

WOJCIECH CIEŚLA

*Akademia Techniczna-Rolnicza w Bydgoszczy*

## ZAGADNIENIE GĘSTOŚCI GLEB

### *Wstęp*

Stan fizyczny masy glebowej, a zwłaszcza jej zagęszczenie i ułożenie z uwagi na znaczenie w żyzności gleb jest obiektem coraz większego zainteresowania specjalistów z różnych dziedzin rolnictwa. Im glebę użytkuje się intensywniej, tym większą stwarza się okazję by stawała się coraz bardziej zagęszczona.

Wśród czynników powodujących nadmierne zagęszczenie może być technologia uprawy gleby, zresztą jak stwierdza Niewiadomski (27) „każda technologia uprawna, która prowadzi do regresu miąższości warstwy akumulacyjnej, jednocześnie powodować będzie obniżenie plonowania”. Na regres poziomu próchnicznego w Rosenberga (32), między innymi wpływać może spadek próchniczności gleb i zanik trwałości naturalnej struktury gruzełkowatej, chociaż wg Wintersa i Simonsena (47) niepożądany stan zagęszczenia gleb może być również powodowany glebowymi czynnikami genetycznymi.

Nadmierny stan zagęszczenia gleb i jego ujemny wpływ na wzrost i plon roślin, stwierdzany jest przez różnych autorów.

Z przeglądu istniejącej obszernej literatury (11, 17, 18, 25, 26, 28, 32, 33, 39, 47) wynika, że zagęszczenie gleb ma bardzo poważny wpływ na żyzność gleb. Nadmierne zagęszczenie powoduje: spadek przepuszczalności gleb przez co ogranicza się zdolność do odnawiania zapasów wody glebowej, zmniejszenie zdolności przewietrzania gleb, zwiększenie mechanicznej oporności gleb dla korzeni roślin i maszyn rolniczych, ułatwienie spływów powierzchniowych wody opadowej przez co wzmacnia się erozja gleb, następuje pogorszenie się stosunków cieplnych, zmniejszają się rozmiary porów glebowych, zwiększa się trudność w pobieraniu wody glebowej, następuje ograniczenie rozwoju korzeni roślin, zmniejsza się efektywność nawożenia mineralnego.

Jak stwierdza Raney, Edminister, Allaway (28), zagęszczenie gleb jest obiektem wzrastającego zainteresowania specjalistów inżynierii rolniczej, gleboznawców i praktyków, dlatego że mimo rozwoju nawożenia, wprowa-

dzania nowych odmian roślin, insektycydów itp. produktywność gleb jest ograniczana właściwościami fizycznymi.

Jak wynika z przedstawionych danych, problem gęstości gleb ma bardzo szerokie znaczenie, a przedstawienie wagi problemu w świetle literatury i badań własnych jest celem niniejszej pracy.

### *Nomenklatura poziomów zagęszczanych*

W rozważaniach nad poziomami zagęszczonymi, powodującymi utrudnienie wzrostu korzeni roślin i przenikanie wody glebowej, istnieje odpowiednia nomenklatura ujmująca różne stany fizyczne masy glebowej. Gill i Vanden Berg (18) gęstość gleb (konsolidację materiału glebowego) uważają za właściwość statyczną, natomiast zagęszczenie za właściwość dynamiczną zachodzącą pod wpływem działania różnych sił. W określonych glebach, w których zachodzi zmiana stanu gęstości, nie zmienia się właściwość materiału, lecz ulegają zmianie właściwości zachowawcze. Stąd zmiana stanu gęstości powoduje zmiany właściwości zachowawczych (funkcjonalnych).

Ogólne uznanie ważności właściwości zachowawczych, wynikających ze stanu zagęszczenia, jest przyczyną podejmowania badań nad wzrostem jak i zmniejszaniem się stopnia zagęszczania gleb.

W praktyce i w literaturze rolniczej powszechnie znane jest występowanie i niekorzystny wpływ zagęszczonej warstwy tzw. „podeszwy płużnej”.

Według Wintersa i Simonsena (47) oraz Raney'a, Edministersa i Allaway'a (28), jest to typowy przykład warstwy z a g ę s z c z e n i a w z b u d z o n e g o (induced hardpans).

Warstwa ta wytworzyła się stosunkowo niedawno pod wpływem sił zagęszczających takich jak nacisk maszyn rolniczych, środki transportu, udeptywanie itp., w warunkach naturalnych nie występowała. Spotyka się ją obecnie w materiałach glebowych o średnim składzie mechanicznym (piasków gliniastych i glin spiaszczonych, utworach pyłowych), przy czym skład mechaniczny nad tą warstwą i poniżej nie ulega zmianie.

Rozpoznanie tej warstwy jest stosunkowo łatwe przy kopaniu odkrywki gleby suchej, natomiast w glebie wilgotnej może ujść uwadze.

Warstwy tego typu występują bardzo często w glebach Niziny Wielkopolskiej, a zwłaszcza w czarnych ziemiach kujawskich. Rozpoznanie jest łatwe na podstawie wymienionych cech lub przez obserwację korzeni bu-

raków cukrowych. Buraki tracą korzeń palowy, są zniekształcone — s e l e r o w a t e, niektóre wyginają się i rosną nawet ku powierzchni gleby (7, 8, 9).

W naszych warunkach występować mogą utwardzone warstwy kruche typu „f r a g i p a n” (28, 37, 47), czyli warstw twardych, zbitych w wodzie rozkruszających się. Posiadają one wysoki ciężar objętościowy (powyżej  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ), są bardzo twarde po wyschnięciu, natomiast wilgotne są kruche. Często występuje w nich plamistość od cętek żelazistych z plamami szarymi. Są to materiały gliniaste lub gliny pyłowe, występujące w głębszych partiach profili, w przybliżeniu odpowiadają poziomom B.

Występowanie warstwy utwardzonej typu fragipan jak podaje Winters i Simonsen (47) ma szeroki zasięg w regionach klimatu umiarkowanego wilgotnego, w glebach brunatnych, szarobrunatnych zbielicowanych (płowych) itp.

Warstwa utwardzona typu fragipan może tworzyć się w różnych skałach macierzystych gleb (6). Geneza powstawania tej warstwy nie jest w pełni wyjaśniona. W amerykańskiej klasyfikacji gleb zwanej „siódmym sformułowaniem” (7<sup>th</sup> approximation — 37) wyjaśnia się, że powstanie tej warstwy może wiązać się z procesami w epoce pleistocenijskiej. Odgrywać mógł rolę ciężar lodowca oraz działanie trwałej zmarzliny. Nie wyklucza się też działania innych czynników.

Jak wykazują badania własne, gleby uprawne wytworzone z glin zwałowych moren dennych, powstałe zwłaszcza z gliny zlodowacenia środkowo-polskiego mają cechy, które odpowiadają definicji fragipan.

W literaturze gleboznawczej opisywane są poziomy i warstwy utwardzone (37, 47) jak orsztyny, warstwy ilaste — (claypan), poziomy twarde (hardpan) scementowane próchnicą, półtoratlenkami, krzemionką lub węglanem wapnia oraz konkrecje twarde (durinodes) scementowane opalem i mikrokryształiczną krzemionką rozmakające dopiero w silnych ługach (KOH) po uprzednim działaniu kwasem (HCl). W warunkach gleb Polski zwłaszcza te ostatnie (durinodes) nie są znane.

Z przytoczonych danych wynika, że zagęszczenie gleb powodować mogą różne czynniki, mogą to być siły o działaniu krótkim np. koła traktora, stopy zwierząt, deszcz itp. odgrywać też mogą czynniki działające długo lub bardzo długo. Z podanych przyczyn, w odniesieniu do warunków naturalnych, nie udało się jeszcze opracować ogólnej formuły matematycznej przebiegu zagęszczania. Gill i Vanden Berg (18) uważają, że z chwilą wypracowania takiej formuły, proces zagęszczania może być przewidywany i kontrolowany.

### *Reakcja roślin na zagęszczenie gleb*

Istnieje już wiele danych, co do reakcji roślin na zagęszczenie, często o charakterze kontrowersyjnym, gdyż w niektórych przypadkach wzrost gęstości gleb powodował wzrost plonu lub odwrotnie. Są też dane, które wskazują jakie powinno być optymalne zagęszczenie dla niektórych roślin uprawnych.

W nadmiernie zagęszczonych glebach wg Fountaine'a (16) ograniczenie wzrostu roślin może być powodowane wzrostem mechanicznej oporności, pogorszeniem przewietrzania gleb, obniżeniem dostępności wody glebowej, przewodnością cieplną, zmniejszeniem rozmiarów porów glebowych. Każdy z tych czynników, pojedynczo lub łącznie może stać się krytycznym dla wzrostu roślin. Który z czynników aktualnie może stać się krytyczny, zależy będzie od składu mechanicznego gleby, warunków klimatycznych, gatunku roślin, a nawet odmiany (Słowik 34) oraz od stanu rozwoju roślin. Czy wzrost gęstości będzie korzystny lub szkodliwy, zależy czy gleba jest luźniejsza lub bardziej zagęszczona od gęstości optymalnej dla danego etapu wzrostu rośliny. Wynika z tego duża złożoność problemu.

Veihmeyer i Hendrickson (41, 42) stwierdzili, że ciężar objętościowy  $1,8 \text{ g/cm}^3$  dla słonecznika i winorośli w uprawach polowych i szklarniowych, limitował penetrację korzeni w glebie gliniastej zwirowatej. Badacze ci donoszą o braku penetracji masy glebowej przez korzenie przy ciężarze objętościowym  $1,9 \text{ g/cm}^3$  lub powyżej, chociaż dla niektórych gleb wartości krytyczne były w granicach  $1,7$ — $1,8$ , a dla łąk  $1,6$ — $1,7$ , a nawet  $1,46 \text{ g/cm}^3$ . Według tych autorów nie sam ciężar objętościowy gleby jest czynnikiem ograniczającym przenikanie korzeni, lecz rozmiar porów glebowych. Krytyczny punkt zagęszczenia będzie zależał od składu mechanicznego, natomiast na optimum zagęszczenia będzie miała wpływ struktura gruzełkowata i zawartość próchnicy.

Jak podaje Lutz (26) nadmierne ubicie (zagęszczenie) będzie redukowało ruch powietrza i wody, co stanowi o trudności właściwego przygotowania roli.

Obniżenie się zawartości przestrzeni niekapilarnych przy dużym zagęszczeniu gleb jest czynnikiem posiadającym istotne znaczenie. Bayer i Farnsworth (3) stwierdzają, że buraki cukrowe uprawiane w glebie o pojemności niekapilarnej mniejszej niż 2% dały plon ogólny o około 50% mniejszy w porównaniu do tej samej gleby, w której pojemność wynosiła 8—10%.

Według cytowanych przez Rosenberga (32) autorów spadek plonów buraków cukrowych w wyniku ubicia gleby przez traktory wynosił 13% przy dużej ilości korzeni rozwidlonych i zniekształconych. Weres (46) na-

tomiast stwierdził, że ubicie gleby spowodowało obniżkę plonu buraków nawet o 50%.

Smith i Cook (36) za najbardziej istotną dla normalnego wzrostu buraków cukrowych uważają odpowiednią pojemność powietrza. Z doświadczeń wynika podobieństwo reakcji buraków cukrowych na nadmierne zagęszczenie i na nadmierną wilgotność przy zastosowaniu wymuszonego przewietrzania, ujemny wpływ gęstości gleb został wyeliminowany.

W doświadczeniach Tretiakowa i wsp. (40) stwierdzono wzrost plonu buraków cukrowych przy zagęszczeniu od 1,1 do 1,4 g/cm<sup>3</sup>, przy dalszym wzroście zagęszczenia plon gwałtownie spadał.

Kołomiejec (22) stwierdza, że gęstość 1,1 g/cm<sup>3</sup> była najlepsza dla buraków, przy tej gęstości roślina najoszczędniej gospodarowała wodą, gęstość większa lub mniejsza wpływała ujemnie na plon, przy gęstości większej wystąpiła deformacja korzeni.

Na obszarze Kujaw, gdzie w czarnych ziemiach występowanie podeszwy płuznej jest powszechne, znaczna ilość korzeni buraków cukrowych ma korzenie zniekształcone.

W badaniach z pomidorami stwierdzono wyraźny wpływ gęstości gleb na plon (16, 17, 18, 19). Przy wzroście zagęszczenia od 1,0 do 1,3 g/cm<sup>3</sup> plon był lepszy natomiast przy dalszym zagęszczeniu plon pomidorów spadał, chociaż przy gęstości 1,6 g/cm<sup>3</sup> plon nie był tak niski jak przy 1,1 g/cm<sup>3</sup>.

Flocker i Menary (14) zwrócili uwagę na wpływ zagęszczenia gleb na przebieg metabolizmu roślin. Pomidory uprawiane na glebach o dużym zagęszczeniu wykazywały większą zawartość protein a mniejszą zawartość cukru w liściach i łodygach roślin. Zwiększała się koncentracja antodyjanu. Badacze ci stwierdzili, że krzywa zależności wzrostu pomidorów od zagęszczenia ma charakter paraboli.

W badaniach nad wpływem właściwości fizycznych gleb na wzrost ziemniaków Bushnell (5) otrzymał na glinie pylastej niskie plony, gdy ogólna porowatość była mniejsza niż 49%. Bardzo nieznaczne różnice w porowatości ogólnej od 1 do 2% powodowały znaczne różnice w plonach.

W badaniach Flockera i wsp. (12) gdzie użyto ziemniaki jako roślinę testową, wykazano wyraźny związek zagęszczenia gleb z wysokością plonu różnych odmian. Według Adamsa i współautorów (1) ubicie warstw wierzchnich od 1,07 do 1,19 g/cm<sup>3</sup> spowodowało spadek plonu nawet o 54%. Silną reakcję ziemniaków na zagęszczenie gleb wykazał Kapusta (33) wskazując na zależność plonu od ilości powietrza glebowego.

Według Wasilewa i Riewuta (45) optymalne warunki dla wzrostu pszenicy i kukurydzy w czarnoziemie węglanowym były wtedy, gdy ciężar objętościowy wynosił 1,05—1,20 g/cm<sup>3</sup>, zagęszczenie większe miało zły wpływ na ilości wody dostępnej dla roślin.

Riewut i wsp. (30) najwyższy plon owsa otrzymali na glebie piaszczystej przy ciężarze objętościowym  $1,35 \text{ g/cm}^3$ , a na piaszczysto-gliniastej przy ciężarze  $1,2 \text{ g/cm}^3$ . Wymagania kukurydzy pod tym względem były podobne do owsa. W glebach ciężkich w miarę zagęszczenia zachodzi zmniejszenie przepuszczalności i spadek dostępności wody dla rośliny.

Smierzchalski (39) stwierdza bardzo silną reakcję jęczmienia jarego na zagęszczenie gleb. Najwyższy plon jęczmienia jarego otrzymał on na glebie piaszczystej i lessowej przy ciężarze objętościowym  $1,3 \text{ g/cm}^3$ , na glebie gliniastej  $1,45 \text{ g}$ . Pszenica ozima wymaga wyższego zagęszczenia gleb, np. gleby piaszczystej i gliniastej do  $1,60$  lessu  $1,45 \text{ g/cm}^3$ . Przy zagęszczeniu gleb powyżej podanych wartości plony roślin badanych spadały. Spośród okopowych ziemniaki reagowały bardziej na pulchność gleby niż buraki cukrowe. Na tle wymagań roślin pod względem stanu gęstości gleb Śmierzchalski wysuwa ważne dla praktyki sugestie o możliwości uproszczenia zabiegów uprawowych na glebach gliniastych i lessowych. W określonych warunkach sugeruje on rezygnację ze spulchniających glebę upraw wiosennych.

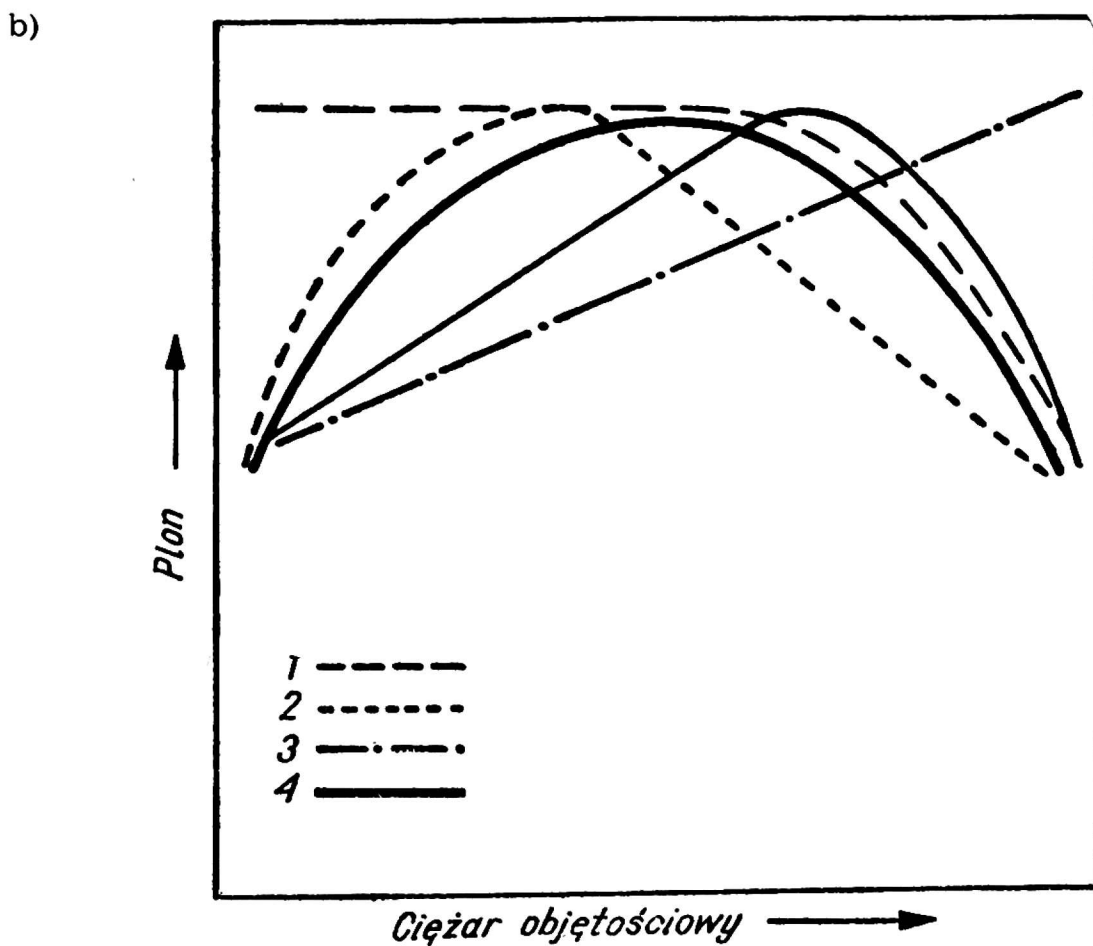
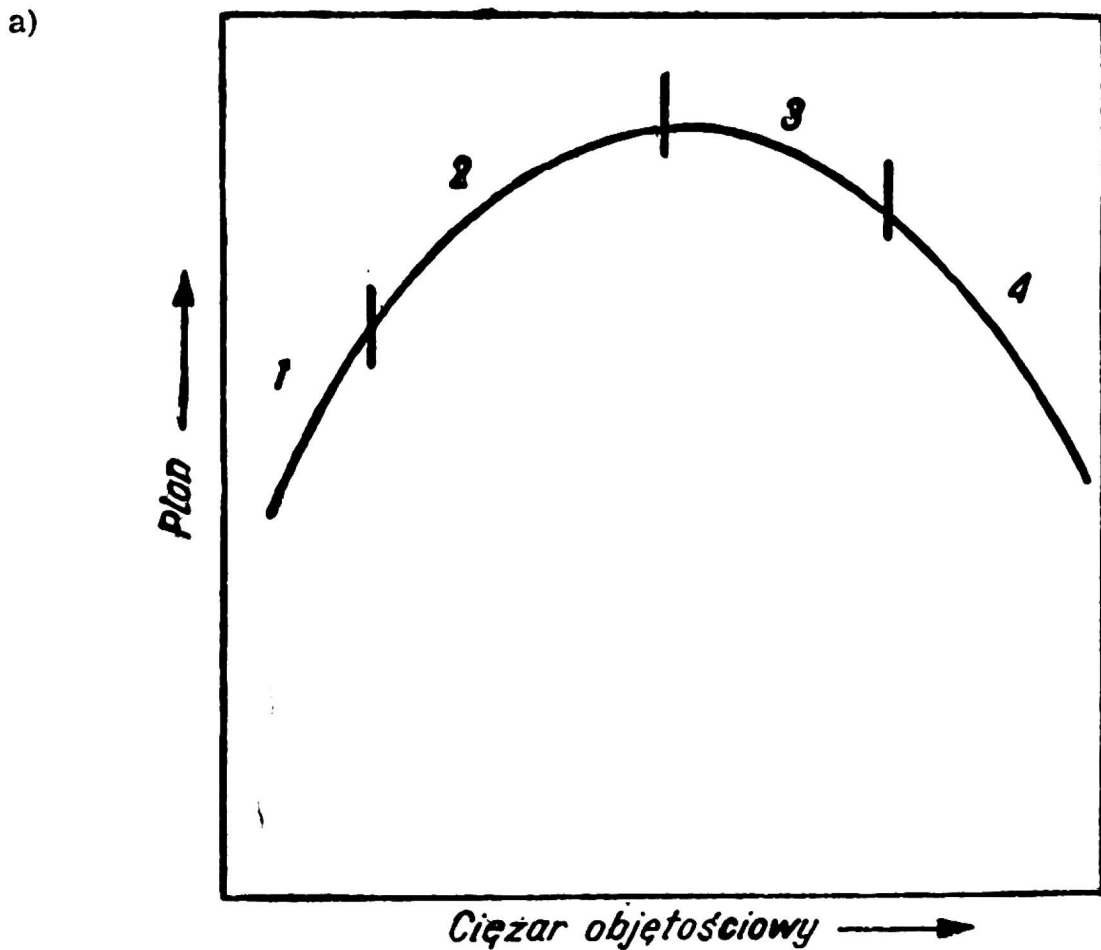
Sienkiewicz i Gonet (33) za optymalny dla zbóż jarych uważają ciężar objętościowy w przedziale  $1,4\text{—}1,6 \text{ g/cm}^3$ . Zagęszczenie gleby lekkiej miało wyraźnie korzystny wpływ na pszenicę jarą.

Kowaczew, Stoinow, Todorow (23) stwierdzili reakcję roślin na gęstość gleb zarówno w doświadczeniach wazonowych jak i polowych. Na glebach cynamonowych i smolnicach w doświadczeniach z burakami cukrowymi, pszenicą, kukurydzą, słonecznikiem, fasolą i owsem, najlepsze plony uzyskano przy ciężarze objętościowym  $1,1\text{—}1,3 \text{ g/cm}^3$ . Linie obrazujące zależność wysokości plonu przy wzrastającym zagęszczeniu miały kształt paraboli.

Nie uzyskano zrównowżenia nadmiernego zagęszczenia wysokimi dawkami nawozów mineralnych, natomiast efektywność wysokich dawek nawozów w obiektach niezagęszczonych była dwukrotnie wyższa.

Rosenberg (31) przedstawia hipotetyczną krzywą (rys. 1a) obrazującą efekt zagęszczenia gleb piaszczystych na plon roślin dla gleb bardziej zwięzłych przebieg krzywej będzie podobny, co zresztą potwierdzają inne badania).

Paraboliczna krzywa podzielona została przez Rosenberga na cztery odcinki w związku z tym, że w miarę wzrastającego zagęszczenia różne czynniki mają wpływ na rozwój roślin. Przy niewielkim zagęszczeniu (odcinek pierwszy) lepszy rozwój roślin zachodzi dzięki lepszemu kontaktowi korzeni z glebą, co ułatwia pobieranie wody i składników pokarmowych. Przy dalszym zagęszczeniu wzrasta kapilarny podsiąk i po uzyskaniu maksimum zagęszczenia plon zaczyna spadać, gdyż w grę wchodzi mechaniczna oporność masy glebowej i wzrastają siły utrzymujące wodę w glebie



Rys. 1. Wpływ wzrastającego zagęszczenia gleb na plon roślin (a) oraz niektóre funkcjonalne właściwości gleb (b) wg Rosenberga (31); a: 1 — polepszenie kontaktu korzeni roślin z glebą, 2 — wzrost dostępności wody, 3 — wpływ mechanicznej oporności, 4 — ograniczenie dyfuzji gazów; b: 1 — dyfuzja tlenu, 2 — mechaniczna oporność, 3 — przewodnictwo cieplne, 4 — dostępność wody

poprzez zmniejszanie rozmiarów porów glebowych. Skrajne zagęszczenie (przedział czwarty) powoduje ograniczenie przewietrzania. Rysunek 1b przedstawia krzywą paraboliczną; rys. 1a w postaci krzywej parabolicznej wskazuje zależność pomiędzy wzrastającym zagęszczeniem, a dostępnością wody i mechaniczną opornością gleb. Przy małym stanie zagęszczenia dyfuzja tlenu (ODR) jest duża i nie da się zmierzyć. Dopiero w miarę wzrostu zagęszczenia występuje punkt krytyczny, od którego zagęszczenie zacznie odgrywać rolę, a dyfuzja tlenu ulega silnemu spadkowi.

Bertrand i Kohnke (4) stwierdzili, że krytycznym dla młodych roślin jest wydatek dyfuzji tlenu (ODR)  $25 \times 10^{-8} \text{g} \times \text{cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ . Jako liczbę graniczną dyfuzji tlenu, poniżej której wzrost roślin nie zachodzi Stolzy i wsp. (38) przyjmują wielkość rzędu  $20 \times 10^{-8} \text{g} \times \text{cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ . Jak podaje Rosenberg (32) w świetle badań własnych i opinii innych badaczy, przy małej wilgotności gleb wydatek dyfuzji tlenu jest zbyt duży i nie da się zmierzyć, nie uważa natomiast, aby w glebach średnio- i gruboziarnistych czynnik ten limitował plon.

Jak wynika z rys. 1b, przewodnictwo cieplne wzrasta proporcjonalnie w miarę wzrostu zagęszczenia gleby. Przewodnictwo cieplne w każdym ośrodku porowatym zależy od układu części stałych, płynnych i gazowych. Wiadomo, że temperatura gleb jest jednym z bardzo ważnych czynników wpływających na przebieg procesów glebowych (29). Jak podaje Rosenberg (32) stwierdzono przypadki wpływu stanu złożenia masy glebowej na niską temperaturę powierzchni gleb.

Przedstawiona analiza przebiegu niektórych właściwości gleb w zależności od różnych stanów zagęszczenia, jest ilustracją tezy o wpływie gęstości na kształtowanie właściwości zachowawczych (funkcjonalnych).

W wielu pracach dotyczących wpływu gęstości na żyzność gleb uwzględnia się aspekt pobierania przez rośliny składników pokarmowych w warunkach różnego stanu zagęszczenia.

Kapusta (21) za Batemanem, Černym i Ermichem wskazuje możliwość wyrównania szkodliwego wpływu nadmiernego zagęszczenia intensywnym nawożeniem.

W przytoczonej już pracy badaczy bułgarskich (23) podany jest pogląd przeciwny, że nie da się zrównoważyć wpływu nadmiernego zagęszczenia stosowaniem wysokich dawek nawozów mineralnych, natomiast stwierdza się możliwość prawie dwukrotnego spadku efektywności w układach glebowych zagęszczonych. Śmierchalski (39) przytacza wypowiedzi Bogusławskiego, Lenza oraz Schurmana, według których nadmierne zagęszczenie powoduje zmniejszenie pobierania azotu z gleby oraz zmniejszenie się efektywności NPK.

Z dotychczasowych rozważań i analizy wyników badań różnych autorów wynika, że jednym z najbardziej podstawowych czynników mogą-



cych wpływać na pobieranie składników pokarmowych w układach zagęszczonych jest zwolnione tempo dostarczania tlenu i wzrost koncentracji CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym (13). Danielson i Russel (10) stwierdzili w roślinach oznaki niedoboru azotu i fosforu, gdy ciężar objętościowy gleby przekroczył pewną granicę. Rośliny miały ograniczony wzrost i nagromadzał się antocjan w liściach i łodygach.

Lawton (24) stwierdził obniżenie pobierania składników pokarmowych przez rośliny zbożowe przy ograniczeniu przewietrzania. W roztworach wodnych nastąpiło zmniejszenie pobierania składników w następującej kolejności  $K > Ca > Mg > N > P$ . W glebach, w których zmniejszono porowatość przez zagęszczenie utrzymywał się podobny układ pobierania wymienionych składników.

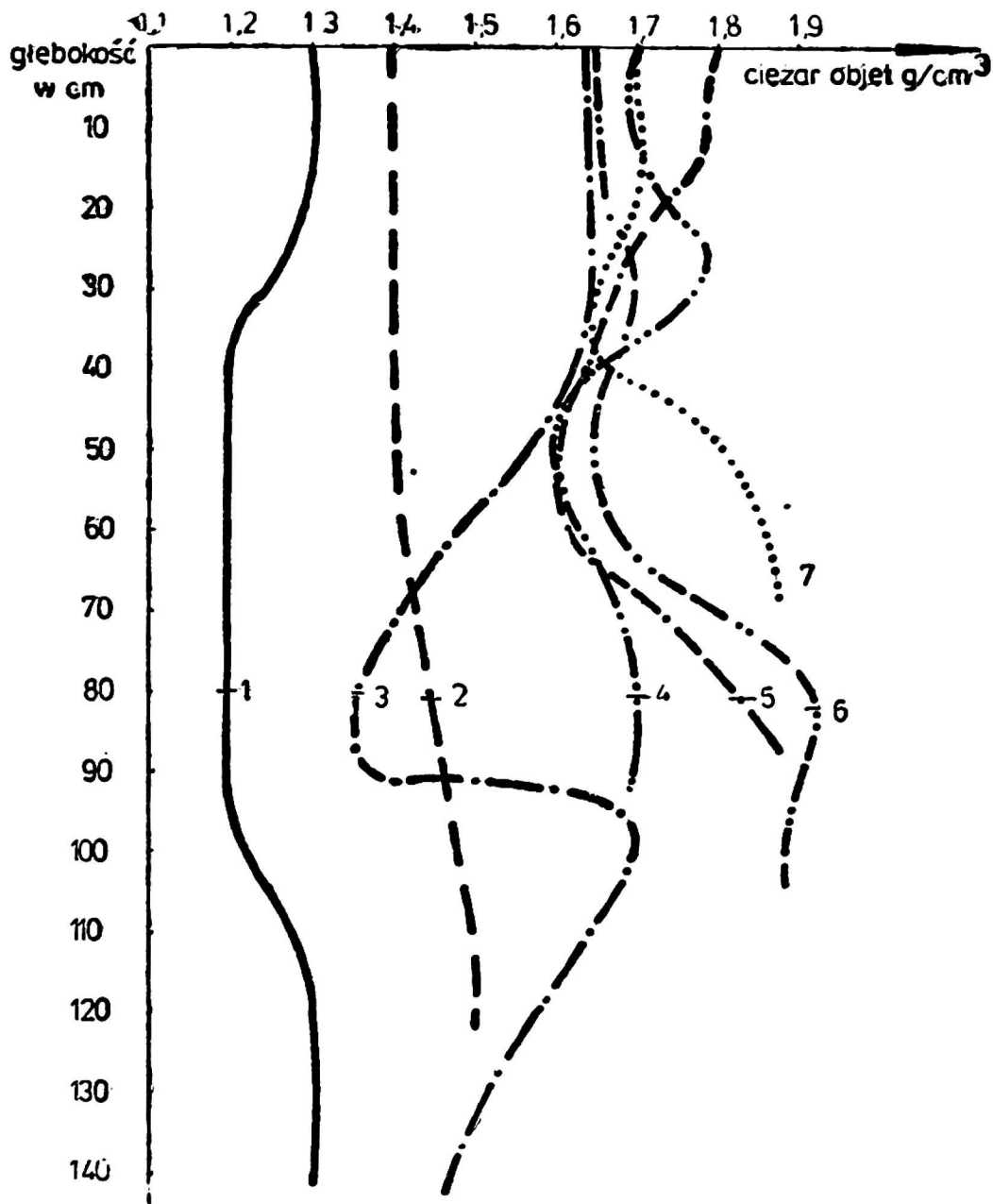
Flocker, Lingle, Vomocil (13) wykazali, że w dwóch glebach zagęszczonych wyraźnie zmniejszyło się pobieranie fosforu przez pomidory. Słowik i Soczek (35) badając pobierane <sup>32</sup>P z warstw glebowych o różnym zagęszczeniu stwierdzają, że truskawki pobierały fosfor z warstw najslabiej zagęszczonych, niezależnie od tego czy warstwa zagęszczona stanowiła górną czy dolną część wazonu. Autorzy warunkują pobieranie fosforu przewietrzaniem.

Z praktyki rolniczej z obszaru Niziny Wielkopolskiej coraz częściej słyszy się głosy o braku efektywności nawet bardzo wysokich dawek nawożenia mineralnego. Znany jest powszechnie fakt trudności uzyskania plonów buraków cukrowych powyżej 300 q uprawianych na czarnych ziemiach kujawskich oraz ograniczanie wysokości plonów ziemniaków na znacznych obszarach kraju. Jest sprawą ważną, aby uzyskać dane, które mogłyby wyjaśnić przyczyny tych zjawisk. Nie da się w tej chwili wykluczyć możliwości występowania ograniczenia plonowania roślin nadmiernym zagęszczeniem gleb wytworzonych z glin zwałowych moren dennych. Istotne znaczenie może mieć pogląd Vettera (44), według którego w określonych warunkach klimatyczno-glebowych i technizacji rolnictwa, zagęszczenie może mieć większe znaczenie w urodzajności gleb niż brak składników pokarmowych.

#### *Stan zagęszczenia niektórych gleb uprawnych*

Według przeprowadzonych badań własnych uwagę zwraca wysoki stan zagęszczenia gleb wytworzonych z glin zwałowych moren dennych wielu jednostek fizjograficznych Niziny Wielkopolskiej. Między innymi, na Równinie Inowrocławskiej i Wrzesińskiej spotyka się gleby o wysokim ciężarze objętościowym, zwłaszcza w części poziomym próchnicznego bezpośrednio występującego pod warstwą orną (tzw. podeszwa płużna lub poziom wzbu-

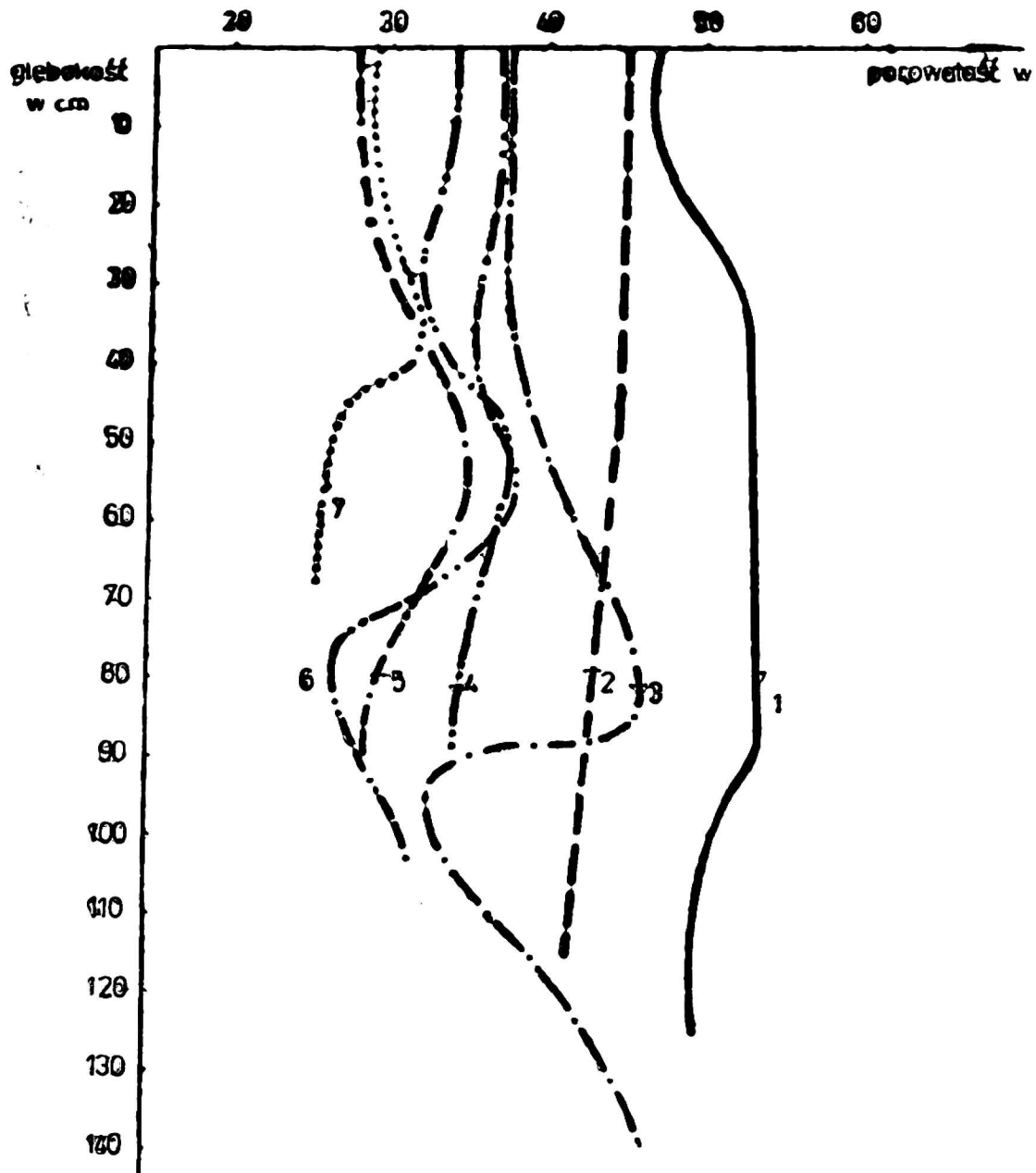
zonego zagęszczenia). Poziomy głębsze w profilach gleb utworzonych z glin zwałowych mają ciężar objętościowy powyżej  $1,8 \text{ g/cm}^3$ , a więc odpowiadałyby one definicji poziomów zagęszczonych typu *f r a g i p a n*.



Rys. 2. Ciężar objętościowy niektórych gleb: 1 — czarnoziem utworzony z lessu spod Hrubieszowa, 2 i 3 — mady z Doliny Wisły pow. Chełm, 4 i 5 — czarnoziemy łąkowe utworzone z gliny zwałowej z Kujaw, 6 — czarnoziem łąkowy utworzony z gliny zwałowej z Równiny Wrzesińskiej, 7 — gleba brunatna właściwa utworzona z gliny zwałowej z Kujaw

W kontraście do gleb utworzonych z glin zwałowych są gleby utworzone z lessu, których głębsze poziomy mają ciężar objętościowy rzędu  $1,19\text{--}1,27 \text{ g/cm}^3$ . Gleby madowe występujące w dolinie Wisły w powiecie chełmińskim mają wartości pośrednie.

Wybrane przykłady stanu zagęszczenia gleb utworzonych z glin zwałowych, mad i gleby lessowej przedstawia rys. 2. W oparciu o normę za-



Rys. 3. Porowatość całkowita niektórych gleb. Objaśnienia jak na rys. 2

gęszczenia Kaczyńskiego (20), całe profile gleb utworzonych z glin zwałowych należy uznać za nadmiernie zagęszczone.

Porowatość ogólna badanych gleb utworzonych z glin zwałowych (rys. 3) jest bardzo niska, charakterystyczna dla poziomów iluwialnych o znacznym zagęszczeniu. Jedynie gleba czarnoziemna utworzona z lessu ma porowatość zadowalającą.

### Wnioski

W oparciu o przytoczony materiał z piśmiennictwa fachowego oraz badań własnych nasuwają się wnioski ogólne.

1. Z uwagi na to, że stan gęstości gleb ma duże znaczenie praktyczne

i teoretyczne, istnieje konieczność prowadzenia szczegółowych badań nad przebiegiem procesu zagęszczania w poszczególnych rodzajach i gatunkach gleb.

2. Konieczny jest rozwój badań metodycznych dla uzyskania parametrów najlepiej charakteryzujących stan fizyczny masy glebowej, w powiązaniu z wymogami roślin uprawnych.

3. Szczegółowego poznania wymaga wpływ nadmiernego stanu zagęszczenia gleb na kształtowanie się właściwości funkcjonalnych gleb jak: stosunków wodnych, pobierania składników pokarmowych, przewietrzania itp.

#### LITERATURA

1. Adams E. P., Blake G. R., Martin W. P., Boetler D. H.: Influence of soil compaction on plant growth and development. Trans. 7<sup>th</sup> Int. Congr. Soil Sc. Medison Wisc. I, s. 607—615, 1960.
2. Baver L. D.: Soil permeability in relation to non-capillary porosity. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 5, s. 52—56, 1938.
3. Baver L. D., Farnsworth R. B.: Soil structure effects in the growth of sugar beets. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 5, s. 45—48, 1940.
4. Bertrand A. R., Kohnke H.: Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 21, s. 135—140, 1957.
5. Bushnell J.: Sensitivity of potatoes to soil porosity. Ohio Agr. Exp. St. Tech. Res. Bul. 726, 1953.
6. Carlisle F. J., Knox E. G., Grossman R. B.: Fragipan horizons in New York Soils: p. I. General characteristics and distribution. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 27, s. 320—321, 1957.
7. Cieśla W., Wojtasik M.: Wpływ stopnia zagęszczenia gleb na plon buraków cukrowych. (w druku). Roczniki AR w Poznaniu.
8. Cieśla W., Wojtasik M.: Stan zagęszczenia gleb wytworzonych z glin zwałowych w województwie bydgoskim. (w druku). Roczniki AR w Poznaniu.
9. Cieśliński Z.: Wpływ głębokości orki na gospodarkę wodną gleb i plonowanie roślin uprawnych. Rolniczy Rejonowy Zakład Dośw. Minikowo, 1973.
10. Danielson R. E., Russell M. B.: Ion absorption by corn roots as influenced by moisture and aeration. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 21, s. 3—6, 1957.
11. De Roo H. C.: Deep tillage and root growth. The Conn. Agr. Exp. St. Bull. 644, 1961.
12. Flocker W. J., Vomocil J. A., Howard F. D.: Some growth responses of tomatoes to soil compaction. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 25, s. 188—191, 1959.
13. Flocker W. J., Lingle J. C., Vomocil J. A.: Influence of soil compaction on phosphorus absorption by tomato plants from applied phosphorus fertilizer. Soil Sc. Soc. Am. Proc., 88, s. 247—250, 1959.
14. Flocker W. J., Menary R. C.: Some physical responses in two tomato varieties associated with levels of soil bulk density. Hilgardia 30, s. 101—121, 1960.
15. Flocker W. J., Timm H., Vomocil J. A.: Effect of soil compaction on tomato and potato yields. Agr. Jour., 52, s. 345—348, 1969.

16. Fountaine E. R.: The physical requirements of plants as criteria for soil structure. Proc. Int. Symp. on Soil Structure. Chent, Belgia, 1958.
17. Gill W. R.: Annotated Bibliography on Soil Compaction. Am. Soil. Sc. Soc. and Agr. Ing. Soc., 1959.
18. Gill W. R., Vanden Berg G. E.: Soil Dynamics in Tillage and Traction. USDA Agric. Handb. Nr 316, 1968.
19. Hanks H. J.: Soil crusting and seedling emergence. Int. Congr. of Soil Sc. Madison Wisc. I., s. 340—346, 1960.
20. Kaczyński N. A.: Ocena osnovnych fizycznych swoistw poczw w agromicznych celach i ich prirodnego pładoradia po mechaniczskomu sostawu. Pocz. z. 5, s. 80—83, 1958.
21. Kapusta E.: Wpływ stopnia zagęszczenia gleby na wartość plonów ziemniaków i buraków cukrowych. Praca doktorska (niepublikowana). SGGW 1969.
22. Kołomiejec A. P.: Płotnost poczw i urażajność sacharnej świekły. Pocz. z. 1, s. 62—72, 1969.
23. Kowaczew D., Stoiniew K., Todorow F.: Izuczenije płotnosti poczw w zwiazii z woprosami obrabotki poczw w Bołgarii. Międzyn. Konf. Nauk., Warszawa, Olsztyn, Puławy, s. 49—60, 1972.
24. Lawton K.: The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrient by corn plants. Soil Sc. Soc. Am. Proc., 10, s. 263—268, 1947.
25. Lull H. W.: Soil compaction of forest and range lands. USDA — For. Serv., 1959.
26. Lutz J. F.: Mechanical impedance and plant growth. Soil Physical Conditions and Plant Growth vol. II. Ac. Press. New York, 1952.
27. Niewiadomski W.: Dorobek Polskiej Nauki z dziedziny uprawy roli po roku 1945 i spojrzenie w przyszłość. Międz. Konf. Nauk. Warszawa, Olsztyn, Puławy, s. 1—22, 1972.
28. Raney W. A., Edminister T. W., Allaway W. H.: Current status of reaserches in soil compaction. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 19, s. 423—428, 1953.
29. Richards S. J., Hagan R. M., Mc Calla T. M.: Soil temperature and plant growth. Soil Physical Conditions and Plant Growth. s. 303—480, Ac. Press. New York 1952.
30. Riewut J. B., Lebediew W. G., Abramow J. A.: Płotnost poczw i jego płodorodie. Sbornik trudow w Agr. Fiz., 10, s. 164—165, 1962.
31. Rosenberg N. J.: The effect of Compaction on the physical condition of several soils and on the growth of plants. Ph. D. thesis Rutgers University 1961 (praca nie publikowana).
32. Rosenberg N. J.: Response of plants to the physical effects of soil compaction —Adv. in Agr., vol. 16, Ac. Press, 1964.
33. Sienkiewicz L., Gonet I.: Wpływ ciężaru objętościowego na planowanie zbóż jarych. Międz. Konf. Nauk., Warszawa, Olsztyn, Puławy, 1972.
34. Słowik K.: Wpływ sztucznego zagęszczenia gleb na wzrost roślin i korzenienie się jabłoni. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 12, s. 307—312, 1971.
35. Słowik K., Soczek Z.: Wpływ różnego stopnia zagęszczenia gliny średniej na szybkość pobierania P<sup>32</sup> przez truskawki odmiany Regina. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 112, s. 313—316, 1971.
36. Smith F. W., Cook R. L.: The effect of soil aeration moisture and compaction on nitrification and oxidation and growth of sugar beets following corn and legumes on pot cultares. Soil Sc. Soc. Am. Proc., 11, s. 402—406, 1946.

37. Soil Survey Staff: Soil Classification a comprehensive system. USDA, 1960, Wash. DC.
38. Stolzy L. H., Letey J., Szuszkiewicz T. E. Lunt O. R.: Root growth and diffusion rate as functions of oxygen concentration. Soil. Sc. Soc. Am. Proc. 25, s. 463—467, 1961.
39. Śmierchalski L.: Wpływ zagęszczenia gleby na plonowanie niektórych roślin zbożowych i okopowych. Międz. Konf. Nauk. Warszawa, Olsztyn, Puławy, s. 23—38, 1972.
40. Tretiakov N. W., Iwanow W. K., Dorosienko G. A.: Ob optimalnoj płotnosti poczwy dla propasznych kultur. Izv. T.S.H.A., wyp. 2, s. 35—44, 1968.
41. Trzecki S., Kasztelan J.: Próba wyznaczania granicznych oporów gleby dla wschodów niektórych gatunków roślin uprawnych. Międz. Konf. Nauk., Warszawa, Olsztyn, Puławy, s. 69—79, 1972.
42. Veihmeyer F. J., Hendrickson A. H.: Soil density and root penetration. Soil Sc., 65, s. 487—493, 1948.
43. Veihmayer F. J., Hendrickson A. H.: Soil density as a factor in determining the permanent wilting percentage. Soil Sc., 62, s. 451—456, 1946.
44. Vetter H.: Ackerbauliche Probleme in Modernen Betrieb. Landw. For., 1968, 22 — Sonderheft.
45. Wasiliew A. M., Riewut J. B.: Płotnost poczwy i optymalnoje dla rosta sielskochaziajstwiennych rastienij na jużnych karbonatnych czarnoziomach celi-nogradzkoj obłasti. Hydr. i Strukt. Sbornik Trudow., 11, s. 95—102, 1965.
46. Weres S.: Wpływ ugniatającego działania kół ciągnika i ciężkich maszyn rolniczych na strukturę gleby i plonowanie roślin uprawnych. Masz. i Ciąg. Roln., 11, s. 313—316, 1964.
47. Winters E., Simonsen R. W.: The subsoil. Adv. in Agr. vol. III, s. 1—86, 1951.