

Aproksymacja niektórych właściwości powietrznych i wodnych gleb

Mieczysław Wojtasik Walter Wegner

Streszczenie. Na podstawie 123 krzywych pF ustalonych eksperymentalnie dla poszczególnych kategorii agronomicznych gleb, określono wielkości retencji użytecznej (ΔR w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) zależnie od odchyień ich gęstości aktualnej od naturalnej ($\Delta \rho$ w $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Związki te dotyczą tak warstw ornych (krzywe typu 1) jak i podornych (krzywe typu 2) badanych gleb. Nadto ustalono współczynniki liczbowe do formuł o postaci $\Delta R = a\Delta\rho^2 + b\Delta\rho + c$. Podano również standardowe wartości wilgotności gleb, przy najbardziej interesujących rolników i ekologów ich potencjałach wodnych (to jest przy pF 1.7, 2.0, 2.2, 2.4, 2.5). Ustalenia dotyczące retencji wodnej gleb mogą być przydatne w interpretacji zmian ich porowatości.

1. Wstęp

Prognozowanie procesów w środowisku glebowym i warunków rozwoju roślin opiera się na wynikach pomiarów właściwości gleb, będących niejednokrotnie drogimi i czasochłonnymi. Dlatego też poszukuje się ułatwień w postaci matematycznych modeli aproksymujących charakterystyczne wielkości. Można opisywać przykładowo podstawowe właściwości powietrzne i wodne gleb w oparciu o symulowane zależności potencjałów wody od jej zawartości, zwanych krzywymi pF. Według Kędziory [1] ta formuła ma postać

$$pF = a \left[\frac{w_0 - w}{w + c} \right]^b,$$

gdzie: w_0 - wilgotność gleby w stanie całkowitego nasycenia wodą $m^3 \cdot m^{-3}$,
 w - wilgotność aktualna gleby w $m^3 \cdot m^{-3}$. a , b , c - współczynniki liczbowe
 równania.

Zdaniem autorów [4] z wyżej wymienionej formuły można korzystać po uwzględnieniu kategorii agronomicznych gleb i wielkości odchyień ich gęstości aktualnej od naturalnej. W pracy przedstawiono formuły respektujące te uwarunkowania.

2. Materiały i metody

Próbki gleb o charakterystyce podanej w poprzedniej pracy autorów [4], pobrano w ośmiu seriach liczących średnio po 15 sztuk. Ilość serii uzależniono od kategorii agronomicznych gleb (bardzo lekkie, lekkie, średnie, ciężkie) i warstw ich profilu (orna, podorne). W oparciu o wyniki z doświadczeń laboratoryjnych sporządzono 123 krzywe pF, z czego 72 krzywe odnosiły się do warstw ornych, a 51 do podornych. Każda krzywa pF z poszczególnej serii odpowiadała innej gęstości aktualnej gleby. Z formuły Wojtasika [3] określono dla każdej serii wyników gęstość naturalną i przyporządkowano jej odpowiednią krzywą pF.

Dla gleb o naturalnej gęstości (z tolerancją $\pm 0.05 \text{ Mg } m^{-3}$) i określonej wilgotności w stanie całkowitego nasycenia wodą ($w_0 \pm 0.05 \text{ m}^3 \cdot m^{-3}$) obliczono pojemności wodne przy potencjałach pF 1.7, 2.0, 2.2, 2.4, 2.5 (tab. 1). Podano również wielkości retencji wody użytecznej w przedziałach pF 2.0 - 4.2 (tab. 2) i pF = 2.5 - 4.2 (tab.3) przy wybranych wartościach odchyień aktualnej gęstości od naturalnej ($\Delta\rho$) wynoszących ± 0.10 , 0.20, 0.30 oraz 0.0 $\text{Mg } m^{-3}$. Dla tych odchyień ustalono także wartości współczynników a , b , c do formuły na obliczenie retencji wodnej gleby (tab. 4, 5), a rezultaty tych obliczeń zilustrowano na rysunkach 1 a-h. Na pozostałych rysunkach (2a-h) przedstawiono całkowite kształty krzywych pF dla wybranych wartości $\Delta\rho$, z wyjątkiem wariantu $\pm 0.20 \text{ Mg } m^{-3}$.

3. Wyniki i dyskusja

Podane w tabeli 1 wilgotności gleb odpowiadające charakterystycznym potencjałom wodnym pF, nazywane są polowymi pojemnościami wodnymi. Odpowiadają one górnym pułapom wody użytecznej dla roślin w warunkach różnego reżimu wilgotnościowego. Potencjał wody przy $pF = 1.7$ jest odpowiednikiem położenia zwierciadła wody gruntowej około 50 cm poniżej powierzchni terenu, co stanowi optimum wilgotnościowe dla łąk o glebach torfowych. Z kolei $pF = 2.0$ wyraża optymalne uwilgotnienie dla gruntów ornych o wysokim poziomie wody gruntowej, zalegające na głębokości 100 cm. Wilgotność przy $pF = 2.2$ odpowiada głębokości zalegania wody na około 160 cm, a przy $pF = 2.4$ na 250 cm. Przy bardzo głębokim zaleganiu gruntów ornych w Polsce, zwłaszcza na Nizinie Wielkopolskiej) najodpowiedniejszym wyznacznikiem optymalnego uwilgotnienia jest stan przy $pF = 2.5$.

W praktyce rolniczej, ekologicznej i melioracyjnej często potrzebne są charakterystyki umożliwiające sporządzenie aktualnego lub przewidywanego bilansu wodnego gleby. W tym celu szczególnie przydatna jest znajomość retencji wody użytecznej dla roślin w przedziale $pF 2.0 - 4.2$ oraz $2.5 - 4.2$.

W zależności od przebiegu pogody, stanu agrotechniki, gatunku i odmiany uprawianej rośliny oraz innych czynników, gleba w okresie wegetacji roślin wykazuje różną gęstość, nie zawsze równą gęstości naturalnej określonej według formuły Wojtasika [3]. Im większe odchylenie aktualnej od naturalnej gęstości ($\Delta\rho$), tym mniejsza jest retencyjność wodna tej gleby, a zatem zdolność do akumulowania wody użytecznej (dostępnej) dla roślin. W przypadkach dużych odchyień w granicach $\pm 0.20 - 0.30 \text{ Mg m}^{-3}$, retencja wodna gleby może spadać w stosunku do maksymalnej wielkości nawet do 50 - 70%.

Z rysunków 2a - h wynika, że zmiany kształtu krzywych w najważniejszych przedziałach $pF 2.0 - 4.2$ i $2.5 - 4.2$ w istotnej mierze zależą od wartości $\Delta\rho$. Zarówno dla gleb spulchnionych mających gęstość aktualną mniejszą od naturalnej, jak i zagęszczonych (o relacjach odwrotnych), retencja wody użytecznej dla roślin maleje. Przy stanach większego uwilgotnienia, a więc przy potencjałach pF mniejszych od 2.0, prawidłowość ta zanika. Wtedy bowiem, im gleba bardziej pulchna tym większą ma pojemność wodną. Ponieważ stany dużego uwilgotnienia odpowiadające potencjałom wody mniejszym od $pF = 2.0$ zdarzają się bardzo rzadko, zwykle na krótko po wiosennych roztopach, poświęcono im w niniejszym opracowaniu znacznie mniej uwagi.

Formuły do obliczania retencji wodnej w przedziałach pF 2.0 – 4.2 i 2.5 – 4.2 w zależności od zmian gęstości $\Delta\rho$, ustalono dla poszczególnych kategorii agronomicznych gleb i typu krzywych (typ 1 – dla warstwy ornej, typ 2 – dla podornej). Ogólna ich postać przedstawia się następująco:

$$\Delta R = a\Delta\rho^2 + b\Delta\rho + c,$$

gdzie: ΔR – retencja wodna gleby w przedziale pF 2.0 – 4.2 lub 2.5 – 4.2 w $\text{m}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$, $\Delta\rho$ – odchylenie aktualnej gęstości gleby od naturalnej w Mg m^{-3} , a, b, c – współczynniki liczbowe równania, różne dla poszczególnych kategorii agronomicznych i typów krzywej pF.

Wartości współczynników a, b, c dla gęstości równych $\rho_n \pm 0.30 \text{ Mg m}^{-3}$ podano w tabelach 4 i 5.

Zagadnienia porowatości gleb możliwego do interpretacji na podstawie tych samych danych wyjściowych, nie rozwijano z uwagi na prostą zależność tej cechy od gęstości [2].

4. Wnioski

1. Podstawowe charakterystyki powietrzne i wodne gleb zmieniające się wraz z ich gęstością, można aproksymować za pomocą zależności wyznaczonych matematycznie.
2. Dla celów praktycznych można wyznaczać najważniejsze stany retencji wody w glebie bez stosowania skomplikowanych procedur laboratoryjnych.
3. Wraz ze wzrostem odchylenia aktualnej gęstości gleby od naturalnej, tak w kierunku spulchnienia jak i zagęszczenia, retencja wody użytecznej dla roślin wyraźnie spada.

PEDAGOGICAL UNIVERSITY
DEPARTMENT OF BIOLOGY
AND ENVIRONMENT PROTECTION
Bydgoszcz 85-064
Chodkiewicza 30
Poland

PEDAGOGICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF MATHEMATICS
Bydgoszcz 85-064
Chodkiewicza 30
Poland

References

- [1] Kędziora A., *Metoda wyznaczania i związku krzywej pF z fizykowodnymi cechami utworu glebowego*. Roczn. AR w Poznaniu 1984, 114, 112.
- [2] Wojtasik M., *Stan zagęszczenia gleb wytworzonych z glin zwałowych*. Praca doktorska. ATR Bydgoszcz 1978.
- [3] Wojtasik M., *Znaczenie naturalnej gęstości gleby w ocenie retencji wody użytecznej dla roślin*. *Fragm. Agron.* 1988, 2, 59 – 70.
- [4] Wojtasik M., Wegner W., *Uproszczenia w charakterystyce stanów wodnych i powietrznych gleb za pomocą krzywych pF*. *Zeszyty Przyrodnicze WSP Bydgoszcz* (w druku).

Tabela 1

Wilgotność gleby w $m^3 m^{-3}$ przy pF 1.7, 2.0, 2.2, 2.4, 2.5
i przy $\Delta\rho = 0 \pm 0.05 Mg m^3$

Kategoria agronomiczna gleby	Typ krzywej pF	$w_0 \pm 0.05$ $m^3 m^{-3}$	pF				
			1.7	2.0	2.2	2.4	2.5
gleba b.lekka	1	0.409	0.265	0.220	0.195	0.170	0.164
	2	0.336	0.198	0.150	0.127	0.109	0.100
gleba lekka	1	0.457	0.248	0.192	0.175	0.154	0.142
	2	0.346	0.239	0.198	0.168	0.144	0.133
gleba średnia	1	0.433	0.337	0.295	0.277	0.260	0.250
	2	0.308	0.286	0.280	0.260	0.243	0.235
gleba ciężka	1	0.557	0.518	0.512	0.496	0.480	0.472
	2	0.574	0.519	0.500	0.486	0.471	0.465

1 — krzywa pF dla warstw ornych gleb

2 — krzywa pF dla warstw podornych

Tabela 2

Retencja wody użytecznej (w m^3m^{-3}) w przedziale pF 2.0 ÷ 4.2 w glebach przy różnych odchyleniach gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta\rho$)

Kategoria agronomiczna gleby	Typ krzywej	$\Delta\rho$ (w $Mg m^{-3}$)							$w_0 \pm 0.05$
		-0.30	-0.20	-0.10	0.00	+0.10	+0.20	+0.30	
gleba b.lekka	1	0.075	0.100	0.150	0.165	0.160	0.140	0.105	0.409
	2	0.050	0.070	0.090	0.110	0.100	0.080	0.060	0.336
gleba lekka	1	0.080	0.110	0.130	0.140	0.120	0.090	0.070	0.457
	2	0.075	0.100	0.135	0.155	0.140	0.110	0.080	0.346
gleba średnia	1	0.050	0.110	0.160	0.170	0.155	0.105	0.040	0.433
	2	0.075	0.095	0.100	0.110	0.095	0.080	0.060	0.308
gleba ciężka	1	0.080	0.120	0.140	0.160	0.130	0.100	0.080	0.557
	2	0.065	0.085	0.125	0.135	0.125	0.075	0.060	0.574

1 — krzywa pF dla warstw ornych gleb

2 — krzywa pF dla warstw podornych

Tabela 3

Retencja wody użytecznej (w $m^3 m^{-3}$) w przedziale pF 2.5 ÷ 4.2 w glebach przy różnych odchyleniach gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta\rho$)

Kategoria agronomiczna gleby	Typ krzywej	$\Delta\rho$ (w $Mg m^{-3}$)							$w_0 \pm 0.05$
		-0.30	-0.20	-0.10	0.00	+0.10	+0.20	+0.30	
gleba b.lekka	1	0.025	0.060	0.095	0.110	0.100	0.070	0.035	0.409
	2	0.010	0.030	0.050	0.060	0.040	0.020	0.010	0.336
gleba lekka	1	0.040	0.050	0.080	0.090	0.080	0.060	0.040	0.457
	2	0.050	0.070	0.080	0.090	0.080	0.070	0.065	0.346
gleba średnia	1	0.010	0.065	0.105	0.125	0.105	0.070	0.010	0.433
	2	0.020	0.035	0.050	0.065	0.060	0.040	0.030	0.308
gleba ciężka	1	0.050	0.070	0.090	0.120	0.100	0.080	0.045	0.557
	2	0.010	0.045	0.075	0.100	0.080	0.050	0.020	0.574

1 — krzywa pF dla warstw ornych gleb

2 — krzywa pF dla warstw podornych

Tabela 4

Relacje między różnymi odchyleniami gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta\rho$) a retencją wody użytecznej (w $m^3 m^{-3}$) w przedziale pF 2.0 ± 4.2 dla różnych kategorii gleb

Kategoria agronomiczna gleby	Typ krzywej pF	$\Delta R = a\Delta\rho^2 + b\Delta\rho + c$		
		a	b	c
gleba b.lekka	1	-0.821	+0.064	+0.161
	2	-0.548	+0.021	+0.102
gleba lekka	1	-0.667	-0.029	+0.132
	2	-0.798	+0.014	+0.145
gleba średnia	1	-1.399	-0.016	+0.169
	2	-0.417	-0.029	+0.105
gleba ciężka	1	-0.774	-0.018	+0.147
	2	-0.792	-0.012	+0.127

1 — krzywa pF dla warstw ornych gleb

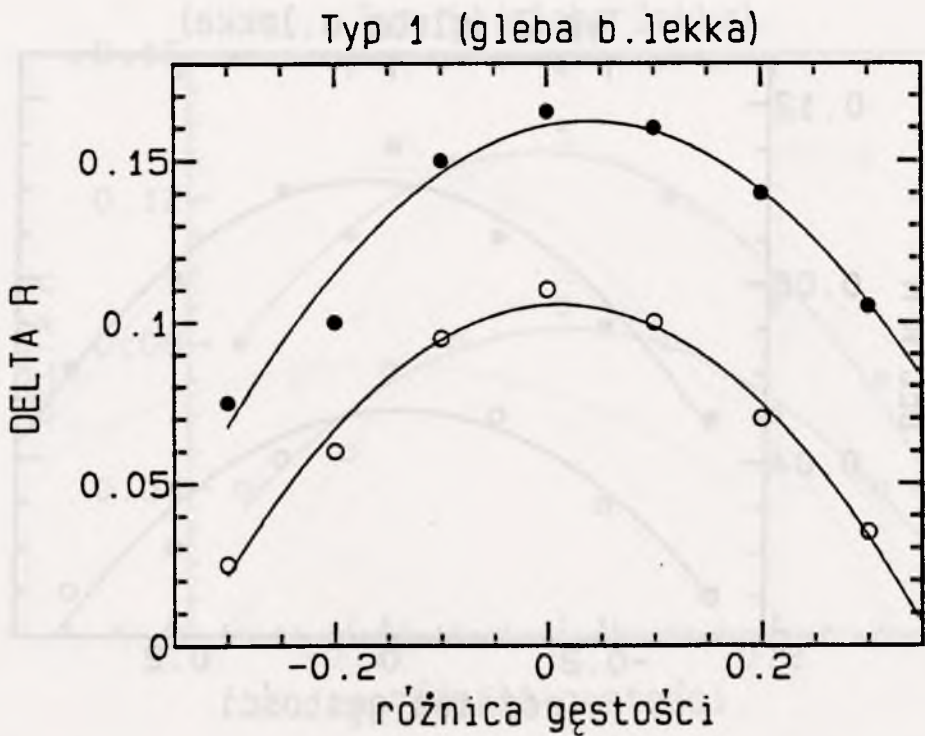
2 — krzywa pF dla warstw podornych

Tabela 5

Relacje między różnymi odchyleniami gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta\rho$) a retencją wody użytecznej (w $m^3 m^{-3}$) w przedziale pF 2.5 ± 4.2 dla różnych kategorii gleb

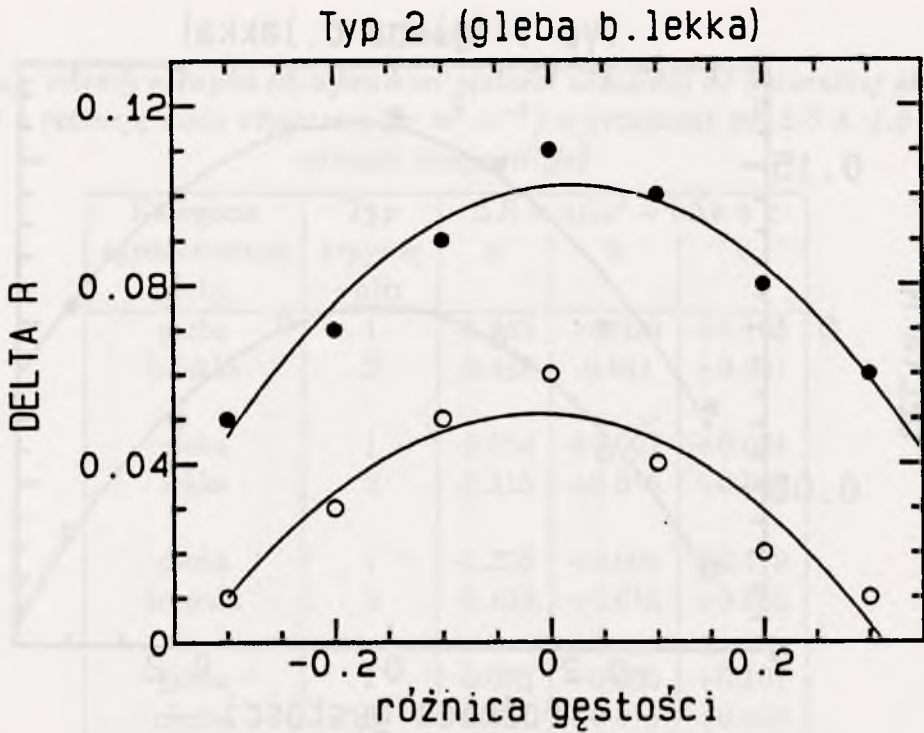
Kategoria agronomiczna gleby	Typ krzywej pF	$\Delta R = a\Delta\rho^2 + b\Delta\rho + c$		
		a	b	c
gleba b.lekka	1	-0.863	+0.020	+0.105
	2	-0.488	-0.011	+0.051
gleba lekka	1	-0.524	+0.007	+0.084
	2	-0.315	+0.016	+0.085
gleba średnia	1	-1.226	+0.004	+0.119
	2	-0.405	+0.018	+0.059
gleba ciężka	1	-0.685	+0.005	+0.107
	2	-0.851	+0.016	+0.088

- 1 — krzywa pF dla warstw ornych gleb
 2 — krzywa pF dla warstw podornych



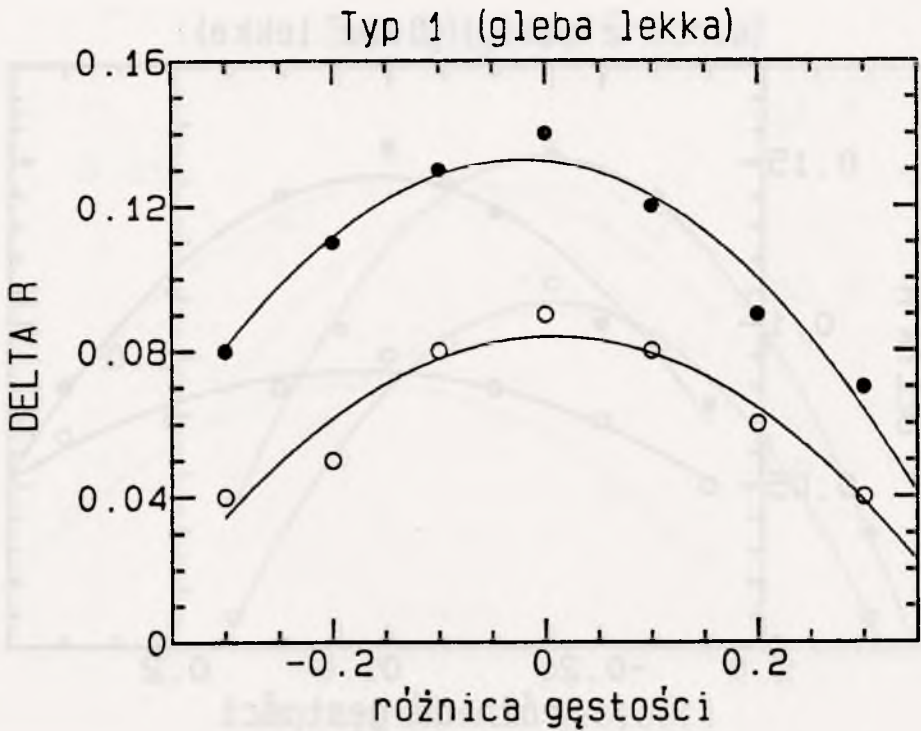
Rysunek 1 a.

Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchyień gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta\rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami zapelnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapelnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.



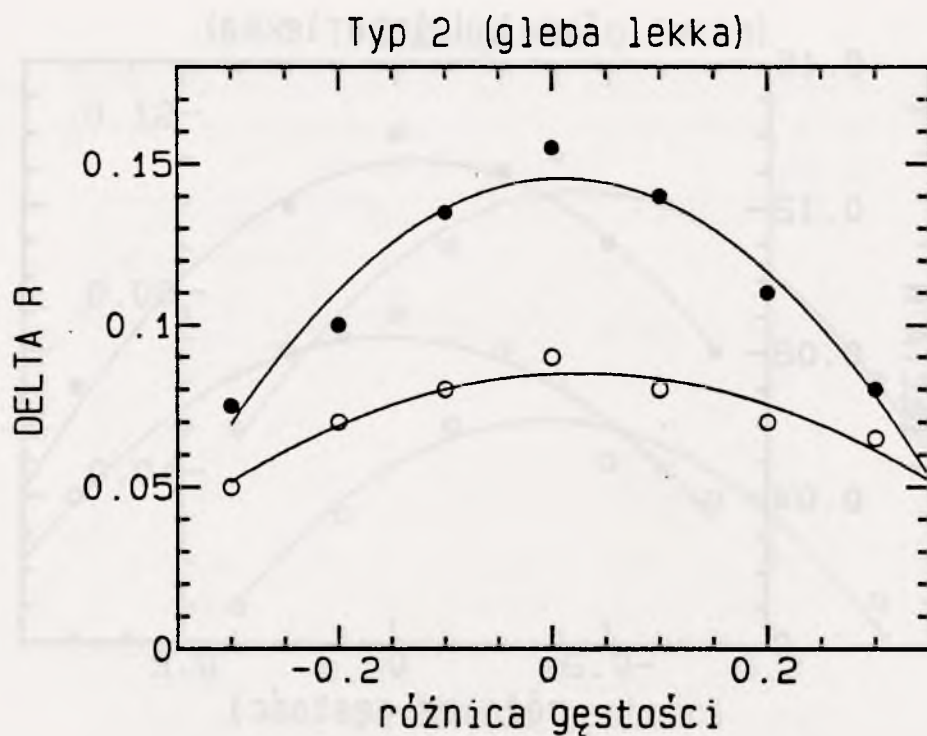
Rysunek 1 b.

Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchyień gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta \rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami zapełnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapełnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.



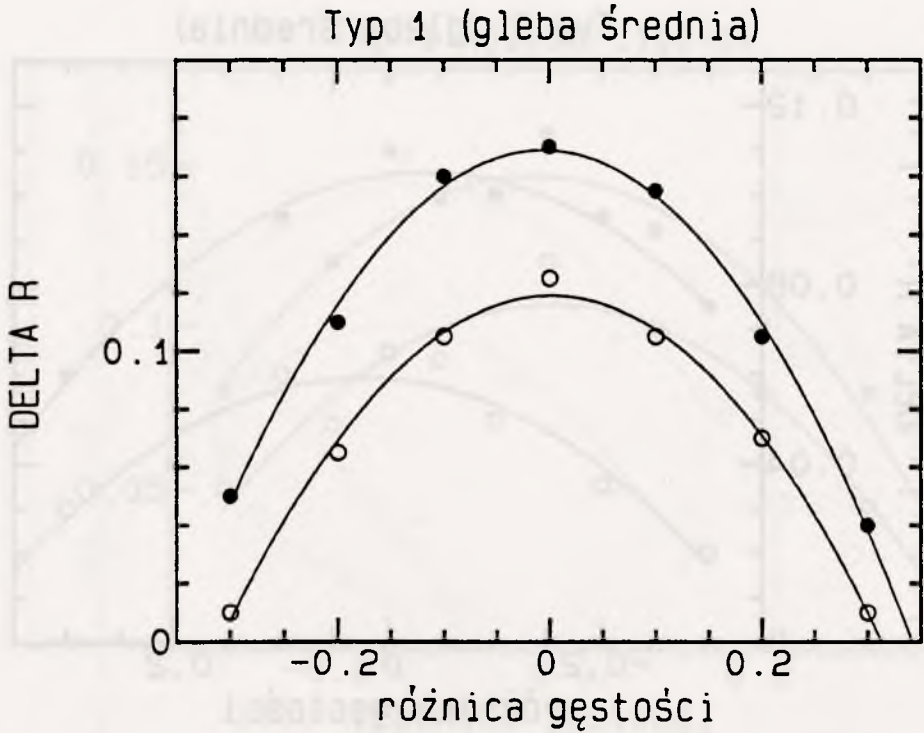
Rysunek 1 c.

Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchyżeń gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta \rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapełnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.



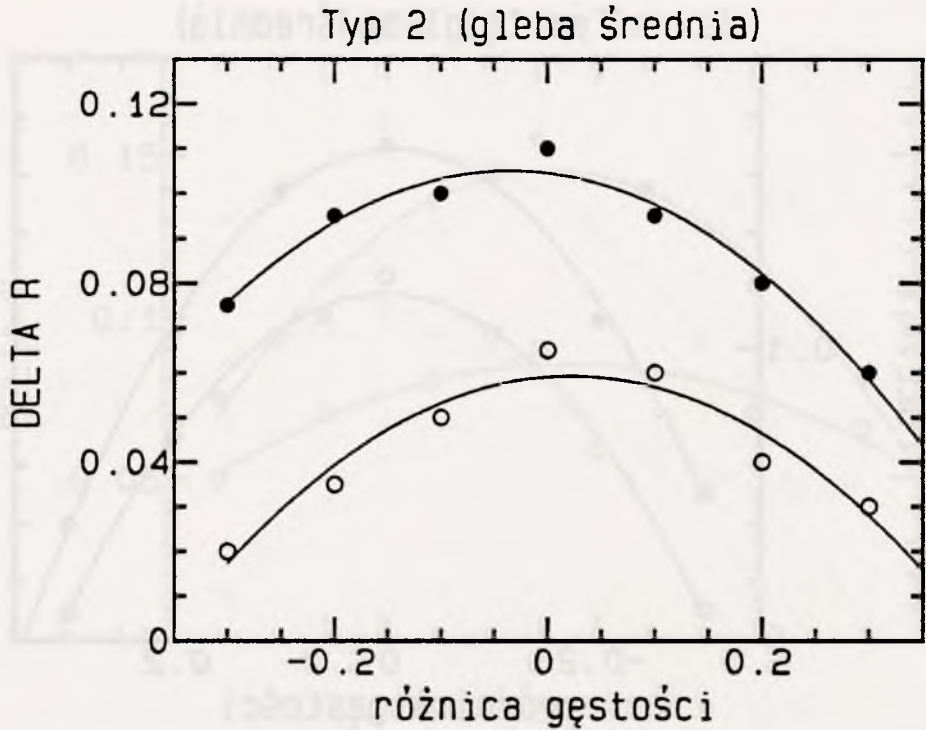
Rysunek 1 d.

Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchylen gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta\rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapełnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.



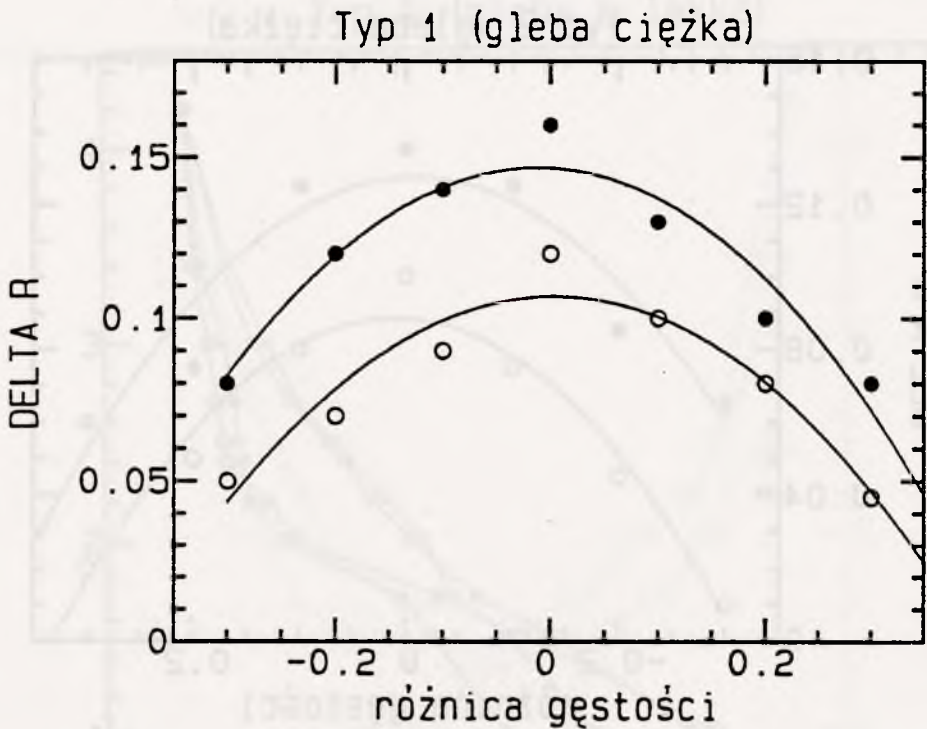
Rysunek 1 e.

Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchylenia gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta \rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami zapełnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapełnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.



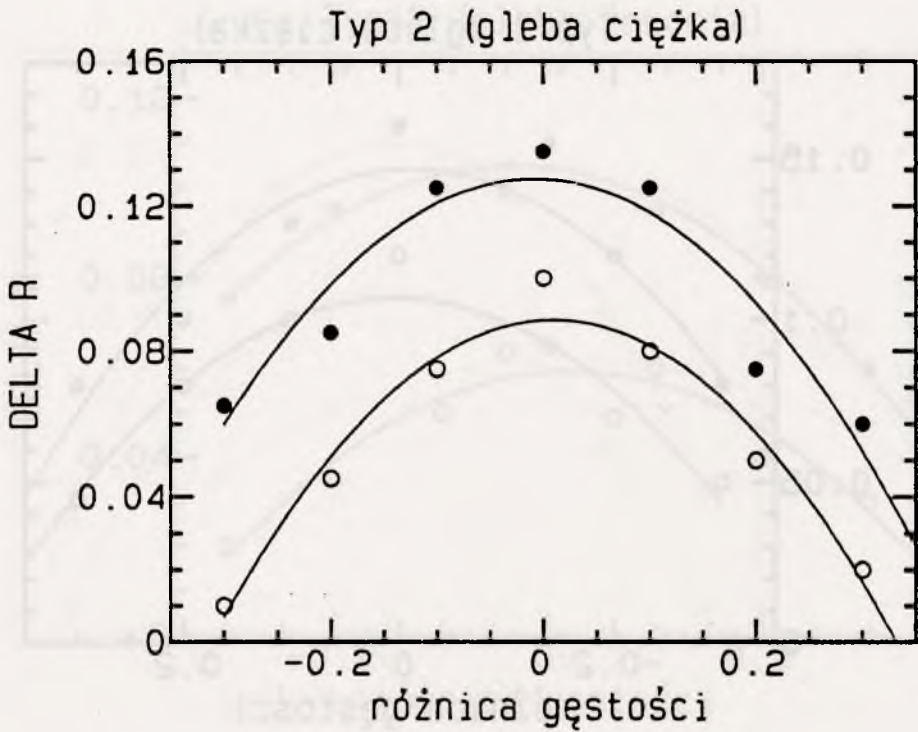
Rysunek 1 f.

Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchyień gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta\rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapełnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.



Rysunek 1 g.

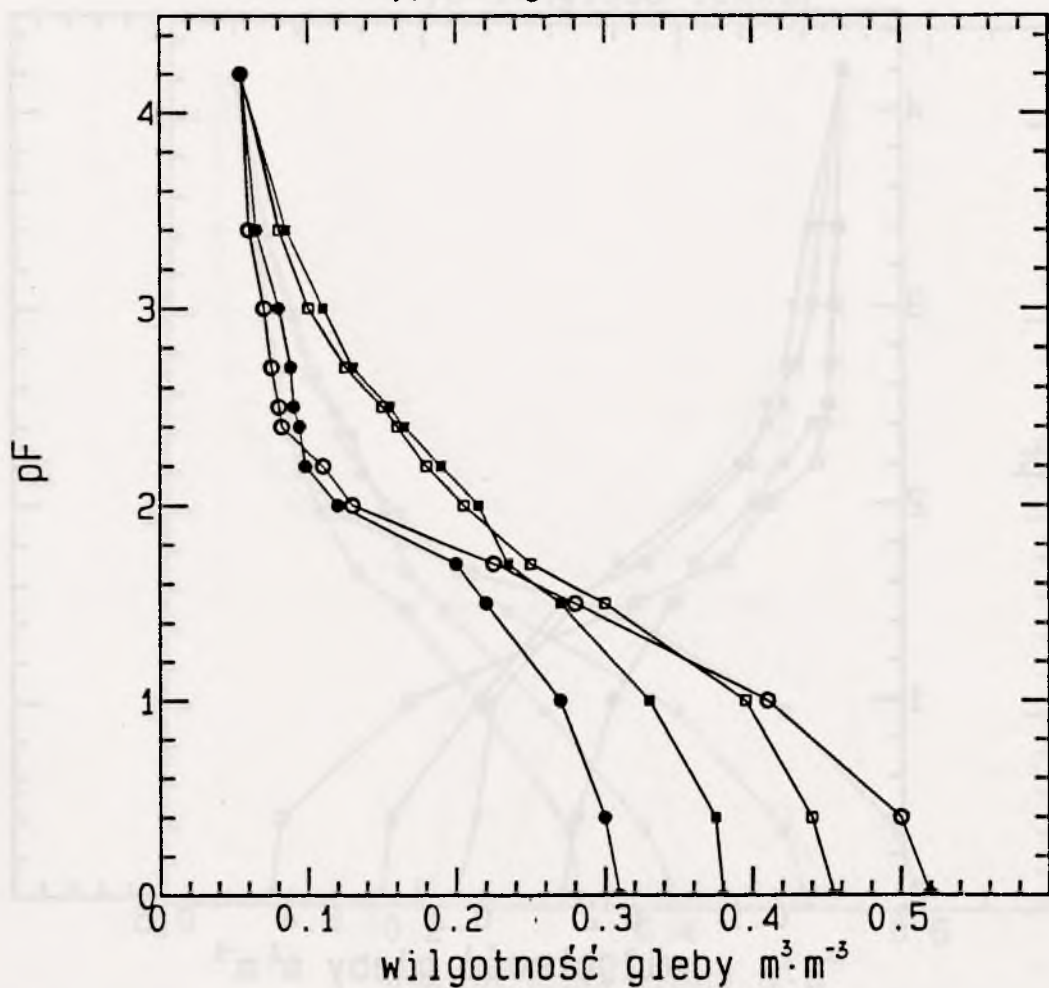
Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchyień gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta \rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapełnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.



Rysunek 1 h.

Przyrosty retencji wody użytecznej dla roślin (ΔR - w $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w zależności od odchyień gęstości aktualnej od naturalnej gleby ($\Delta \rho$ - w Mg m^{-3}). Krzywe oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą uśrednionych wartości ΔR w przedziale pF 2.0 - 4.2, a krzywe oznaczone kółkami niezapełnionymi w przedziale 2.5 - 4.2.

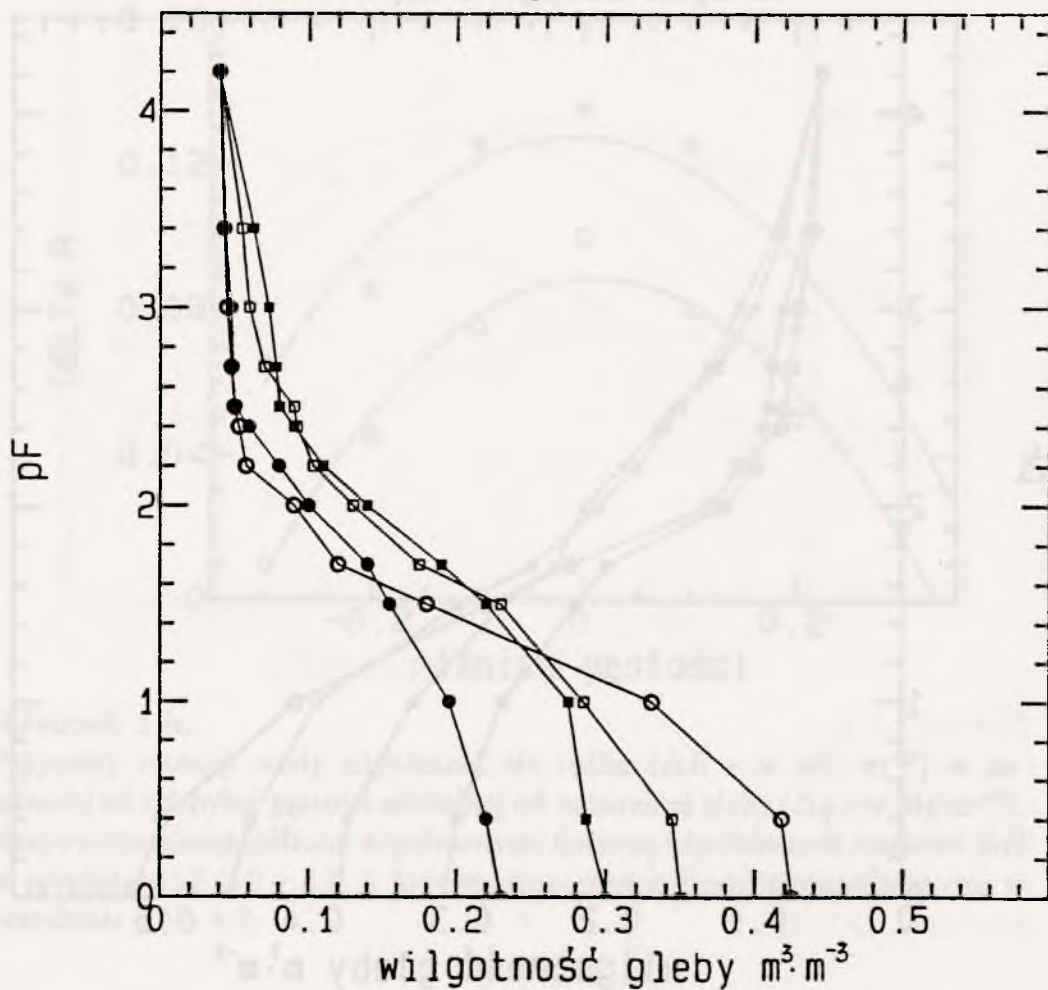
Typ 1 (gleba b.lekka)



Rysunek 2 a.

Krzywe pF dla warstw ornych gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości + 0.10, a kwadracikami niezapełnionymi - 0.10 $Mg\ m^{-3}$. Krzywe oznaczone kółkami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości +0.30, a kółkami niezapełnionymi -0.30 $Mg\ m^{-3}$.

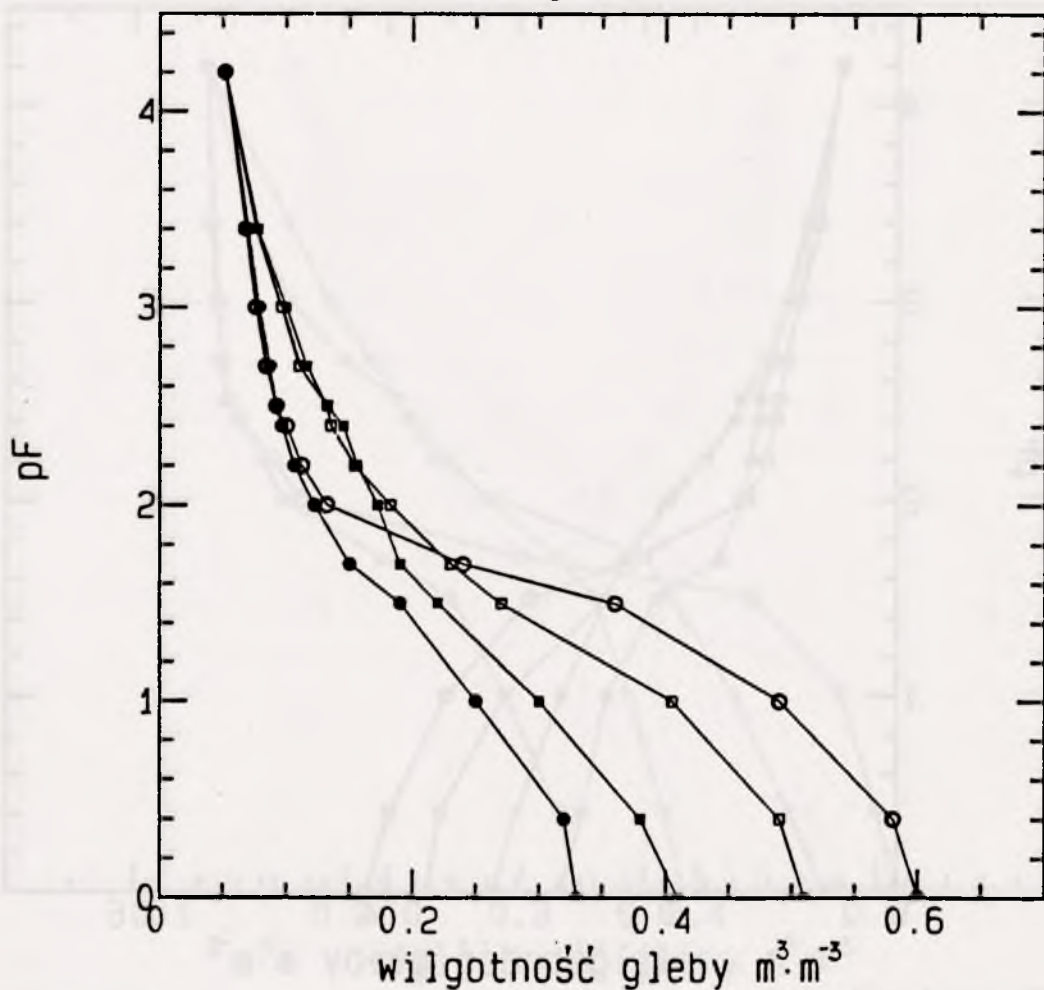
Typ 2 (gleba b.lekka)



Rysunek 2 b.

Krzywe pF dla warstw ornich gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami wypełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości + 0.10, a kwadracikami niezapełnionymi - 0.10 Mg m⁻³. Krzywe oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości +0.30, a kółkami niezapełnionymi -0.30 Mg m⁻³.

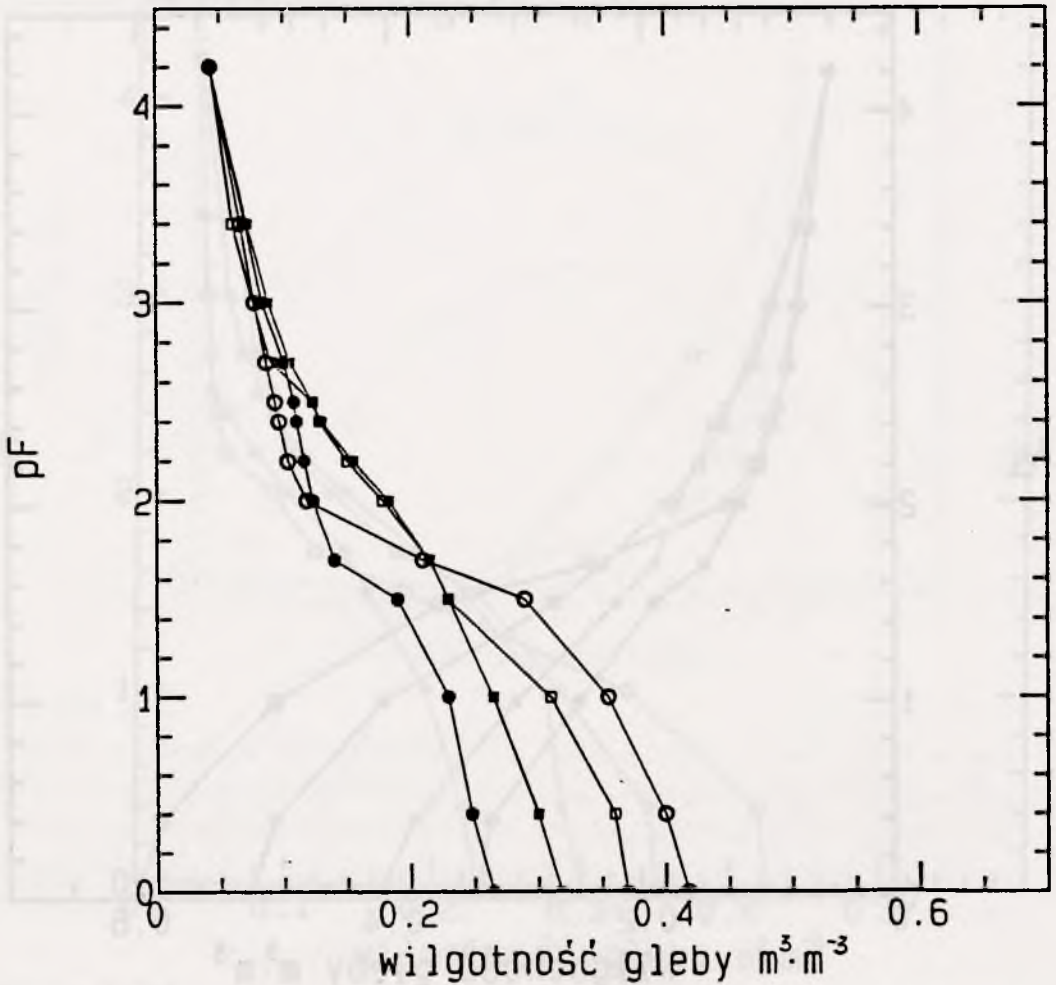
Typ 1 (gleba lekka)



Rysunek 2 c.

Krzywe pF dla warstw ornich gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami wypełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.10$, a kwadracikami niezapełnionymi -0.10 Mg m^{-3} . Krzywę oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.30$, a kółkami niezapełnionymi -0.30 Mg m^{-3} .

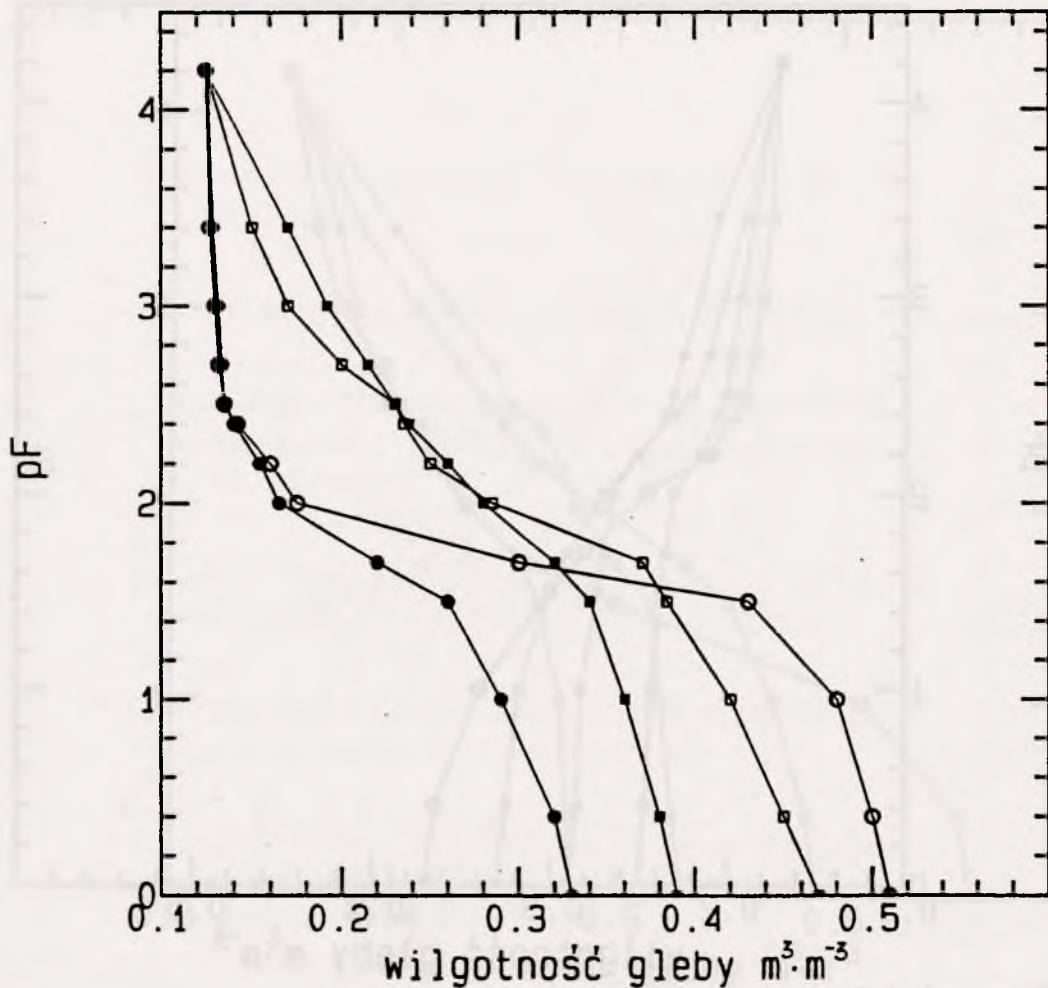
Typ 2 (gleba lekka)



Rysunek 2 d.

Krzywe pF dla warstw ornych gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości + 0.10, a kwadracikami niezapełnionymi - 0.10 Mg m⁻³. Krzywe oznaczone kółkami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości +0.30, a kółkami niezapełnionymi -0.30 Mg m⁻³.

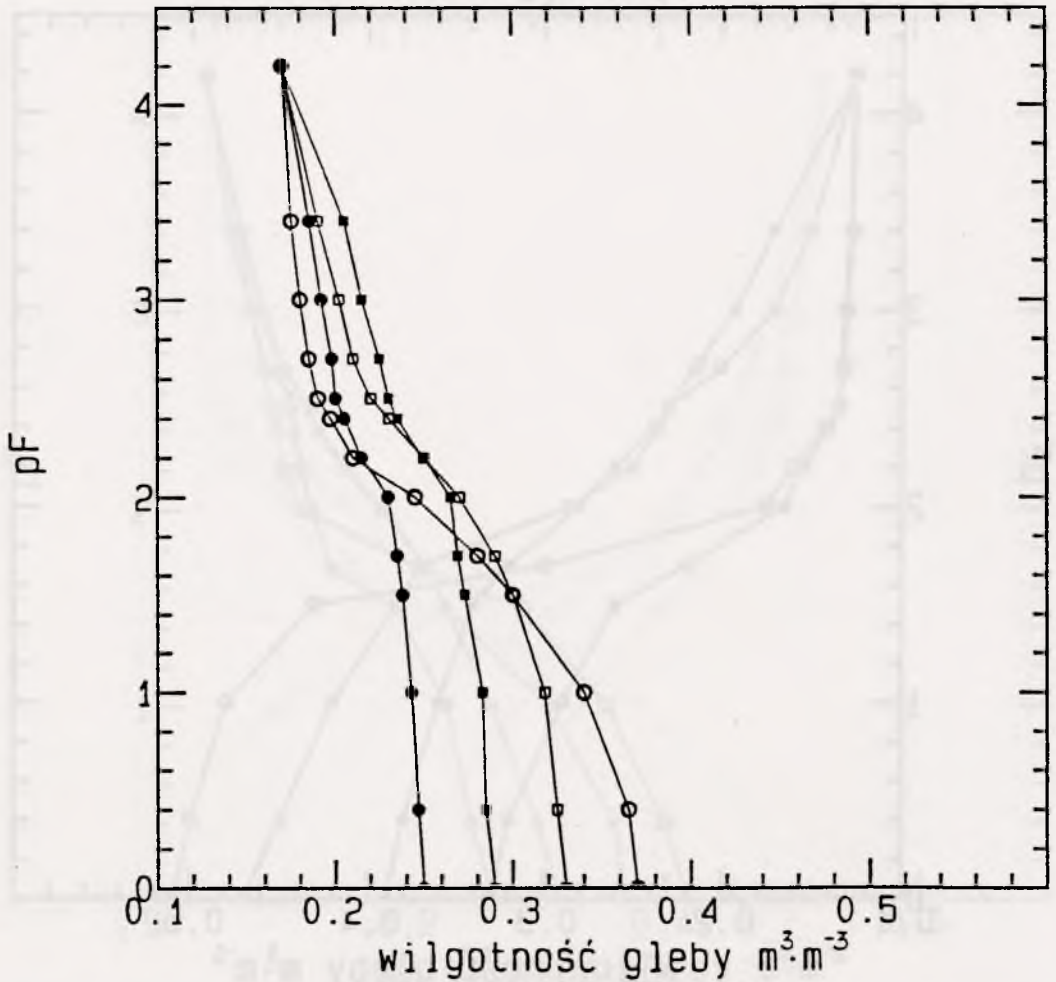
Typ 1 (gleba średnia)



Rysunek 2 e.

Krzywe pF dla warstw ornych gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami wypełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.10$, a kwadracikami niezapełnionymi -0.10 $Mg\ m^{-3}$. Krzywe oznaczone kółkami wypełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.30$, a kółkami niezapełnionymi -0.30 $Mg\ m^{-3}$.

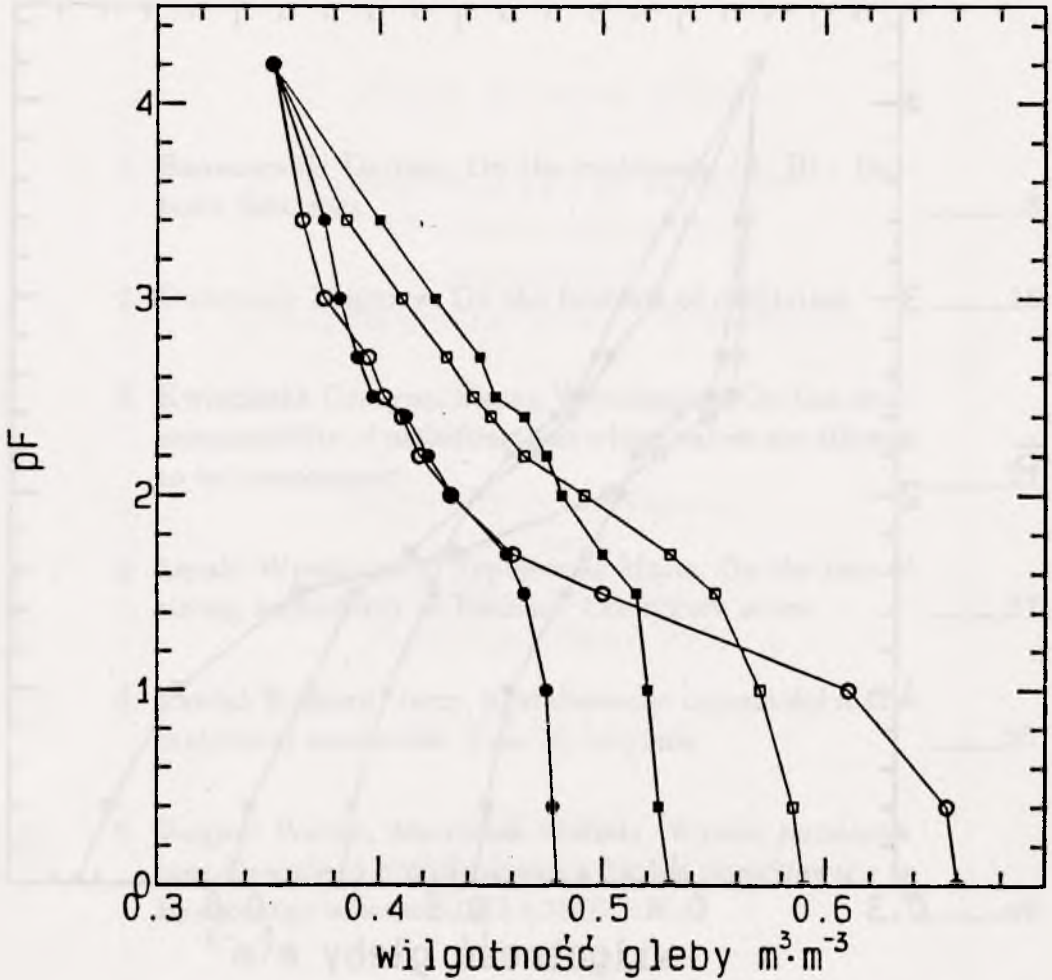
Typ 2 (gleba średnia)



Rysunek 2 f.

Krzywe pF dla warstw ornych gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami zapelnionymi dotyczą $\Delta \rho$ o wielkości + 0.10, a kwadracikami niezapelnionymi - 0.10 $Mg m^{-3}$. Krzywe oznaczone kólkami zapelnionymi dotyczą $\Delta \rho$ o wielkości +0.30, a kólkami niezapelnionymi -0.30 $Mg m^{-3}$.

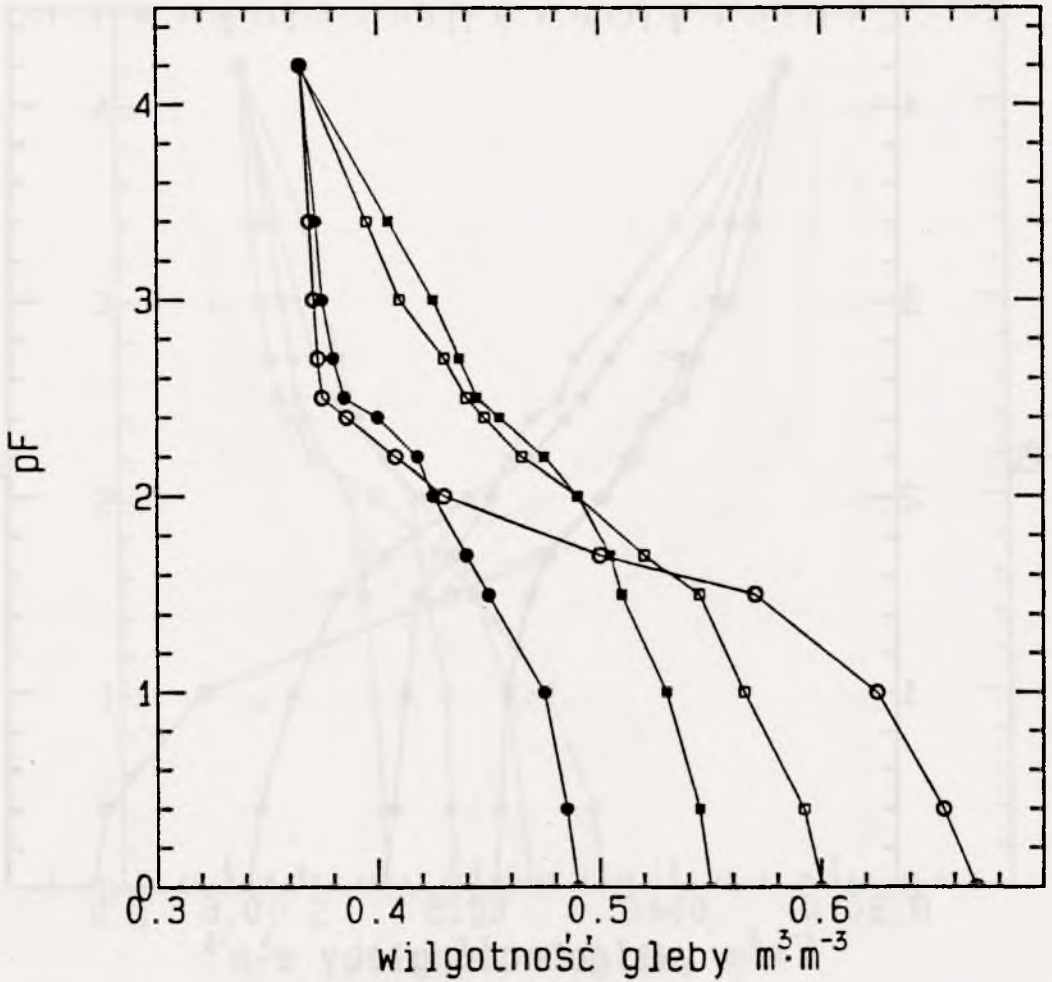
Typ 1 (gleba ciężka)



Rysunek 2 g.

Krzywe pF dla warstw ornych gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.10$, a kwadracikami niezapełnionymi -0.10 Mg m^{-3} . Krzywe oznaczone kółkami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.30$, a kółkami niezapełnionymi -0.30 Mg m^{-3} .

Typ 2 (gleba ciężka)



Rysunek 2 h.

Krzywe pF dla warstw ornych gleb poszczególnych kategorii agronomicznych (typu 1) i podornych (typu 2). Krzywe oznaczone kwadracikami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.10$, a kwadracikami niezapełnionymi -0.10 Mg m^{-3} . Krzywe oznaczone kółkami zapełnionymi dotyczą $\Delta\rho$ o wielkości $+0.30$, a kółkami niezapełnionymi -0.30 Mg m^{-3} .