

problemy agrofizyki

POLSKA AKADEMIA NAUK · ZAKŁAD AGROFIZYKI



Ossolineum

zeszyt 17

rok 1975

**ZWIEŻŁOŚĆ GLEBY
JAKO CZYNNIK ŚRODOWISKA ROZWOJU ROŚLIN**

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

PROBLEMY AGROFIZYKI

17

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

PROBLEMY AGROFIZYKI

17

IGNACY DECHNIK, JERZY LIPIEC

ZWIĘZŁOŚĆ GLEBY JAKO CZYNNIK ŚRODOWISKA ROZWOJU ROŚLIN

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

1975

Komitet Redakcyjny
BOHDAN DOBRZAŃSKI (przewodniczący)
JAN GLIŃSKI, BOGUSŁAW SZOT

Okladkę projektował ZYGMUNT ZIEMKA
Redaktor techniczny KAZIMIERZ ROSIAK

Wykonano z oryginałów tekstowych
dostarczonych przez Zakład Agrofizyki

Wszelkie prawa zastrzeżone. Printed in Poland

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1975.
Nakład: 540 egz. Objętość: ark. wyd. 1,50, ark. druk. 2. Papier
offset. kl. III, 70 g, 61 × 86. Wykonano w lipcu 1975. Wrocławska
Drukarnia Naukowa. Zam. 4196/75-A-14 Cena zł 12.—

W S T Ę P

Badania dotyczące zwężności, podobnie jak i innych cech fizycznych gleb, rozpoczęto stosunkowo niedawno. Właściwie dotychczas nie ma jasno sprecyzowanej definicji tej podstawowej właściwości fizykomechanicznej gleb. Zwykle o zwężności gleby pisze się, że jest ona określona siłą, z jako poszczególne cząsteczki mineralne i organiczne są ze sobą spojone. Określenie takie jest zbyt uproszczone, gdyż sugeruje jedynie metodę samego pomiaru tej cechy, a nie wskazuje na cały kompleks czynników oddziałujących na zwężność i odwrotnie, powiązania zwężności gleby z czynnikami wzrostu roślin.

Zwężność gleby zależy głównie od składu mechanicznego, wilgotności, porowatości, agregacji oraz uprawy i innych zabiegów agrotechnicznych. Jest ona ważnym wskaźnikiem warunków panujących w glebie jako obiekcie uprawy mechanicznej oraz środowisku rozwoju roślin. W technologii uprawy określa się ją jako "ciężkość gleby, gdyż wraz z tarcie i lepkością decyduje o oporze stawianym narzędziom uprawowym. Jako wskaźnik warunków rozwoju roślin zwężność gleby odzwierciedla opór stawiany podczas kiełkowania nasion i wzrostu korzeni.

W przedstawionym opracowaniu dokonano przeglądu dotychczasowego dorobku w zakresie metodyki i aparatury, czynników wpływających na zwężność gleby oraz wpływu zwężności na środowisko rozwoju roślin.

I. METODYKA I APARATURA DO OZNACZANIA ZWĘŻNOŚCI GLEB

Do wyznaczania zwężności gleby służą różnego rodzaju zwężnościomierze zwane także sondami. Najbardziej proste były opisane kilkadziesiąt lat temu przez Kaczyńskiego (41) sondy ręczne. Sondy te nie dają wyników liczbowych i w związku z tym nie mogą być stosowane w podstawowych pracach badawczych. Bardziej przydatne ze względu na pomiar są sondy sprężynowe oraz sondy

uderzeniowe (41,2,5,18). W sondach sprężynowych miernikiem siły potrzebnej na rozklinowanie jest sprężyna przekazująca siłę działającą na wglębnik (samopisząca sonda Goriaczkina). W sondach uderzeniowych, które wbijane są za pomocą spadającego z określonej wysokości standartowego ciężarka, wynik otrzymuje się z przeliczenia liczby uderzeń potrzebnych na zagłębienie do odpowiedniej głębokości.

Wadą sond sprężynowych czy uderzeniowych jest to, że ich prędkość wglębiania nie jest stała, a warunek ten jest istotny, ponieważ opór gleby na rozklinowanie zależy od prędkości ruchu wglębnika. Zadanie to spełniają już w pewnym sensie sondy lewarowe oraz opracowany przez Rzęsę (56,57) pneumatyczny oporomierz glebowy, w którym wynik pomiaru odczytuje się na manometrze. Sondy pneumatyczne jednakże dają niewłaściwe wyniki dla gleb o silnie zmieniającej się wraz z głębokością zwięzłości. Przyczyną jest tu bardzo duża ściśliwość gazów.

Habegger (36) opracował sondę, której stożkowo zakończona końcówką penetrująca jest wciskana hydraulicznie i ze stałą prędkością w glebę. Siła wciskania jest rejestrowana w sposób ciągły przy każdym zagłębieniu sondy za pomocą zespołu piszącego.

Bardziej udoskonalona jest sonda hydrauliczna opracowana w dwu wersjach w Zakładzie Agrofizyki PAN w Lublinie (25). Sonda ta jest prosta w obsłudze oraz spełnia warunek stałej prędkości wglębiania ($\pm 5\%$). Rejestracja oporu gleby na taśmie samopisu pozwala na wyznaczenie zwięzłości w każdym punkcie profilu glebowego. Otrzymuje się więc wielkości skrajne lub wyniki uśrednione dla poszczególnych warstw za pomocą planimetrowania. Wadą tych zwięzłościomierzy jest ich duży ciężar i konieczność korzystania z akumulatorów.

Opracowany ostatnio w Zakładzie Agrofizyki PAN w Lublinie, zwięzłościomierz wygodniejszy jest w obsłudze, ponieważ posiada urządzenie sprężynowe z napędem ręcznym (81). Przy pomocy rejestratora odtwarza on wiernie zmiany zwięzłości w każdym punkcie profilu glebowego do głębokości 37 cm. Jego główną zaletą jest niewielki ciężar (11 kg) i łatwość obsługi.

Niektórzy autorzy zwracają ostatnio uwagę że, należy konstruować sondy, których prędkość zagłębiania się byłaby zbliżona do prędkości wydłużania się korzeni roślin (82).

Jakkolwiek autorzy ci skonstruowali taką sondę wirującą i otrzymywane wyniki opisali za pomocą wykładniczego równania określającego zależność oporu gleby od prędkości zagłębiania, to jednak istnieje duże zastrzeżenie, czy będzie to miało szersze zastosowanie przy charakteryzowaniu tej fizycznej właściwości gleby.

II. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA ZWIĘZŁOŚĆ GLEBY

1. Skład mechaniczny

Ogólnie przyjmuje się, że zwięzłość gleb najbardziej trwale związana jest z ich składem mechanicznym, który stanowi cechę stosunkowo niezmienną. Okazuje się jednak, że pomiędzy tymi czynnikami nie ma ścisłej korelacji. Kowaliński (47) uzasadnia to twierdzeniem, że skład mechaniczny tylko jakościowo jest związany z oporami gleb. Według tego autora najistotniejszym składnikiem stałej fazy gleby, posiadającym wyraźne cechy zwięzłości, jest il koloidalny. Cząstki ilu koloidalnego są tak drobne, że mogą wchodzić w ścisły kontakt pomiędzy sobą lub z grubszymi składnikami mechanicznymi gleby, prowadzi to do rozwoju sił molekularnych. Opór gleby wzrasta w miarę zwiększania się zawartości ilu koloidalnego do około 25%. Przy dalszym zwiększaniu zawartości ilu zwięzłość gleby kształtuje się na tym samym poziomie w granicach zwięzłości samego ilu koloidalnego.

Kilkuletnie badania Bendera (12) wskazują, że nie sam il koloidalny decyduje o zwięzłości gleb. Właściwość ta zależy też w znacznym stopniu od zawartości ilu pyłowego. Przy czym zależność ta występuje szczególnie w poziomach głębszych (25–40 cm), gdzie jest ograniczony wpływ uprawy mechanicznej. Według tego autora wzrost zwięzłości gleby nie odbywa się proporcjonalnie do zwiększania się frakcji spławialnych. Po przekroczeniu 20% zawartości tych frakcji następuje nawet zmniejszanie zwięzłości gleby.

Jeszcze w poprzednich badaniach Bender i Rząsa (16) zaobserwowali znaczne zróżnicowanie wpływu składu mechanicznego na zwięzłość pomiędzy glebami wytworzonymi z piasków oraz z glin. W glebie piaszczystej zbitość wzrastała wraz z głębokością, podczas gdy w glebie gliniastej, przy największym nawet wysuszeniu wierzchniej warstwy, zbitość zmniejszała się wraz z głębokością.

2. Zawartość związków organicznych

Zwięzłość gleby jest w znacznej mierze uzależniona od zawartości w niej związków organicznych. Wollny, jak podaje Kowaliński (47) otrzymał wyraźną korelację między tymi czynnikami gdzie większa zawartość związków organicznych odpowiadała zmniejszeniu się zwięzłości gleby. Okazuje się jednak, że zależności te nie są tak proste, gdyż działają ponadto jednocześnie czynniki zmienności glebowej oraz uwilgotnienie gleb. Potwierdzają to badania Weresa (83), który twierdzi, że próchnica zwiększa mechaniczną odporność piasków gliniastych przy małej wilgotności a zmniejsza przy dużej. Jednocześnie zależność ta jest większa przy mniejszej ilości frakcji spławialnych w glebie. Z badań tego autora wynika też, że dla różnych piasków gliniastych można wyznaczyć takie stany uwilgotnienia, przy których opór gleby jest niezmienny mimo zróżnicowania zawartości związków próchnicznych.

3. Wilgotność

Wilgotność, jako właściwość gleby szybko zmieniająca się w czasie, oddziałuje na stan zwięzłości gleby w szerokim zakresie. Jedno z pierwszych w tym zakresie badań przeprowadził Kaczyński (43). W oparciu o wyniki uzyskane w warunkach polowych na glebie pylasto-gliniastej stwierdził największą twardość tych gleb przy wilgotności względnej 70-90%. Zmniejszanie uwilgotnienia do 60-50-40% wilgotności względnej powodowało zmniejszanie się oporu gleby na rozklinowanie.

Bender (12) uważa, że nawet niewielkie wahania wilgotności gleby, szczególnie gdy zbliża się ona do podwójnej maksymalnej higroskopowości powodują zmiany zwięzłości.

Podobnie też wyniki badań Domżała (27) wskazują, że zwięzłość rędzin podlega w okresie sezonu wegetacyjnego wahaniom ściśle uzależnionym od ich uwilgotnienia. Korelacja między tymi czynnikami była ujemna. O wysokiej ujemnej korelacji pomiędzy wilgotnością i zwięzłością gleb piszą też Bachtin i Lwow (4). Podobne wyniki uzyskiwali też inni autorzy (1,6).

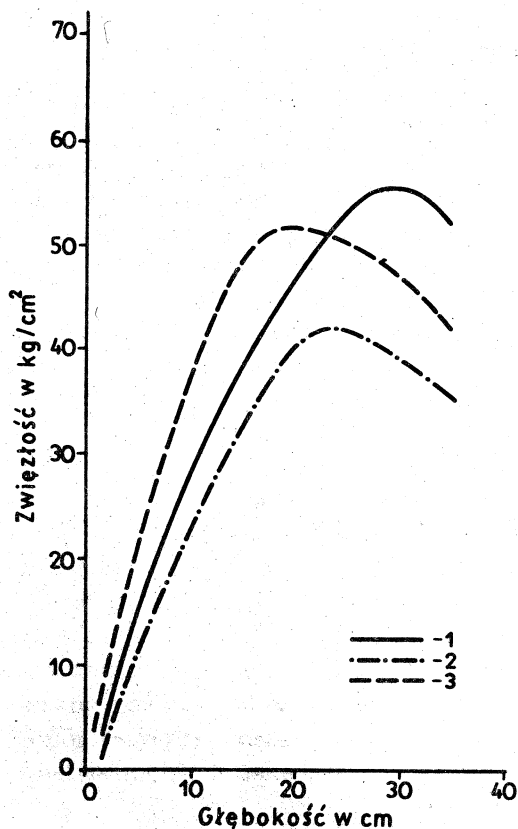
4. Uprawa mechaniczna

Sposób technologii uprawy ma istotne znaczenie w kształtowaniu zwięzłości gleb. Badania, które przeprowadził Sun-de-Liń (65) przy orce głębokiej do 70 cm wskazują na wyraźne różnice między zwięzłością gleb oranych i nie uprawianych. Zwięzłość gleb uprawianych była kilkakrotnie mniejsza od nie uprawianych. Jeszcze w 4 lata po orce zwięzłość gleb uprawianych była prawie 3-krotnie mniejsza od nie oranych. Podobnie też w badaniach Bendera (12) wpływ orki głębokiej na zwięzłość był bardzo wyraźny jeszcze po roku od chwili wykonania uprawy.

Niezależnie od innych czynników na głębokościach profilu glebowego, gdzie nie sięgają elementy robocze narzędzi uprawowych zwięzłość ulega zwiększaniu. Wyniki takie otrzymał Śmierzchalski (62) przy stosowaniu orek na różnej głębokości. Potwierdzają się one też w innych badaniach, m.in. u Bendera i Rząsy (14). Autorzy ci otrzymywali największą zwięzłość przy uprawie kultywátorem i orce płytkiej, a najmniejszą przy orce do głębokości 40 cm zarówno samym pługiem, jak też pługiem z pogłębiaczem.

Okazuje się, że wielkość zwięzłości uzależniona jest też od stosowanego narzędzia uprawowego. Szersze badania w tym zakresie przeprowadzano w Zakładzie Agrofizyki PAN w Lublinie, gdzie w okresie 3 lat porównywano w różnych warunkach zmianowania wielkość i dynamikę zwięzłości przy stosowaniu takich narzędzi, jak: pług zwykły, kultywator, glebogryzarka i pługofrezarka.

Zwięzłość mierzono sondą sprężynową z napędem ręcznym (30) 4-krotnie w sezonie wegetacyjnym. Wyniki wskazują, że wpływ poszczególnych narzędzi na wielkość zwięzłości przejawia się niejednakowo w różnych terminach okresu wegetacyjnego. W terminie wczesnowiosennym najniższą zwięzłość wykazywała gleba uprawiana glebogryzarką, większą - pługiem, a największą - kultywátorem (ryc. 1). W dalszych dwu terminach najniższe wyniki zwięzłości uzyskano w glebie uprawianej pługiem zwykłym, a najwyższe przy uprawie kultywátorem (ryc. 2, 3). Po zbiorze roślin i przeprowadzonych uprawkach późniwnych zwięzłość gleb kształtowała się podobnie jak w terminie wczesnowiosennym (ryc. 4). Późną jesienią najniższą zwięzłość w warstwie uprawnej wykazywała gleba uprawiana glebogryzarką, a największą - kultywátorem. W omawia-

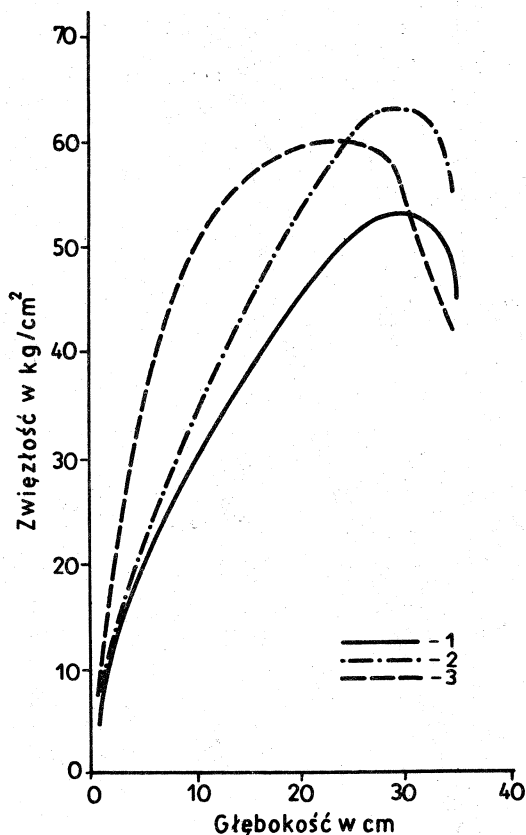


Ryc. 1. Zwięzłość gleby wytworzonej z lessu uprawianej różnymi narzędziami - kwiecień

Objaśnienie: 1 - uprawa - pługiem
 2 - " - kultywátorem
 3 - " ↓ ↑ - glebogryzarką.

nych badaniach jednocześnie obserwowano, że niezależnie od stosowanych narzędzi uprawowych zwięzłość gleb wzrastała w każdym kolejnym miesiącu okresu wegetacyjnego, aż do uprawek późniejszych, po których zwięzłość znów wyraźnie zmalała.

Z zebranych materiałów badawczych wynika, że najbardziej zmniejsza zwięzłość gleby uprawa glebogryzarką, następnie - pługiem, a na końcu - kultywátorem. Jednakże po uprawie glebogry-

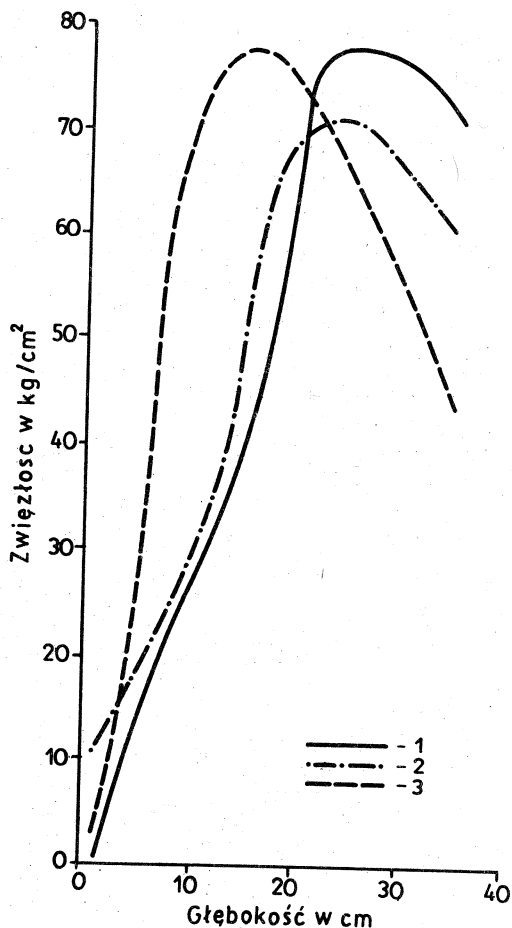


Ryc. 2. Zwięzłość gleby wytworzonej z lessu uprawianej różnymi narzędziami - czerwiec

Objaśnienie: 1 - uprawa - pługiem
 2 - " - kultywATOREM
 3 - " ↓↑ - glebogryzarką.

zarką stosunkowo szybciej zwiększa się zwięzłość niż po uprawie pługiem zwykłym. Wynika to z faktu, że przy uprawie glebogryzarką cząstki glebowe są bardziej rozluźnione niż przy orce pługiem, i szybciej skupiają się w twarde warstewki.

W badanym okresie strefę największego stwardnienia zaobserwowano na głębokości 20-30 cm, głębiej zwięzłość była znów mniejsza. Zjawisko to występuje dosyć często. Bender (12) na podsta-



Ryc. 3. Zwięzłość gleby wytworzonej z lessu uprawianej różnymi narzędziami - lipiec

Objaśnienie: 1 - uprawa - pługiem

2 - " - kultywatorem

3 - " ↓↑ - glebogryzarką.

wie badań zwięzłości w glebie o składzie mechanicznym piasku słabogliniastego uważa, że tworzenie się na głębokości 20-35 cm warstwy o większej zwięzłości niż w innych poziomach jest wynikiem systematycznego i długoletniego ugniatania. W takich warunkach następowało gromadzenie się amorficznej krzemionki i żelaza,

których koagulacja przy niedoborze wody powoduje znaczne zwiększenie zwięzłości gleby.

5. Rośliny uprawne

Gatunek rośliny uprawnej może wpływać na zwięzłość gleby bezpośrednio poprzez system korzeniowy lub też pośrednio poprzez lepsze lub gorsze ochranianie gleby przed bezpośrednim wyparowywaniem wilgoci (8).

System korzeniowy oddziałuje na zwięzłość gleb w strefie jego rozwoju. Ponieważ różne rośliny mają różnie rozwinięty system korzeniowy, więc niejednakowy jest ich wpływ na zwięzłość gleb. Rząsa i Bender (15,58) ustalili, że najmniejszą zwięzłość posiadała gleba po uprawie lnu oleistego, nieco większą - po jęczmieniu jarym, następnie - po ugorze czarnym i największą - po życie ozimym. Autorzy ci przypuszczają, że wpływ wysuszenia w większości przypadków zdecydowanie przeważa nad spulchniającym działaniem korzeni.

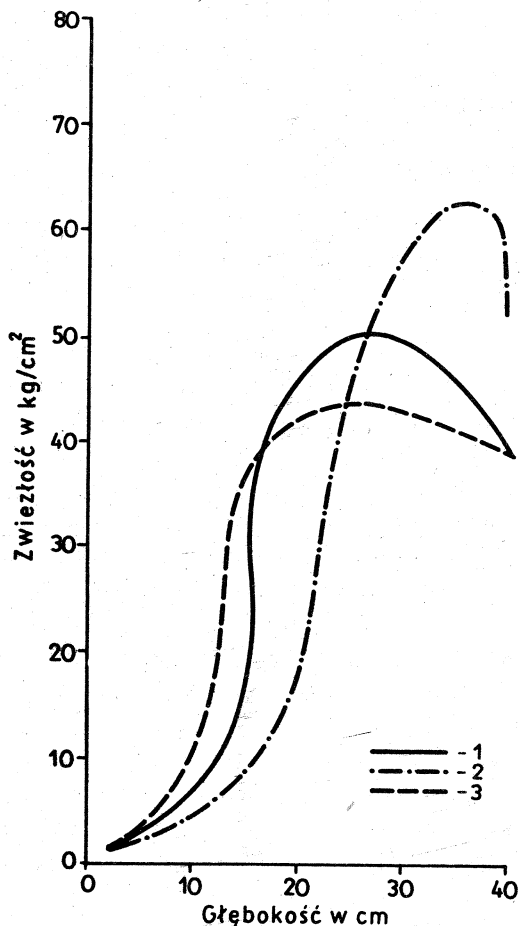
Bender i Baraniecki (13) zwracają uwagę na stosunkowo duży wpływ na zmiany zwięzłości gleby traw wieloletnich, charakteryzujących się drobnymi w powierzchniowej warstwie silniej rozbudowanym systemem korzeniowym w porównaniu z koniczyną i lucerną. Jednocześnie autorzy ci twierdzą, że bardziej podatne na zmianę zwięzłości pod wpływem systemu korzeniowego roślin są gleby o większej zawartości cząstek spławialnych, a w szczególności koloidalnych.

III. WPŁYW ZWIĘZŁOŚCI GLEBY NA ŚRODOWISKO ROZWOJU ROŚLIN

1. Znaczenie zwięzłości w technologii uprawy

Zwięzłość gleby wykazuje wysoki współczynnik korelacji z oporem jednostkowym orki, wilgotnością i strukturalnością gleb (42,43,85,63). Na zagadnienie to zwrócono uwagę jeszcze w latach trzydziestych.

Kaczyński (42,43) pisał wówczas, że największy związek korelacyjny między oporem gleby na rozklinowanej jednostkowym opo-



Ryc. 4. Zwężłość gleby wytworzonej z lessu uprawianej różnymi narzędziami - wrzesień.

Objaśnienie: 1 - uprawa - pługiem
 2 - " - kultywatorem
 3 - " ↓↑ - glebogryzarką.

rem jej w czasie orki istnieje przy wilgotności względnej poniżej 50%, wówczas bowiem, brak jest lepkości gleby. W miarę wzrostu tej wilgotności korelacja ta jest osłabiana zwiększającą się lepkością. Na podobne zależności wskazują nam też inne prace (44,45,46).

Również Bachtin (3) zwraca uwagę na znaczenie zwięzłości w technologii uprawy. Autor ten uważa, że czynnikiem określającym efektywność pracy maszyn i narzędzi rolniczych są fizykomechaniczne i technologiczne właściwości gleby, a głównie skład mechaniczny, zwięzłość i ciężar objętościowy.

Józiejew (40) badając wpływ zwięzłości na trwałość elementów roboczych narzędzi rolniczych stwierdził, że zmiana zwięzłości z 15 do 65 kg/cm² zwiększała 3-, 4-krotnie intensywność zużycia elementów spulchniających glebę.

Kaczyński (44) badał dynamometrycznie opory stawiane przez glebę narzędziom rolniczym i jednocześnie wykreślał krzywe dla zwięzłości i lepkości. Na podstawie tych krzywych można znaleźć punkt optymalny dla uprawy - jest nim stan gleby przy najmniejszej zwięzłości i lepkości.

2. Wpływ zwięzłości gleby na wzrost i rozwój korzeni

Maërtens (49) oraz Barley i Greacen (10) stwierdzają, że oporność mechaniczna ma zasadniczy wpływ na ukorzenienie się roślin, natomiast inne właściwości oddziałują pośrednio poprzez zmiany jej wielkości. Oporność mechaniczna wyraża się jednostkach ciężaru objętościowego i zwięzłości. Co do zakresu oddziaływania tych właściwości na wzrost i rozwój korzeni roślin zdania są podzielone. W większości jednak badań otrzymano ściślejsze zależności pomiędzy rozwojem korzeni a zwięzłością (9,26,34,52,54,70) aniżeli ciężarem objętościowym (79). Podobno korzenie przenikają przez glebę na drodze kompresji cylindrycznej (75).

Wpływ zwięzłości gleby na wzrost i rozwój roślin jest często rozpatrywany w połączeniu z warunkami aeracyjnymi i wodnymi gleby, wzajemnie się uzupełniającymi. Taylor i in. (72) podali teorię wskazującą, że właściwości ograniczające wzrost korzeni w badanych przez nich 17 warstwach podglebia są wywoływane przez nadmierną zwięzłość jako wynik wysuszenia gleby.

Wzrost buraków cukrowych (59) był wyraźnie ograniczony w wyniku wysokiej zwięzłości gleby, ale przy wzroście zawartości tlenu były one zdolne przenikać przez zwięzłe warstwy. W warunkach zbyt niskiego uwilgotnienia wyższe zagęszczenie gleby oka-

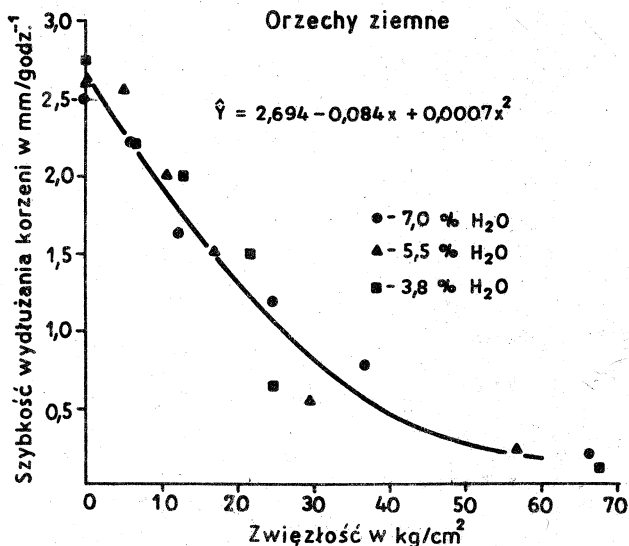
zuje się korzystne na wschody i wzrost tych roślin (53). Graniczna wartość mechanicznych oporów glebowych dla wzrostu korzeni tej rośliny wyznaczona przez Trzeckiego (77) wynosi około 28 kg/cm^2 przy zawartości powietrza około 5-6%.

Także wzrost korzeni kukurydzy w badaniach Gilla i Millera (33) był redukowany przy wzroście zwięzłości i zmniejszeniu natlenienia gleby, szczególnie przy zawartości tlenu w powietrzu glebowym poniżej 10%. Zwięzłość gleby w wysokości 18 kg/cm^2 (7) w korzystnych warunkach aeracyjnych zatrzymywała wzrost korzeni tej rośliny. Wyniki innych autorów (38,35) wskazują również, że szybkość wzrostu korzeni kukurydzy zmniejszała się wraz ze wzrostem oporności gleby.

Hopkins i Patrick (39) stwierdzili, że w warunkach optymalnego uwilgotnienia czynnikiem warunkującym szybkość penetracji korzeni trawy sudańskiej (gatunek sorga) był stopień ubicia gleby, natomiast w warunkach optymalnego zagęszczenia przenikanie korzeni w głąb gleby uzależnione było głównie od natlenienia. W innym doświadczeniu (37) stwierdzono, że wzrost korzeni sorga był zahamowany przy zwięzłości 20 kg/cm^2 .

Do podobnych wniosków, jak Hopkins i Patrick, doszli Eavis (28) oraz Waarnaars (80), badając wpływ zwięzłości i aeracji gleby na wzrost korzeni grochu. Taylor i Ratliff (74) zaobserwowali w komorach wegetacyjnych wyraźne obniżenie szybkości penetracji korzeni młodych roślin orzechów ziemnych (od 2,7 do 0,15 mm/godz.) przy wzroście zwięzłości od 0 do 60 kg/cm^2 (ryc. 5). W takich warunkach badali oni równocześnie szybkość wydłużania się korzeni bawełny (75). Wzrost zwięzłości od 0 do 10 kg/cm^2 spowodował zmniejszenie szybkości wydłużania korzeni o 62%, podczas gdy orzechów ziemnych o 29% (ryc. 6). Wzrost zwięzłości gleby deformuje też i skraca strąki orzechów ziemnych (78).

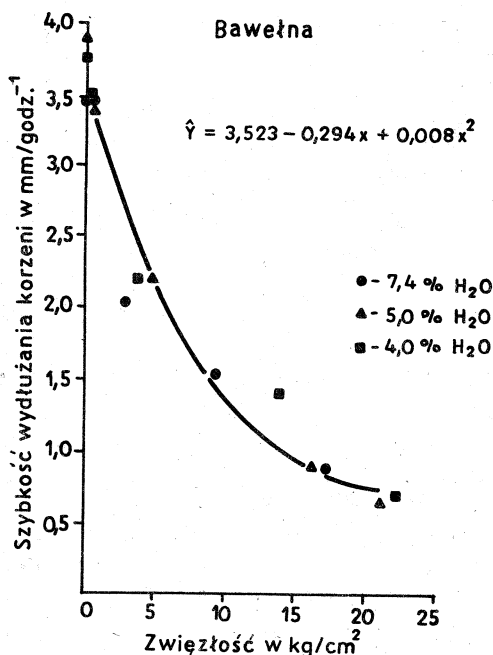
Reakcje korzeni roślin bawełny i grochu w warunkach zróżnicowanej zwięzłości były przedmiotem badań Gerarda, Mehty i Hinojosa (31). Ustalili oni, że wartość zwięzłości ograniczająca wydłużanie korzeni wynosi 10 kg/cm^2 , ale przy większym zagęszczeniu roślin w jednostce powierzchni wzrost korzeni przebiegał prawidłowo. Było to wynikiem większego naporu korzeni i deformacji zbitej gleby gliniastej.



Ryc. 5. Wpływ zwilżołości i wilgotności na szybkości wydłużania korzeni orzechów ziemnych.

Taylor, Roberson i Parker (76) badali w warunkach laboratoryjnych przenikanie korzeni palowych bawełny przez 4 różne warstwy (grubości 2,54 cm) o składzie mechanicznym: piasku gliniastego mocnego, gliny lekkiej, średniej i ciężkiej. Zaobserwowali oni wyraźny spadek liczby przenikających korzeni, z niewielkimi odchyleniami dla poszczególnych gatunków gleb, przy wzroście zwilżołości od 3 do 15 kg/cm² i mniejszy przy dalszym wzroście do 25 kg/cm²; zwilżość ostatnia całkowicie hamowała przenikanie korzeni (ryc.7). Tak ustaloną wartość krytyczną zwilżołości dla wzrostu korzeni bawełny potwierdziły wyniki badań w warunkach polowych (68,21). Również z innych badań wynika, że zwilżość zmniejsza liczbę korzeni bawełny przenikających przez zwilżoną warstwę i tym samym ogranicza pobieranie składników pokarmowych z warstw głębszych (66).

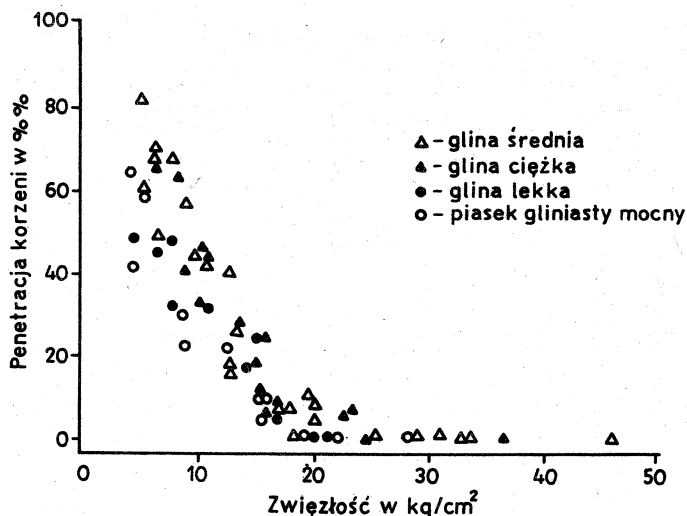
Zwilżość gleby była także ważnym czynnikiem środowiska glebowego w czasie kiełkowania i wschodów roślin w doświadczeniu prowadzonym przez Taylora, Parkera i Robersona (67). Badali oni wpływ zwilżości na wschody roślin jednoliściennych: jęczmienia,



Ryc. 6. Wpływ zwięzłości i wilgotności na szybkość wydłużania korzeni bawełny.

żyta, pszenicy, kukurydzy i chwastnicy jednostronnej oraz cebuli. W przypadku pierwszych pięciu gatunków roślin (trawy) wschody malały przy zwiększającej się zwięzłości w podobnym zakresie i zostały zahamowane przy zwięzłości od 12 do 18 kg/cm². Natomiast wschody cebuli zostały zahamowane już przy zwięzłości około 2 kg/cm² (ryc. 8). Według Bachtina i Iwowa (4) optymalna zwięzłość dla początkowego rozwoju korzeni roślin zbożowych znajduje się poniżej 8 kg/cm² oraz poniżej 25 kg/cm² w dalszych fazach rozwoju. Korzenie owsa w warunkach wysokiej zwięzłości reagowały obniżeniem intensywności pobierania składników pokarmowych i wody (12,60).

Zbyt duże zagęszczenie gleby w strefie korzeniowej było także przyczyną niższej zawartości wapnia w materiale roślinnym



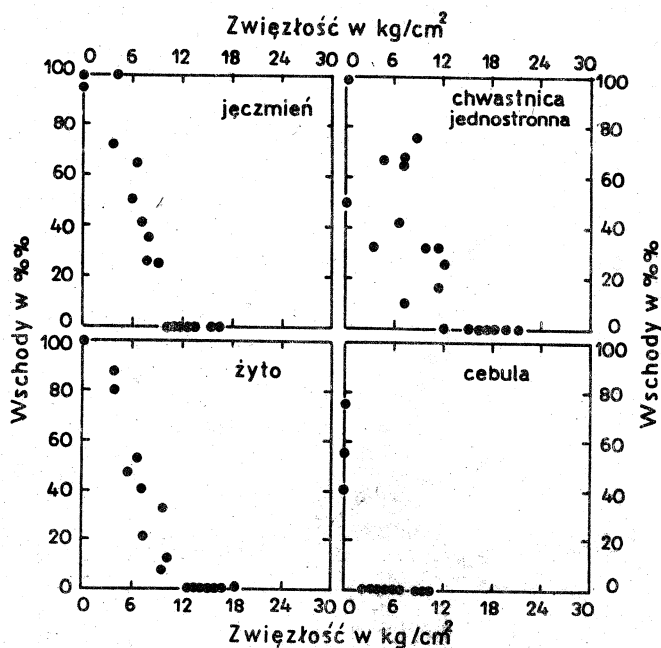
Ryc. 7. Zależność pomiędzy zwięzłością czterech gatunków gleb a penetracją korzeni bawełny.

kukurydzy (30) oraz słabszego pobierania fosforu przez truskawki (61).

Poziomy bardziej zbite charakteryzują się w warunkach niskiego uwilgotnienia wysoką zwięzłością, natomiast przy wysokim uwilgotnieniu - słabym natlenieniem i dlatego ich oddziaływanie na kształtowanie się warunków do rozwoju korzeni roślin ma szerszy zakres. Bertrand i Kohnke (17) stwierdzili, że charakteryzują się one niską dyfuzją tlenu, szczególnie w warunkach wysokiego uwilgotnienia, a przenikanie w nich korzeni ograniczone jest w części zwięzłością i brakiem tlenu.

Nadmierna zwięzłość i niedostateczne natlenienie gleby powodują głównie powstawanie korzeni krótszych i grubszych (28,80) i zmianę ich kierunku wzrostu (31).

Według Wiersuma (84), niezdolność korzeni roślin do przenikania przez zwięzłe warstwy ma miejsce wówczas, gdy szerokość zakończenia czapeczki korzeniowej przewyższa szerokość porów glebowych. Również Greacen i in. (35) uważają, że opór stawiany ostrzu metalowego penetrometru i korzeniom grochu odpowiada sile potrzebnej do rozszerzenia otworów w glebie.



Ryc. 8. Wpływ zwięzłości gleby na wschoły jęczmienia, żyta chwastnicy jednostronnej i cebuli.

W badaniach prowadzonych przez Fehrenbachera i współprac. (29) odpowiednie nawożenie wzmagало rozwój korzeni soi, lucerny, koniczyny czerwonej i ich zdolność przenikania w głąb zwięzłych warstw gleby oraz pobieranie składników pokarmowych i wody.

Mirreh i Ketcheson (51) zwracają uwagę na znaczenie ciśnienia macierzystego gleby w przenikaniu korzeni. Zwiększenie jego wartości ograniczało wydłużanie korzeni kukurydzy przy każdym poziomie zwięzłości. Wpływ ten był bardziej widoczny przy niższych poziomach zwięzłości gleby. Również w badaniach Hemsatha i Mazuraka (37) ciśnienie macierzyste oddziaływało na długość korzeni sorga ($r = -0,65$) oraz zwięzłość gleby złożonej z mieszaniny piasku z iłem ($r = +0,57$).

Jednym z czynników, od którego zależy wzrost korzeni, jest wielkość ich parcia w stosunku do oporu stawianego przez glebę.

Jeśli jest ono niższe od oporu gleby, wtedy następuje ograniczenie lub zahamowanie prawidłowego wzrostu. Nieraz jednak korzenie roślin mogą przenikać warstwy gleby, w których zwięźłość przewyższa wartość pionowego parcia korzeniowego (9,32,64,70). Wynika to z różnic w wielkości i kształcie pomiędzy wgłębnikami używanych zwięźłościomierzy i korzeniami roślin, w prędkości przenikania oraz mniejszego, tarcia między korzeniami a glebą w wyniku oddziaływania wydzielin korzeniowych.

Z przeprowadzonych badań nad wielkością parcia korzeniowego wynika, że wynosi ono w kg/cm^2 dla bobiku od 7,0 do 19,4, dla kukurydzy od 9,5 do 24,9, dla wyki od 8,3 do 13,3 (32) oraz dla bawełny 9,4, dla grochu 13,0 i dla orzechów ziemnych 11,5 (73).

3. Wpływ zwięźłości gleby na plony roślin uprawnych

Oddziaływanie w szerokim zakresie zwięźłości na rozwój systemu korzeniowego znajduje odzwierciedlenie w plonowaniu roślin uprawnych. Canarache i Vintila (22) oraz Schuurmann (60) stwierdzili, że głównymi czynnikami warunkującymi plon owsa są: mała zawartość składników pokarmowych oraz nadmierna zwięźłość gleby, wskazując jednocześnie, że poziomy głębsze gleby mogą być doprowadzone do urodzajności bliskiej poziomowi próchnicznego przez odpowiednie nawożenie i polepszenie struktury.

W badaniach Bendera (12) w wyniku stosowania orki głębokiej (40 cm) nastąpiło dwukrotne zwiększenie masy korzenia tej rośliny i zwiększenie plonu ziarna o 4 q/ha. Głęboka lub pogłębiona uprawa spulchniająca warstwy podglebia wpływała też na wzrost plonu bawełny (19,20,38), dla którego Carter i współprac. (23,24) otrzymali ujemną zależność liniową ze zwięźłością gleby. Zwiężłe warstwy były również przyczyną obniżenia plonu sorga (71). Na wyższą zwięźłość warstwy próchnicznej i podglebia reagowały niższym plonem także uprawy kukurydzy (54,48), niektórych gatunków traw (11,50), buraków cukrowych (69) oraz jęczmienia jarego (48).

PODSUMOWANIE

Do pomiarów zwięzłości gleby stosowane są zwięzłościomierze różniące się rozwiązaniami konstrukcyjnymi i techniką pomiaru. Zasadniczą niedogodnością stosowanych zwięzłościomierzy jest konieczność prowadzenia kilkakrotnych powtórzeń, wynikająca ze zmienności glebowej. Przydatnym do badania zwięzłości gleby okazał się rejestrujący zwięzłościomierz glebowy skonstruowany w Zakładzie Agrofizyki PAN w Lublinie, pozwalający na szybkie wykonywanie pomiarów, a jego zalety takie, jak: niski ciężar i łatwość obsługi, zwiększają zakres stosowania. Jednakże i ten aparat nie jest idealny i wymaga udoskonaleń, które pozwoliłyby zredukować liczbę pomiarów i otrzymać wyniki reprezentatywne.

Spośród czynników wpływających na kształtowanie się zwięzłości zasadnicze znaczenie mają: wilgotność, skład mechaniczny, uprawa mechaniczna, substancja organiczna, tekstura, budowa profilu gleby oraz gatunek uprawianych roślin i ich zmianowanie. Udział poszczególnych czynników w kształtowaniu się zwięzłości gleby nie jest dostatecznie poznany. Szczególnie brak szerszych opracowań uwzględniających wzajemne zależności pomiędzy tymi czynnikami a zwięzłością gleby. Zwięzłość gleby jako czynnik środowiska rozwoju roślin była przedmiotem wielu badań. Szczególnie dużo w literaturze zagranicznej mówi się o wpływie zwięzłości na wzrost i rozwój korzeni różnych roślin, uprawianych rzadko lub w ogóle nie uprawianych w naszych warunkach klimatycznych i glebowych. Dalsze badania wymagają ustalenia optymalnych granic zwięzłości dla poszczególnych gatunków i odmian roślin uprawnych, w ich kolejnych fazach rozwojowych w warunkach naszego klimatu i pokrywy glebowej.

Ważnym zagadnieniem wymagającym opracowania jest metodyka oddzielania wpływu zwięzłości od pozostałych czynników kształtujących warunki środowiska wzrostu i rozwoju roślin. Poznanie tych zagadnień stworzy większe możliwości oddziaływania na stan fizyczny gleb w kierunku podnoszenia ich produktywności.

P I Ś M I E N N I C T W O

1. Ayres K.W., Button R.G., De Jong E.: Soil morphology and soil properties II. Mechanical impedance and moisture retention and movement. Canadian Journal of soil science. Nr 1, 1973,
2. Allyn R.B., Work R.A.: Soil Sci. 1941, s. 307-318.
3. Bachtin P.U.: Fiziko-miechaniczeskije swojstwa poczw. Sprawozdanie konstruktora sielskochozjajstwiennych maszyn. T. 1, M. "Kolos" 1967.
4. Bachtin P.U., Lwow A.S.: Dinamika twierdosti niekotorych poczw Sriedniewo Zawolżja i Jużnowo Zauralia. Poczwowiedienije Nr 5, 1960.
5. Bachtin P.U., Wadiunina A.F.: Die Physikalisch - mechanischen Bodenigenschaften. Berlin 1960. s. 46-56.
6. Bachtin P.U., Kirtbaya Yu. K., Nikolaeva I.N., Volotskaya V.I. Resistance of soils the USSR to deformation and ploughing. 9 th Int. Congress of Soil Science, Adelaide, Australia, 1968, 1, 759-767.
7. Barley K.P.: Influence of soil strength on growth roots. Soil Sci. 96, 1963, 175-180.
8. Barley K.P. Deformation of the soil by the growth of plants. 9 th International Congress of Soil Science, Adelaide, Australia, 1968, 1, 759-767.
9. Barley K.P., Farrell D.A., - Greacen E.L.: The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. Australian J. Soil Res. Nr 3. 1965, 69-79.
10. Barley K.P., Greacen E.L.: Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. Adv. in Agron., 19, 1967, 1-43.
11. Barton H., Mc Cully W.G., Taylor H.M., Box J.E.: Influence of soil compaction on emergence and first-year growth of seeded grasses. J. Range Manage. 1966, 19, 118-121.
12. Bender J.: Wpływ niektórych czynników siedliska na zwieźność warstwy uprawnej gleb orných. Zeszyty Probl. Post. N. Roln. 1970, 99, 127-144.

13. Bender J., Baraniecki: Oddziaływanie uprawy roli i roślin o różnych systemach korzeniowych na zwięzłość warstwy uprawnej. Roczn. WSR Poznań, 1969, 42, 39-65.
14. Bender J., Rząsa S.: Mechaniczna uprawa roli a dynamika zwięzłości piasków gliniastych. Zesz. Probl. Post. N. Roln. 1963, 40a, 171-190.
15. Bender J., Rząsa S.: Dynamika zwięzłości gleby pod niektórymi roślinami uprawnymi. Prace Kom. N.R. i L. P.T.P.N., t. 14, z. 3, 1963.
16. Bender J., Rząsa S.: Niektóre aspekty zwięzłości gleb lek-
kich. Zesz. Probl. N. Roln. 1964, 50 b, 51-58.
17. Bertrand A.R., Kohnke H.: Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots. Soil Sci.Soc.Am.Proc. 1957, 21, 135-140.
18. Bogusławski E., Lentz K.O.: Z.F. Acker und Pflanzenbau, t. 106, z. 3, 1958.
19. Bruce R.R. Deep tillage of dry soils gives better returns. Miss. Farm Res. 23, 1, 6. 1960.
20. Burleson C.A., Bloodworth M.E., Biggar J.W.: Effect of sub-soiling and deep fertilization on the growth, root distribution and yield of cotton. Tex.Agr.Expt.Sta.Prog.Rpt. 1992, 1957.
21. Camp C.R., Lund Z.F.: Effect of mechanical impedance on cotton root growth. Transaction of The ASAE, 1968, 11, 188-190.
22. Canarache A., Vintila I., Cercetari in vase de vegetatie cu privire la influenta starii de tasare si a ingrasamintelor asupra fertilitatii unor orizonturi genetice ale solului brun podzolit de la Oarja. Analete Sectiei de Pedologie, 1962, 30, 117-123.
23. Carter L.M., Stockton J.R., Tavernetti J.R., Colwick R.F.: Precision tillage for cotton production. Transaction of The ASAE 1965, 11, 177-179.
24. Carter L.M., Tavernetti J.R.: Influence of precision tillage and soil compaction on cotton yields. Transaction of The ASAE. 1968, 8, 65-67.
25. Dechnik I. Grochowicz M. Stawiński J. Walczak R.: Soil penetrometer. Polish Journal of Soil Science, 1972, 2, 103-108.

26. Demolon A.: Wzrost i rozwój roślin uprawnych. PWR i L., 1965, 66-69.
27. Domżał H.: Wpływ wilgotności na agrofizyczne właściwości rędzin wytworzonych ze skał kredowych Wyżyny Lubelskiej. Praca dektorska, WSR Lublin, 1969.
28. Eavis B.W.: Soil physical conditions affecting seedling root growth. I Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. Plant and Soil. 1972, 3, 613-622.
29. Fehrenbacher J.B. Johnson P.R. Odell R.T. Johnson P.E. Root penetration and development of some farm crops as related to soil physical and chemical properties. 7 th Int Congress. of Soil Science Madison, 1960, t. III. IV. 31, 243-252.
30. Fiskell J.G.A., Carlisle V.W., Kashirad A., Hutton C.E.: Effect of soil strength on root penetration in coarse textured soils. 9 th Int. Congress of Soil Science Adelaide, 1968, 1, 793-802.
31. Gerard C.J., Mehta H.C., Hinojosa E.: Root growth in a clay soil. Soil Sci, 1972, 144, 37-50.
32. Gill W.R., Bolt G.H.: Pfeffer's studies of the root growth pressures exerted by plants. A gron. J. 1955, 47, 166-168.
33. Gill W.R., Miller R.D.: A method for study of the influence of mechanical impedance and aeration on the growth of seedling roots. Soil Sci. Soc.Am.Proc. 1956, 20, 154-157.
34. Grissom P., Williamson E.B., Wooten O.B., Fulgham F.E., Raney W.A.: Cotton yields doubled by deep tillage in 1954 tests on hardpan soils in Delta. Miss. Farm. Res. 18, 1, 2, 1955.
35. Greacen E.L., Farrell D.A., Cockroft B.: Soil resistance to metal prebes and plant roots. 9 th Int. Congress of Soil Science, Adelaide, 1968, 1, 769-779.
36. Habegger E.: Neue Methode und Vorrichtung zur Bestimmung der Bodenverdichtung. Landtechnik 1971, 21, 550-595.
37. Hemsath D.H., Mazurak A.P.: Seedling growth of sorghum in clay - sand mixtures at various compactions and water contents. Soil Science Soc. of America Proc. 1974, 3, 387-390.
38. Henry J.E., McKibben J.S.: The effect of soil strength on corn root penetration. ASAE Paper No. 66-620, 1966.

39. Hopkins R.M., Patrick W.H.: Combined effect of oxygen and soil compaction on root penetration. Soil Sci. 1969, 6, 408-413.
40. Joziejew A.T.: Wlijanije swojstw takyrowidnych poczw na iz-nos liezwij poczwoobratywajuszczich maszin. Tr. WSchIZO. Wyp. 32, 1969.
41. Kacziński N.A.: Izuczenije fizyceskich swojstw poczwy i korniewych sistem rastieni pri territorialnych poczwien-nych obsledowaniach. Moskwa, 1931.
42. Kacziński N.A.: Opyt agromelioratiwnej charakteristiki poczw. cz. I. Izd. sowietsk. sekcji MAP. M. 1934.
43. Kacziński N.A.: Swojstwa poczwy kak faktor opriedielajusz-cziz uskowija raboty sielskochazjajstwiennych maszin. Poczw-owljednienije 8, 1937.
44. Kaczyński N.A.: Fizyko-mechaniczne właściwości gleby jako nowy czynnik charakteryzujący typ gleby i określający warunki pracy maszyn rolniczych. Roczniki Nauk Roln. S.A. 1, 1962.
45. Kikwadze W.W.: O faktorach izmieniajuszczich udielnoje so-protiwlenie poczw. Miechanizacija soc.s.ch. 10, 1937.
46. Kikwadze W.W.: O metodach differenciirowanija planowych norm wyrabotki i roschoda gorjuczego na traktornyje sielskocha-zjajstwiennyje raboty. Saratow, 1948.
47. Kowaliński St.: Wpływ właściwości fizycznych gleb na ich ciężkość. Zesz. Nauk. WSR we Wrocławiu, 1957, 8, 170-209.
48. Krüger W.: Über den Einfluss unterschiedlicher Bodenverdich-tung auf einige bodenphysikalische Eigenschaften und das Pflanzenwachstum. A. Thear - Archiv. t. 14, 1970.
49. Maértens C.: La resistance mecanique des soils ala penetra-tion: ses facteurs et son influence sur l'enracinement Ann. Agron. 1964, 15, 539-544.
50. Meredith H.L., Patrick W.H.: Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils Louisiana. Agron. J., 1961, 53, 163-167.
51. Mirreh H.F., Ketcheson J.W.: Influence of soil water matric potential and resistance to penetration on corn root elon-gation. Can.J.Soil Sci. 1973, 53, 383-388.
52. Monteith N.H., Banath C.L.: The effect of soil strength on sugarcane root growth. Trop.Agr. 1965, 42, 293-296.

53. Ostrowska D.: Wpływ zagęszczenia gleby na wzrost i plonowanie buraków cukrowych. Zesz.Prob.Post.N.Roln. 1971, 112, 257-267.
54. Philips R.E., Kirkham Don.: Soil compaction in the field and corn growth. Agron. J.1962, 54, 29-34.
55. Philips R.E., Kirkham Don.: Mechanical impedance and corn seedling root growth. Soil Sci. Soc.Am.Proc. 1962, 26, 319-322.
56. Rząsa St.: Pneumatyczny oporomierz glebowy do badań związku gleb i gruntów. Roczniki gleb. dod. do t. VII. 1958. 235-238.
57. Rząsa St.: Metodyka badań przy zastosowaniu pneumatycznego oporomierza glebowego. Pr.K.N.R. i T.Pozn.T.P.N. t. 12 z. 3, 99-112, 1962.
58. Rząsa St., Bender J.: Wyniki wstępnych badań nad wpływem niektórych roślin uprawnych na związek gleby. Prace K.N. R. i L. Pozn. T.P.N., t. 12, z.3, 1962.
59. Scott T.W., Erickson A.E.: Effect of aeration and mechanical impedance on root development of alfalfa, sugar beets and tomatoes. Agron. J.1964, 56, 575-576.
60. Schuurman J.J.: Influence of soil density on root development and growth of oats. Plant and soil. 1965, 202, 352-347.
61. Słowik R., Soczek Z.: Wpływ różnego zagęszczenia gliny średniej na szybkość pobierania ^{32}P przez truskawki odmiany Regina. Zesz.Probl.N.Roln. 1971, 112, 313-316.
62. Smierchalski L.: Badania nad zasadami łączenia orek głębokich z orkami płytkimi w zmianowaniu. Cz. I i II. Zesz.Prob. Post.N.Roln. 1970, 99, 41-74.
63. Stojnew K.: Izuczawanie na fizyczne uszłowia w poczwata czerez izpołżowane na rozliczni metodi. Poczwoznanie i Agrochimija. 1968, 4, 3-13.
64. Stolzy L.H., Barley K.P.: Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. Soil Sci. 1968, 105, 297-301.
65. Suń-de-Liń.: Wlijanije głubokogo rychlenija na płołnost i objemnyj wies pieszczanych poczw. Poczwow. 1961, nr 7, 111-112.
66. Taylor H.M., Huck M.G., Klepper B.: Root development in relation to soil physical conditions. New York, USA, Academic Press. 1972, 57-77.

67. Taylor H.M., Parker J.J., Roberson G.M.: Soil Strength and seedling emergence relations. II. A generalized relation for gramineae. *Agron. J.* 1966, 58, 393-395.
68. Taylor H.M., Burnett E.: Influence of soil strength on the root growth habits of plants. *Soil Sci.* 1964, 98, 147-180.
69. Taylor H.M., Bruce R.R.: Effect of soil strength on root growth and crop yield in the Southern United States 9 th. Internat. Cong. of Soil Science, Adelaide, 1968, 1, 803-811.
70. Taylor H.M., Gardner H.R.: Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. *Soil Sci.* 1963, 96, 153-156.
71. Taylor H.M., Locke L.F., Box J.E.: Pans in Southern Great Plains soils. III. Their effects on yield of cotton and Grain Sorghum. *Agron. J.* 1964, 56, 542-545.
72. Taylor H.M., Mathers A.C., Lotspeich F.B.: Pans in Southern Great Plains soils. I. Why root-restricting pans occur. *Agron. J.* 1964, 56, 328-332.
73. Taylor H.M., Ratliff L.F.: Root growth pressures of cotton peas and peanuts. *Agron. J.* 1969, 61, 398-402.
74. Taylor H.M., Ratliff L.F.: Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Sci.* 1969, 108, 113-119.
75. Taylor H.M., Roberson G.M., Parker J.J.: Cotton seedling taproot elongation as affected by soil strength changes induced by slurring and water extraction. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1967, 31, 700-704.
76. Taylor H.M., Roberson G.M., Parker J.J.: Soil strength - root penetration relations for medium - to coarse - textured. *Soil Sci.* 1966, 102, 18-22.
77. Trzecki St.: Próba wyznaczenia granicznych oporów gleby i zawartości powietrza dla początkowego wzrostu korzeni niektórych roślin uprawnych. *Post.Nauk. Roln.* 1969, 6, 71-78.
78. Underwood C.V., Taylor H.M., Hoveland C.S.: Soil physical factors affecting peanut pod development. *Agron. J.* 1971, 63, 953-954.
79. Varade S.B., Kar S.: Influence of mechanical impedance on rice seedling root growth. *Agron. J.* 1972, 64, 80-81.
80. Warnars B.C., Eavis B.W.: Soil physical conditions affecting

seedling root growth. II. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by grain - size distribution and moisture content in silica sands. Plant and soil. 1972, 36, 623-634.

81. Walczak R., Orłowski R., Pukos A.: A manual spring - penetrometer of soil with a recorder. Polish Journal of Soil Science. 1973, 2, 87-94.
82. Waldron L.J., Constantin G.K.: Soil resistance to a slowly moving penetrometer. Soil Sci. 1970, 109, 221-226.
83. Weres St.: Wpływ próchnicy na opory jednostkowe gleby. Roczn. Nauk Roln. 86-C-1, 1966.
84. Wiersum L.R.: The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. Plant and Soil. 1957, 9, 75-85.
85. Wysockij A.A.: Dinametrirowanie sielskochozjajstwiennych maszin. Moskwa, 1954.



S P I S T R E Ś C I

	Str.
W S T Ę P	5
I. METODYKA I APARATURA DO OZNACZANIA ZWIĘZŁOŚCI GLEB	5
II. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA ZWIĘZŁOŚĆ GLEBY	7
1. Skład mechaniczny	7
2. Zawartość związków organicznych	8
3. Wilgotność	8
4. Uprawa mechaniczna	9
5. Rośliny uprawne	13
III. WPŁYW ZWIĘZŁOŚCI GLEBY NA ŚRODOWISKO ROZWOJU ROŚLIN	13
1. Znaczenie związłości w technologii uprawy .	13
2. Wpływ związłości gleby na wzrost i rozwój korzeni	15
3. Wpływ związłości gleby na plony roślin uprawnych	21
P O D S U M O W A N I E	22
P I Ś M I E N N I C T W O	23

Dotychczas ukazały się następujące numery
PROBLEMÓW AGROFIZYKI

1. Jan Gliński, Witold Stępniewski - Zastosowanie chromatografii gazowej w badaniach gleboznawczych.
2. Piotr Kowalik - Podstawy teoretyczne pomiarów potencjału wody glebowej.
3. Jan Gliński, Jerzy Duliban - Potencjał oksydoredukcyjny w glebach.
4. Małgorzata Dąbek Szreniawska - Mikrobiologiczne aspekty tworzenia się agregatów glebowych.
5. Bogusław Szot - Rozwój badań właściwości fizycznych materiałów rolniczych
6. Ignacy Dechnik, Janusz Stawiński - Powierzchnia właściwa w badaniach fizykochemicznych i fizycznych właściwości gleb.
7. Adam Pukos, Ryszard Walczak - Podstawy teoretyczne badania właściwości mechanicznych gleb.
8. Bogusław Szot, Grażyna Kolemba - Metody oceny wylegania zbóż.
9. Janusz Haman, Bogusław Szot, Wanda Woźniak - Zagadnienie wymiany ciepła i masy w materiałach roślinnych.
10. Materiały seminarium poświęconego fizyce wody glebowej. Praca zbiorowa.
11. Henryk Czachor, Ryszard Walczak - Zamknięte źródła radioizotopowe w badaniach fizycznych właściwości gleb.
12. Zastosowanie analizy spektralnej w badaniach rolniczych. Praca zbiorowa.
13. Krystyna Konstankiewicz, Adam Pukos, Ryszard Walczak - Domenowa teoria histerezy dla termodynamicznych procesów w glebie.
14. Jerzy Szczypa, Zofia Sokołowska - Zastosowanie radioizotopów do badania fizykochemicznych właściwości gleb.
15. Janusz Haman, Adam Pukos - Aktualne zagadnienia mechaniki gleb.
16. Jan Gliński, Zofia Stępniewska - Zastosowanie elektrod selektywnych w badaniach gleboznawczych.

Problemy Agrofizyki można nabyć w Księgarni ORPAN - Pałac Kultury i Nauki, 00-901 Warszawa.