 ^b	-0,52 ^b	0,75 ^b	-0,47 ^a	ni	0,65 ^b	-0,30 ^a
Zawierające <20% cząstek spławialnych	-0,51 ^a	ni	ni	ni	0,87 ^b	-0,52 ^a	0,62 ^b	ni	-0,56 ^a	0,55 ^a	ni	0,61 ^b	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,48 ^a	-0,61 ^b	0,83 ^b	-0,54 ^a	ni	0,74 ^b	-0,54 ^a
Wszystkie	0,71 ^b	-0,69 ^b	-0,57 ^b	ni	-0,47 ^b	0,82 ^b	-0,75 ^b	0,79 ^b	0,82 ^b	-0,67 ^b	ni	ni	-0,47 ^a	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	0,83 ^b	-0,81 ^b	-0,72 ^b	-0,60 ^b	ni	0,81 ^b	-0,74 ^b	0,76 ^b	0,84 ^b	-0,82 ^b	ni	ni	-0,48 ^a	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Wszystkie	0,65 ^b	-0,53 ^b	-0,69 ^b	-0,55 ^b	0,62 ^b	-0,75 ^b	0,58 ^b	0,53 ^b	-0,66 ^b	0,44 ^a	-0,39 ^a	-0,55 ^a	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	0,48 ^a	ni	-0,75 ^b	-0,55 ^a	0,52 ^a	-0,56 ^a	ni	0,50 ^a	-0,60 ^b	ni	ni	ni	-0,54 ^a	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych	ni	ni	ni	ni	ni	-0,81 ^b	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni

60-90 cm

W strzelce
nasyconej

20 hPa

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Wszystkie		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0,44 ^a
Zawierające <20% cząstek spławialnych	50 hPa	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0,47 ^a
Zawierające >20% cząstek spławialnych		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0,64 ^a
Wszystkie		ni	ni	ni	ni	-0,42 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	200 hPa	-0,62 ^b	0,57 ^a	ni	0,51 ^a	-0,50 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0,58 ^a	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych		ni	ni	0,79 ^b	0,69 ^a	-0,68 ^a	ni	ni	ni	0,81 ^b	ni	ni	0,73 ^a	ni
Wszystkie		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	1000 hPa	-0,61 ^b	0,58 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Wszystkie		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	-0,37 ^a	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	2500 hPa	-0,56 ^a	0,51 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Wszystkie		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające <20% cząstek spławialnych	5000 hPa	-0,52 ^a	0,47 ^a	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Zawierające >20% cząstek spławialnych		ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni

a istotne na poziomie 0,05

b istotne na poziomie 0,01

ni - nieistotne

Tabela 7. Współczynniki korelacji między zawartością frakcji granulometrycznych a właściwościami fizycznymi i fizykochemicznymi gleb

Frakcje granulometryczne (mm)	Po-wierzchnia właści-wa	Wskaź-nik u-ziar-nienia	Zawar-tość a-grega-tów o śred-nicy > 1mm	% zawartość porów o ekwi-walentnej średnicy (w µm)			Gęstość	Zawar-tość próch-nicy	Fe ₂ O ₃	pH w KCl
				> 30	> 10	< 3				
0,30 cm										
1 - 0,1	-0,59 ^b	ni	-0,81 ^b	0,58 ^b	0,58 ^b	-0,82 ^b	0,63 ^b	-0,48 ^b	-0,72 ^b	ni
0,1 - 0,02	ni	ni	0,61 ^b	-0,55 ^b	-0,51 ^b	0,66 ^b	-0,41 ^b	ni	0,38 ^b	ni
< 0,02	0,78 ^b	ni	0,81 ^b	-0,48 ^b	-0,52 ^b	0,78 ^b	-0,67 ^b	0,60 ^b	0,85 ^b	ni
30-60 cm										
1 - 0,1	-0,71 ^b	0,54 ^b	-0,85 ^b	0,60 ^b	0,44 ^b	-0,67 ^b	0,66 ^b	-0,46 ^b	-0,73 ^b	ni
0,1 - 0,02	ni	ni	0,64 ^b	-0,50 ^b	-0,33 ^a	0,31 ^a	-0,37 ^b	ni	0,34 ^a	ni
< 0,02	0,91 ^b	-0,59 ^b	0,76 ^b	-0,50 ^b	-0,39 ^b	0,79 ^b	-0,73 ^b	0,54 ^b	0,87 ^b	ni
60-90 cm										
1 - 0,1	-0,75 ^b	0,67 ^b	-0,74 ^b	0,58 ^b	0,53 ^b	-0,84 ^b	0,64 ^b	0,59 ^b	-0,81 ^b	ni
0,1 - 0,02	0,48 ^b	-0,55 ^b	0,59 ^b	-0,59 ^b	-0,50 ^b	0,62 ^b	-0,44 ^a	0,47 ^a	0,65 ^b	ni
< 0,02	0,88 ^b	-0,66 ^b	0,77 ^b	-0,49 ^b	-0,47 ^a	0,93 ^b	-0,76 ^b	0,63 ^b	0,83 ^b	ni

a - istotne przy poziomie istotności 0,05

b - istotne przy poziomie istotności 0,01

ni - nieistotne

Tabela 8. Równania regresji zależności między współczynnikiem przewodnictwa wodnego w strefie nasyczonej a składem granulometrycznym badanych gleb

Warstwa (cm)	Równanie regresji	Współ- czynnik kore- lacji	Średnie odchyle- nie kwa- dratowe
0-30	$K=82,00-0,026x_1^2 + 7,56 \frac{x_1}{x_2} +$ $+ 24,28 \frac{x_1}{x_3}$	0,83	4771,0
30-60	$K=46,39+7,37 \frac{x_1}{x_2} + 8,09 \frac{x_1}{x_3}$	0,92	1973,2
60-90	$K=172,57 - 4,32x_1 + 0,063x_1^2 +$ $- \frac{2452,01}{x_2} + 28,20 \frac{x_1}{x_2} +$ $+ 0,29 \frac{x_1}{x_3}$	0,89	4897,9

K - współczynnik przewodnictwa wodnego (cm/dobę)

x_1 - zawartość piasku (%)

x_2 - zawartość pyłu (%)

x_3 - zawartość części słabialnych (%)

Tabela 9. Wartości krytyczne poziomu wody gruntowej dla zbóż przy różnych szybkościach ewapotranspiracji (V) oraz ciśnieniach ssących (Ψ) w poszczególnych gatunkach gleb

Gatunek	V (mm/dobę)					
	5		2		0,5	
	Ciśnienie ssące (hPa)					
	500	1000	500	1000	500	1000
pl	134,5	135,3	158,4	160,4	202,0	209,9
ps	159,9	162,5	197,2	203,4	273,9	296,4
pgl	161,1	163,9	199,1	205,9	278,4	292,8
pgm	176,3	182,1	228,5	243,0	325,7	378,0
gl	191,0	194,7	238,4	258,2	324,4	382,5
gs	166,4	171,9	222,1	239,6	334,1	381,6
gc	145,9	151,3	203,4	217,4	314,6	365,1
płz	154,0	157,6	203,9	212,8	301,1	333,8
płi	160,5	163,6	209,3	217,0	304,4	333,1

PIŚMIENNICTWO

1. Agarwal M. S., Agarwal R. P., Chandhry R. S., Infiltration characteristics of soils as related to soil physical properties, Journ. Indian Soc. of Soil Sci., 1974, 22 /4/, 285-289.
2. Alway F. L., Mc Dale K. G., Relation of the water retaining capacity of a soil to its hygroscopic coefficient, J. Agr. Res., 1977, 9, 27-71.
3. Amemiya M., The influence of aggregate size on soil moisture content - capillary conductivity relations, Soil Sci. Soc. Proc., 1965, 744-748.
4. Amer E., Relation of laboratory hydraulic conductivity to texture, aggregation, and soluble calcium plus magnesium percentage, Soil Sci., 1959, 88, 45-48.
5. Anderson J. L., Bouma J., Water movement through pedal soils, II. Unsaturated flow, Soil Sci. Soc. Am. J., 1977, 41, 419-422.
6. Arya L. M., Farrell D. A., Blake G. R., A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots, I. Determination of hydraulic properties of the soil, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1975, 39, 424-430.
7. Barden L., Pavlakis G., Air and water permeability of compacted unsaturated cohesive soil. J. Soil Sci., 1971, 22 /3/, 302-318.
8. Bedinger M. S., Relation between median grain size and permeability in the Arkansas River Valley, Arkansas Profess. Paper, 1961, 424-C, US Geological Survey C 31-C 32.
9. Benkenstein H., Ehwald E., Über korrelative Beziehungen zwischen dem Kf - Wert und anderen Eigenschaften von Oderbruchböden, Arch. Acker. Pflbau., 1978, 22 /1/, 23-31.
10. Blackmoore A. V., Aggregation of clay by the products of iron hydrolysis, Aust. J. Soil Res., 1973, 11, 75-82.
11. Bloemen G. W., Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content, Zeitsch. für Pflanz. u. Bodenk., 1980, 143, 581-605.

12. Bonell M., Some comments on the association between saturated hydraulic conductivity and texture of Holderness boulder clay, *Catena*, 1976, 3, 77-90.
13. Bouma J., Soil survey and the study of water in unsaturated soil. *Soil Survey Papers*, Wageningen, 1977, No 13.
14. Bouma J., Hole E. D., Soil structure and hydraulic conductivity of adjacent virgin and cultivated pedons at two sites: a typical Argiudoll (silt loam) and a typical Eutrochrept (clay), *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1975, 35, 316-319.
15. Browning G. M., Volume changes of soils in relation to infiltration rates, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1939, 4, 23-27.
16. Byrd C. W., Cassel D. K., The effect of sand content upon cone index and selected physical properties, *Soil Sci.*, 1980, 129 [4], 197-204.
17. Canarache A., Motoc E., Dumitriu R., Infiltration rate as related to hydraulic conductivity, moisture deficit and other soil properties. *Water in Unsaturated zone*, *Proc. Wageningen Symposium*, 1969, vol. 1, 392-401.
18. Canarache A., Simota H., Patru V., Postolache T., Dumitriu R., Florescu C. I., Dumitru R., Cercetari privind dinamica insusirilor fizice ale cernoziomului de la valul lui Traian in conditii de irigare, *Lucrari stiintifice*, 1976, vol. V., 51-76.
19. Chudecki Z., Błaszczyk H., Strukturotwórcza funkcja próchnicy w pyrzyckich uprawnych czarnoziemach i czarnych ziemiach, *Roczn. Gleb.*, 1980, t. XXXI, nr 3/4, 85-92.
20. Collis-George N., Greene R. S. B., The effect of aggregate size on the infiltration behaviour of a slaking soil and its relevance to ponded irrigation, *Austr. J. Soil Res.*, 1979, 17 [1], 65-73.
21. Collis-George N., Lal R., Infiltration and structural changes as influenced by initial moisture content, *Austr. J. Soil Res.*, 1971, 9, 107-116.
22. Collis-George N., Lareya K. B., Infiltration behaviour of

- structurally unstable soils under ponded and non-ponded conditions, *Austr. J. Soil Res.*, 1971, 9, 7-20.
23. Colman E. A., Bodman G. B., Moisture and energy conditons during down-ward entry of water into moist and layered soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1945, 9, 3-11.
 24. Corsini P. C., Perecin D., Libera C., Della F., Sacchi E., Effect of aggregate stability on soil water infiltration, *Cientifica* 1977, num. especial, 23-27, Brasil.
 25. Das K. C., Dynamics of corn root growth as affected by compact subsoil and its influence on crop response to irrigation, Ph. D. Thesis, Univ. California, Davis, 1972.
 26. Dechnik I., Dębicki R., Oddziaływanie środków syntetycznych i odpadowych z przemysłu na agregację gleby i jej wodoodporność, *Roczn. Gleb.*, 1980, t. XXXI, 3/4, 155-164.
 27. Dechnik I., Lipiec J., Water properties of chernozem in different utilizations. *Pol. J. Soil Sci.*, 1979, 2, 113-119.
 28. Dechnik I., Lipiec J., Przewodnictwo wodne gleby w strefie nienasyconej i metody jego pomiaru. *Probl. Agr.*, 1980, 32, 3-34.
 29. Dechnik I., Lipiec J., Tarkiewicz S., The influence of repeated tractor driving on the hydraulic conductivity of loessial soil cultivated with different tillage implements, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 1982, z. 281, 41-49.
 30. Deshpande T. L., Greenland D. J., Quirk J. P., Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminum oxides, *J. Soil Sci.*, 1968, 19, 108-122.
 31. Diebold C. H., Permeability and intake rates of medium textured soils in relation to silt content and degree of compaction, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1954, 18, 339-343.
 32. Dobrzański B., Dechnik I., Dębicki R., Lipiec J., Suitability of some soil conditioners and waste products for decreasing soil succceptibility to erosion, *Pol. J. Soil Sci.*, (w druku).
 33. Dobrzański B., Domżał H., Próba zmiany niektórych właściwości fizycznych gleby piaszczystej przez przebudowę jej profilu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 1968, 77a, 223-231.

34. Dobrzański B., Witkowska-Walczak B., Water permeability as a function of soil structure, *Roczn. Gleb.*, 1981, t. XXXII, 3, 17-24.
35. Domżał H., The possibility of utilizing the results of density and water-air soil properties for performing some cultivation activities, *Proc. 9th ISTRO Conference, Osijek 1982*, 441-445.
36. Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., Wpływ nacisku na strukturę porów i pojemność wodną gleby. *Roczn. Gleb.*, 1975, t. XXVI, 1, 49-58.
37. Douglas E., Mckyes E., Compaction effects on the hydraulic conductivity of a clay soil, *Soil Sci.*, 1978, 5, 278-282.
38. Ehlers W., Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil, *Soil Sci.*, 1975, 3, 242-249.
39. Ehlers W., Total porosity and pore size distribution in untilled loess soils. *Z. Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk.*, 1973, 134 /3/, 193-207.
40. Erickson A. E., Hansen C. M., Smucker A. J. M., The influence of subsurface asphalt barriers on the water properties and the productivity of sand soils. *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci.*, Adelaide, Austr., 1968, 1, 331-337.
41. Erickson A. E., Hansen C. M., Smucker K. Y., Wang T. S., Cook R. L., Subsurface asphalt barriers for the improvement of sugar cane production and the conservation of water on sand soil, *Proc. 13th Int. Soc. Sugar Cane Technol. Congr.* (Taiwan), Elsevier Publ. Co., Amsterdam 1968, 787-792.
42. Fahmy M. I., The influence of clay particles on the hydraulic conductivity of sandy soils, *Dr Thesis*, Wageningen Agric. University, 1961, 1-88.
43. Feddes R. A., Kowalik P., Malinka K. K., Zaradny H., Simulation of field water uptake using a soil water dependent root extraction function. *J. Hydr.*, 1976, 31, 13-26.
44. Fernandez B., Wilkinson G. E., Effect of crop cultures on the infiltration of water into a chestnut soil, *Soil Sci. Soc. Proc.*, 1965, 748-52.

45. Gaheen S. A., Njos A., Effect of tractor traffic on timothy /*Phleum pratense* L./ root system in an experiment on a loam soil, Sci. Rep. Agric. Univ., Norway, 1978, 57 /1/, 1-12.
46. Gardner W. R., How water moves in the soil, Crops and Soils, 1962, 15, 7-9.
47. Gardner W. R., Ehlig C. F., Some observations on the movement of water to plant roots, Agron. J., 1962, 54, 453-456.
48. Gardner W. R., Ehlig C. F., The influence of soil water on transpiration by plants, J. Geophys. Res., 1963, 68, 19-24.
49. Gawrik P. A., Nazarowa D. I., Korrelacionnaja zawisimost miezdu wplywaniem wlagi a fizycznymi swojstwami czernoziemow obykowniennych, Poczwow., 1973, 11.
50. Germann P., Beven K., Water flow in soil macropores, III. A statistical approach, J. Soil Sci., 1981, 32, 31-39.
51. Graff R. H. M. van de, Size of subsoil blocky peds in relation to textural parameters depth and drainage, [In:] Modification of Soil Structure, A. Willey - Interscience publication, ISSS, 1978, 87-96.
52. Gumbs F. A., Comparison of laboratory and determined saturated hydraulic conductivity and prediction from soil particle size, Trop. Agric., 1974, 51 /3/, 375-382.
53. Hartmann K., Boodt de M., The influence of the moisture content, texture and organic matter on the aggregation of sandy and loamy soils, Geoderma, 1974, 11, 53-62.
54. Hodara J., Słowińska-Jurkiewicz A., The changes of the soil structures and the physical properties of soil being compacted, proc. 9th ISTRO Conference, Osijek, 1982, 219-224.
55. Housen C. M., Erickson A. E., Use of asphalt to increase water-holding capacity of droughty sand soils, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop., 1969, 8, 256-259.
56. Hubert A., Relations entre la conductivité hydraulique et la structure des milieux poreux, Ann. Agr., 1978, 5, 475-498.
57. Jamison V. C., Water movement restriction by plant residues in

- a silt loam soil, Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci., Madison, Wisc., 1960, I, 464-472.
58. Kijne J. W., Bishay BG., Aggregate stability of some alluvial soils from Egypt, *Neth. J. Agric. Sci.*, 1974, 22, 45-53.
 59. Klages M. G., Effect of clay type and exchangeable cations on aggregation and permeability of solonetz soils, *Soil Sci.*, 1966, 102 /1/, 46-52.
 60. Koleva S., Dependence of hydraulic conductivity on the moisture content and moisture potential of varying compaction, *Poczwoznaniye i Agrochimija*, 1974, 16 /9/, 31-41.
 61. Kowalik P., System prognozowania plonów, *Mater. Sesji Nauk. BIGLEB, Komit. Gleb. i Chemii Rol.*, Jabłonna, 1980, 27-40.
 62. Krüger W., Ehwald E., Zusammenhänge zwischen Wasserdurchlässigkeit und anderen Bodenparametern in skeletthaltigen substraten, *Arch. Acker u. Pflanzenbau u. Bodenk.*, Berlin, 1978, 22/11, 15-22.
 63. Lipiec J., Physical properties of soils as an index of their agricultural suitability, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 1977, 2, 197, 167-190.
 64. Loveday J., Pyle J., The emerson dispersion test and its relationship to hydraulic conductivity, *CSIRO Austr. Div. Soils Tech. Pap.*, 1973, No 15, 1-7.
 65. Luxmoore R. J., Application of the Green and Corey method for computing hydraulic conductivity in hydrological modelling, *Univ. of Wisconsin, Madison*, 53706, 1973, 1-22.
 66. Malicki L., Niektóre zagadnienia teoretycznych podstaw uprawy roli w świetle najnowszych badań krajowych, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 1980, 227, 15-26.
 67. Masch F. D., Denny K. Y., Grain size distribution and its effect on the permeability of unconsolidated sands, *Water Resources Res.*, 1966, 4, 665-677.
 68. Mehuys G. R., Kimpe C. R. de, Saturated hydraulic conductivity in pedogenetic characterization of podzols with fragipans in Quebec, *Geoderma*, 1976, 15, 371-380.

69. Miller D. E., Available water in soil as influenced by extraction of soil water by plants, *Agron. J.*, 1967, 59, 420-423.
70. Miller D. E., Water retention and flow in layered soil profiles. Field soil water regime, SSSA Special publ., No 5, Wisconsin, 1973, 107-117.
71. Miller D. E., Flow and retention of water in layered soils, *Conserv. Res. Rep.*, No 13, Agr. Res. Ser. USDA, 1974, 28-31.
72. Moldenhauer W. C., Kemper W. D., Interdependence of water drop energy and clod size on infiltration and clod stability, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1969, 33, 297-301.
73. Murali V., Murti G. S. R. K., Sinha A. K., Statistical relationship of water flow parameters with soil matrix and porosity properties, *J. of Hydr.*, 1979, 41, 371-376.
74. Nielsen D. R., Biggar J. W., Erh K. T., Spatial variability of field-measured soil-water properties, *Hilgardia* 1973, 42 /7/, 215-259.
75. Olszta W., Badania dynamiki uwilgotnienia gleb, wzrostu traw i prognozowania nawodnień metodą modelowania matematycznego, Wyd. IMUZ, Falenty, 1981, 3-119.
76. Pillsbury A. F., Effects of particle size and temperature on the permeability of sand to water, *Soil Sci.*, 1950, 70, 299-310.
77. Prasad K. G., Perkins M. F., In situ hydraulic conductivity of a fragipan soil in the Southern Coastal Plains, *Soil Sci.*, 1978, 126 /4/, 263-268.
78. Rengasamy P., Murti G. S. R. K., Physical properties of some ferruginous soils, [In:] *Modification of soil structure*, A. Willey - Interscience publication, ISSS, 1978, 225-232.
79. Rijtema P. E., Soil moisture forecasting, I.C.W., Nota 513, Wageningen, 1970, 1-18.
80. Rose D. A., Passioura J. B., The analysis of experiments on hydrodynamic dispersion, *Soil Sci.*, 1971, 111, 252-257.
81. Rząsa S., Dębicki R., Classification and interpretation of the soil structure, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 1983, 220, 2, 61-69.

82. Saxena G. K., Hammond L. C., Lundy H. W., Effect of an asphalt barrier on soil water and on yields and water use by tomato and cabbage, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1971, 96, 218-22.
83. Sharda A. K., Influence of soil bulk density on horizontal water infiltration, *Austr. J. Soil Res.*, 1977, 15, 83-86.
84. Sidoras N., Messungen von Wasserinfiltration und Durchlässigkeit im gesamt durchwurzelbaren Raum von drei Böden und ihre Bedeutung für die Programmierung der Bewässerung und Melioration, *Z. Acker- und Pflanzenbau*, 1978, 147, 1-14.
85. Sivarajasingham S., Aleksander L. T., Cady J. G., Cline M. G., Laterite, *Adv. Agron.*, 1962, 14, 1-60.
86. So H. B., Taylor D. W., Yates W. J., Mc Garity J. W., A melioration of structurally unstable grey and brown clays, [In:] *Modification of soil structure*, A. Willey - Interscience publication, ISSS, 1978, 325-334.
87. Soroczkin W. M., Wodopronicażemost i fizyczne właściwości gleb, *Poczwow.*, 1975, 10, 60-65.
88. Strickling E., Relationship of porosity to water stability in Beltsville soil aggregates, *Soil Sci.*, 1955, 6, 449-457.
89. Stuart D. M., Dixon R. M., Water movement and caliche formation in layered arid and semiarid soils, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1973, 37, 323-324.
90. Taylor S. A., How water moves in soil, *Farm and Home Sci.*, 1957, 18, 84-85.
91. Turski R., Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., Badania właściwości wodno-powietrznych gleb ugniatanych kołami ciągników i narzędzi rolniczych podczas wykonywania prac polowych, *Roczn. Nauk Roln.*, 1974, A-100-3, 97-109.
92. Turski R., Domżał H., Hodara J., Deformacja gleby jako funkcja obciążenia, czasu jego działania i stanu wyjściowego gleby, *Roczn. Gleb.*, 1979, XXX, 2, 185-197.
93. Walczak R., Model investigations of water binding energy in soils of different compaction, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 1977, 197, 11-43.

94. Witek T., Treść i metody sporządzania wielkoskalowych map glebowo-rolniczych, Rocz. Gleb., 1965, XV, dod., 99-117.
95. Zawadzki S., Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnych utworów glebowych, Wiad. IMUZ, 1973, 2, 11-32.