ZESZYTY PROBLEMOWE POSTĘPÓW NAUK ROLNICZYCH 2002 z. 485: 307–320

WPŁYW DŁUGOŚCI OKRESU UŻYTKOWANIA NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE WEŁNY MINERALNEJ O ZRÓŻNICOWANEJ TEKSTURZE

Agnieszka Stępowska

Zakład Agrotechniki, Instytut Warzywnictwa w Skierniewicach

Wstęp

Określenie właściwości podłoża i zmian jakim ono podlega w trakcie użytkowania, jest podstawą prawidłowego nawadniania oraz nawożenia roślin i umożliwia sterowanie ich wzrostem i rozwojem. W literaturze znajdują się jednak tylko fragmentaryczne dane dotyczące niektórych właściwości wełny mineralnej, oznaczonych głównie przez VERWERA [1976, 1978] oraz KIPPA i WEVERA [1993]. Brak metodyki pozwalającej na precyzyjne określenie właściwości fizycznych w materiale tak różnym od naturalnych utworów glebowych jak wełna mineralna, skłonił autorkę do próby przystosowania do tego celu, metod używanych w gleboznawstwie [DOBRZAŃSKI, ZAWADZKI 1981; RADECKI, NIEMCZYK 1988]. Wełna mineralna tak samo jak materiały sypkie składa się z fazy stałej, płynnej i gazowej. Podstawowe parametry fizyczne podłoża można więc oznaczyć analogicznie. Struktura włóknista utrudnia jednak bezpośrednie oznaczenie wielu cech, dlatego posłużono się wzorami matematycznymi w celu ich obliczenia dla ustalenia optymalnych warunków powietrzno-wodnych i ich wpływu na rośliny. W celu poznawczym, zdaniem GABRIELSA i in. [1993], można bowiem zastosować każdą metodę o ile nie ma podstaw do jej wyeliminowania.

Materiał i metody

W latach 1994–1997 badano właściwości fizyczne wełny mineralnej świeżo wyprodukowanej oraz po jednym i dwóch cyklach uprawy papryki słodkiej w szklarni. Uprawę papryki odmiany Bendigo F_1 prowadzono zgodnie z metodyką opracowaną przez STĘPOWSKĄ [1994, 2001].

Zastosowano następujące rodzaje świeżych płyt z wełny mineralnej:

- o poziomym ułożeniu włókien i gęstości 0,1 g·cm^{-3}, tzw. „płyta twarda" (H 0,1)[1];

[1] Symbol H oznacza poziome (horyzontalne) ułożenie włókien (ang. horizontal).

- o poziomym ułożeniu włókien i gęstości 0,07 g·cm^{-3} (H 0,07);
- o poziomym ułożeniu włókien i gęstości 0,004 g·cm^{-3}, tzw. „płyta miękka" (H 0,04);
- o pionowym ułożeniu włókien i gęstości 0,1 g·cm^{-3}, tzw. „płyta twarda" (V 0,1)[2];
- o pionowym ułożeniu włókien i gęstości 0,07 g·cm^{-3}, (V 0.07);
- o pionowym ułożeniu włókien i gęstości 0,04 g·cm^{-3}, tzw. „płyta miękka" (V 0,04).

Nowe płyty H 0,1 i H 0,07 miały objętość 15 dm^3, pozostałe – 11,25 dm^3. Zamieszczone wyniki są średnimi uzyskanymi w całym okresie badań. Metodą suszarkowo-wagową oznaczono masę podłoża G i zawartość w nim wody w różnych stanach wilgotności, dla próby o objętości 750 cm^3 (10 cm x 10 cm x 7,5 cm). W ten sposób określono masę fazy stałej G_s. Objętość fazy stałej V_s zmierzono metodą objętościową (metoda alkocholowa) w próbie o objętości 750 cm^3. Wartości oznaczone dla próby o objętości 750 cm^3 przeliczono na objętość całej płyty jako jednostki uprawowej.

Objętość podłoża V oznaczono objętościowo z wyporu wody, dla całej płyty. W tym celu płyty były owijane folią kurczliwą i zanurzane w wyskalowanym pojemniku z wodą. Wartości podano w centymetrach sześciennych. Ze względu na niewielką plastyczność płyty pod wpływem wilgoci przyjęto, że w różnych stanach wilgotności objętość płyt nie ulega zmianie.

Wartości dla pozostałych właściwości fizycznych wyliczono ze wzorów matematycznych wg DOBRZAŃSKIEGO i ZAWADZKIEGO [1981]. Obliczono gęstość fazy stałej (gęstość właściwą podłoża γ, gęstość podłoża w stanie suchym γ_{OS}, oraz w stanie aktualnej wilgotności γ_{OC}, tj. gęstość naturalną γ_{OSn} (w stanie powietrznie suchej masy, tj. dla G_0 przy wilgotności powietrza ~ 70% i temperaturze 20–22°C), gęstość polową γ_{OCp} (w stanie polowej wilgotności podłoża, tj. dla G_1), gęstość maksymalna γ_{OCmax} (w stanie nasycenia podłoża wodą, tj. dla G_2). Wartości dla gęstości podano w g·cm^{-3}. Obliczono także wilgotność naturalną W_n, wilgotność polową W_p i wilgotność maksymalną W_{max} (w procentach wagowych). W procentach objętościowych podano obliczone wartości dla porowatości ogólnej P_O oraz pojemności wodnej w odniesieniu do wody kapilarnej właściwej (KPW), kapilarnej właściwej i przywierającej (PPW – polowa pojemność wodna), kapilarnej i wolnej (NPW, tj. nasycona czyli maksymalna pojemność wodna). Dla wełny w różnych stanach wilgotności określono również stopień wilgotności Sw (w liczbach bezwzględnych 0–1).

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji dla dwuczynnikowego układu zależnego. Istotność różnic między średnimi określono przy pomocy testu t-Studenta na poziomie istotności $\alpha = 0{,}05$.

Wyniki i dyskusja

Jako świeże podłoże uprawowe wykorzystuje się najczęściej wełnę mineralną o gęstości w stanie suchym od 0,04 g·cm^{-3} do 0,1 g·cm^{-3}. Prezentowane w niniejszej pracy wyniki dotyczące właściwości fizycznych świeżej wełny są podobne

[2] Symbol V oznacza pionowe (wertykalne) ułożenie włókien (ang. vertical).

do uzyskanych przez VERWERA [1976, 1978], VAN OSA [1981], BOERTIJE i LEIN-VAN DIJK [1984], SONNEVELDA [1991] oraz DYŚKO i KANISZEWSKIEGO [1996]. W przypadku wełny wykorzystywanej powtórnie nie mają one skali porównawczej, ponieważ w literaturze brak jest wyników badań na ten temat. NELSON i FONTENO [1991] wykazali, że plonowanie roślin zależało od kierunku ułożenia włókien, ale nie brali pod uwagę gęstości wełny, dlatego w dwóch kolejnych okresach uprawowych testowano obie wersje włóknistości – poziomą i pionową dla każdego rodzaju wełny.

Badane podłoża z wełny mineralnej, w trakcie ich dwuletniego użytkowania ulegały osiadaniu lub rozwarstwianiu w zależności od kierunku ułożenia włókien. Zmianie ulegała grubość i szerokość płyt, a w związku z tym ich objętość oraz właściwości fizyczne.

Tabela 1; Table 1

Podstawowe cechy fizyczne, różnych rodzajów płyt z wełny mineralnej, po kolejnych okresach użytkowania

The basic physical properties of different kinds of fresh and reused rockwool Skierniewice 1994–1997

Rodzaj płyty z wełny mineralnej (gęstość wyjściowa) Type of rockwool slabs (available bulk density)	Okres użytkowania Period of using	Cechy fizyczne płyt z wełny mineralnej Physical properties of rockwool slabs		
		objętość płyty slab capacity V (cm^3)	objętość fazy stałej capacity of solid phase V_s (cm^3)	masa fazy stałej weight of solid phase G_s (g)
H 0,1 (0,1 $g \cdot cm^{-3}$)	0	15000	953	1494
	I	16050	1281	1614
	II	15564	1097	1493
H 0,07 (0,07 $g \cdot cm^{-3}$)	0	15000	685	1105
	I	13275	1033	1240
	II	12177	998	1188
H 0,04 (0,04 $g \cdot cm^{-3}$)	0	11250	283	466
	I	8075	603	699
	II	9805	521	702
V 0,1 (0,1 $g \cdot cm^{-3}$)	0	11250	732	1062
	I	11225	977	1192
	II	10700	950	1168
V 0,07 (0,07 $g \cdot cm^{-3}$)	0	11250	475	766
	I	12025	579	679
	II	9453	476	673
V 0,04 (0,04 $g \cdot cm^{-3}$)	0	11250	280	458
	I	9350	423	491
	II	9103	398	484
$NIR_{0,05}$; $LSD_{0,05}$ A(B)		217	83	33
B(A)		209	82	36

W tabeli 1 podano podstawowe cechy fizyczne badanych rodzajów podłoży po kolejnych okresach ich użytkowania. W płytach wełny o włóknach poziomych, faza stała miała większą objętość (V_s) i masę (G_s) niż w wełnie o włóknistości

pionowej. Objętość (V) większości badanych rodzajów płyt z wełny mineralnej malała w trakcie ich dwuletniego użytkowania. Zwiększenie objętości płyty po I cyklu uprawy zanotowano, w przypadku podłoża o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,01 g·cm^{-3} (H 0,1) oraz wełny o włóknach pionowych i gęstości 0,07 g·cm^{-3} (V 0,07). Po II cyklu wzrosła tylko objętość płyt o poziomej włóknistości i gęstości 0,04 g·cm^{-3} (H 0,04). Objętość fazy stałej (V_s), w przeliczeniu na płytę jako jednostkę uprawową, wzrastała w pierwszym cyklu uprawy, a następnie zmniejszała się, zawsze jednak osiągając wartość wyższą niż w stanie wyjściowym (tab. 2). Masa fazy stałej (G_s) większości płyt z wełny mineralnej, wzrastała w I cyklu uprawy. Wyjątek stanowiła płyta o pionowych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} (V 0,07). W drugim cyklu uprawy, masa fazy stałej w badanych, trzech rodzajach płyt o pionowej włóknistości (V 0,1; V 0,07; V 0,04) i „ miękkiej" wełnie o włóknach poziomych (H 0,04) była na zbliżonym poziomie co w cyklu pierwszym. W pozostałych podłożach o poziomej włóknistości (H 0,1 i H 0,07) masa fazy stałej ulegała w tym czasie zmniejszeniu (tab. 1). Wraz ze zmianami fazy stałej w trakcie użytkowania wełny mineralnej zmieniała się jej gęstość właściwa (γ). Gęstość fazy stałej świeżych podłoży wynosiła od 1,45 g·cm^{-3} do 1,63 g·cm^{-3} i była uzależniona od kierunku ułożenia włókien. Podłoża o największej gęstości wyjściowej charakteryzowały się najmniejszą gęstością fazy stałej. Po I cyklu uprawy gęstość fazy stałej malała i wynosiła od 1,16 g·cm^{-3} do 1,26 g·cm^{-3}. Różnice tej cechy były tym większe im niższa była gęstość fazy stałej wełny świeżej. Po II cyklu uprawy w większości badanych płyt wystąpił niewielki, ale istotny wzrost gęstości fazy stałej w porównaniu do cyklu pierwszego, a jej średnia wartość była taka sama dla wszystkich rodzajów wełny (1,13 g·cm^{-3}) bez względu na kierunek ułożenia włókien. Największy wzrost gęstości fazy stałej po II cyklu uprawy zanotowano w wełnie mineralnej o pionowym ułożeniu włókien i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} (V 0,07) oraz w podłożu o włóknach poziomych i gęstości wyjściowej 0,04 g·cm^{-3} (H 0,04). Po II okresie użytkowania gęstość fazy stałej wełny o poziomych włóknach wynosiła od 1,19 g·cm^{-3} do 1,35 g·cm^{-3}, a w przypadku włókinistości pionowej od 1,22 g·cm^{-3} do 1,42 g·cm^{-3}.

Gęstość wełny mineralnej w stanie absolutnie suchym zmieniała się w trakcie jej użytkowania. Podłoża ze świeżej wełny mineralnej, niezależnie od układu włókien, ale o takiej samej gęstości wyjściowej, miały zbliżoną gęstość w stanie suchym (tab. 2). W I okresie użytkowania nastąpiło zwiększenie gęstości badanych podłoży. Wynosiła ona od 0,09 g·cm^{-3} do 0,10 g·cm^{-3} w wełnie o włóknach poziomych i od 0,5 g·cm^{-3} – 0,11 g·cm^{-3} przy włóknistości pionowej. Największy wzrost gęstości w stanie suchym zanotowano w wełnie o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,04 g·cm^{-3}. Stopniowy wzrost gęstości podłoża w stanie suchym, w kolejnych cyklach uprawowych, zanotowano w wełnie o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3}. Po kolejnych okresach użytkowania gęstość suchej wełny mineralnej o gęstości wyjściowej 0,1 g·cm^{-3} nie ulegała zmianie (tab. 2). W warunkach naturalnych przy wilgotności względnej powietrza około 70% i temperaturze 20°C wełna, która wydawała się sucha, w rzeczywistości zawierała ponad 100 razy więcej wody niż ważyła jej faza stała. Ze względu jednak na stopień wilgotności (Sw), zbliżony w tym stanie do wartości 0, mimo że wilgotność wełny w tym stanie wynosiła średnio 107% (tab. 6) przyjęto, że wełna w stanie naturalnej wilgotności jest wełną powietrznie suchą i nie zawiera wody dostępnej dla roślin. Jej gęstość nazwano gęstością naturalną (γ_{OCn}). Gęstość w stanie suchym i gęstość naturalna podłoży o tej samej gęstości wyjściowej, ozna-

czone przed i po I cyklu uprawnym, były zbliżone. Największą różnicę między tymi gęstościami zanotowano po II cyklu uprawy w wełnie „twardej" o pionowym kierunku ułożenia włókien (V 0,01), której gęstość naturalna (γ_{Ocn}) wzrosła o około 63% w stosunku do jej gęstości w stanie suchym (tab. 2).

Tabela 2; Table 2

Gęstość różnych rodzajów wełny mineralnej w stanie absolutnie suchym (γ_{Os}) i naturalnym tj. powietrznie suchym (γ_{Ocn}), w g·cm^{-3}

The slab dry bulk density (γ_{Os}) in natural air conditions (γ_{Ocn}), in g·cm^{-3} Skierniewice, 1994–1997

Rodzaj płyty z wełny mineralnej (gęstość wyjściowa) Type of rockwool slabs (available bulk density)	Okres użytkowania wełny mineralnej Period of using rockwool slabs					
	0		I		II	
	γ_{Os}	γ_{Ocn} W = 103%[1]	γ_{Os}	γ_{Ocn} W = 105%	γ_{Os}	γ_{Ocn} W = 112%
H 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
H 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,07	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10
H 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,04	0,04	0,09	0,09	0,07	0,08
V 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	0,09	0,10	0,11	0,11	0,08	0,13
V 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,09
V 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06
$NIR_{0,05}$; $LSD_{0,05}$ A(B)	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
B(A)	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04

[1] średnia wilgotność podłoża w stanie powietrznie suchym; average humidity of rockwool slabs in natural air conditions

Wełna mineralna, której włókna są trwałe i wodoodporne ulega bardzo małym zmianom porowatości ogólnej, co według DĘBICKIEGO i SZUSTAKA [1995] jest pozytywną cechą podłoży. Porowatość ogólna wełny, oznaczona przez autorkę przy użyciu metod jakimi posługiwał się VERWER [1976, 1978], mieści się w zakresie 91–98% objętości jednostki uprawowej i nie odbiega od podawanej przez KIPPA i WEVERA [1993] oraz ARGO [1998] optymalnej porowatości substratów ogrodniczych. Porowatość badanych rodzajów wełny mineralnej, o gęstości wyjściowej 0,1 g·cm^{-3}, 0,07 g·cm^{-3}, 0,04 g·cm^{-3} i była większa w podłożach o niskiej gęstości i wzrastała wraz z upływem okresu użytkowania, a więc w miarę gromadzenia się substancji organicznej. Podobne wyniki uzyskali BUNT [1983], VAN GOOR [1989] i AENDERKERK [1999]. Przy tak wysokiej objętości przestrzeni wolnych, ważniejsze są jednak różnice związane z porowatością kapilarną, a więc pojemnością wodną niż powietrzną, która z wyjątkiem podłoża o gęstości wyjściowej 0,1 g·cm^{-3} była zawsze większa w wełnie o włóknistości pionowej, co stwierdził również MARLOW [1993].

Wełna mineralna nawadniana kroplowo znajdowała się w stanie wilgotności

polowej, a ilość zatrzymanej wody zależała między innymi od gęstości fazy stałej podłoża. Wraz ze wzrostem udziału fazy płynnej w objętości płyty zwiększała się jej masa oraz gęstość. Dane zestawione w tabeli 3 wskazują, że badane podłoża z wełny, różniły się istotnie pod względem wilgotności polowej i gęstości w tym stanie (γ_{OCp}). Gęstość w stanie wilgotności polowej (gęstość polowa) nowych podłoży o włóknach poziomych wynosiła od 0,44 g·cm^{-3} do 0,51 g·cm^{-3}, a w przypadku wełny o włóknistości pionowej od 0,40 g·cm^{-3} do 64 g·cm^{-3}. Najbardziej stabilne pod względem gęstości polowej były płyty o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} i 0,04 g·cm^{-3}, w których w miarę upływu czasu następował sukcesywny, niewielki wzrost gęstości polowej (tab. 3). W II cyklu uprawy gęstość polowa osiągnęła poziom zbliżony do płyt nowych. Największą wilgotność polową, W_P > 1000% zanotowano w świeżym podłożu o najniższej gęstości wyjściowej (0,04 g·cm^{-3}), bez względu na kierunek włóknistości. Jak wynika z tabeli 1 i tabeli 2 były to podłoża o najmniejszych wartościach dla objętości fazy stałej i jej masy oraz gęstości naturalnej. Najmniejszą wilgotność polową miały wówczas płyty o gęstości wyjściowej 0,1 g·cm^{-3}. Wynosiła ona 401% dla płyt o poziomym kierunku ułożenia włókien i 451% dla płyt o pionowej włóknistości, w których stwierdzono największą objętość fazy stałej. W trakcie pierwszego okresu uprawy malała wilgotność polowa większości podłoży. Po II cyklu uprawnym zmniejszenie wilgotności polowej zanotowano tylko w płytach V 0,1, których gęstość fazy stałej w drugim okresie użytkowania utrzymywała się na jednakowym poziomie $\gamma \sim 1{,}20$ g·cm^{-3} (tab. 3).

Tabela 3; Table 3

Gęstość różnych rodzajów płyt z wełny mineralnej w stanie wilgotności polowej (γ_{OCp}) w g·cm^{-3} i wilgotność polowa (W_p) w procentach wagowych

The bulk density of rockwool at field humidity (γ_{OCp}) in g·cm^{-3} and field humidity (W_p) in percent of slab weight, Skierniewice, 1994–1997

Rodzaj płyty z wełny mineralnej (gęstość wyjściowa) Type of rockwool slabs (available bulk density)	Okres użytkowania wełny mineralnej Using period of rockwool slabs					
	0		I		II	
	γ_{OCp}	W_p	γ_{OCp}	W_p	γ_{OCp}	W_p
H 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	0,50	401	0,42	323	0,52	437
H 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,44	501	0,49	462	0,55	461
H 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,51	1147	0,58	566	0,57	695
V 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	0,40	451	0,49	389	0,55	322
V 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,64	836	0,47	743	0,69	844
V 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,47	1045	0,27	409	0,42	690
$NIR_{0,05}$; $LSD_{0,05}$ A(B)	0,05	65	0,05	65	0,05	65
B(A)	0,05	67	0,05	67	0,05	67

Pojemność w stosunku do całkowitej ilości wody jaką wełna mineralna

może zatrzymać siłami kapilarnymi określono jako polową pojemność wodną (PPW). Dla badanych rodzajów wełny wynosiła ona średnio 40%, ale zależała od długości okresu użytkowania i gęstości świeżych płyt. Wełny mineralne o różnym kierunku włókien ale tej samej gęstości wyjściowej: H 0,1 i V 0,1; H 0,07 i V 0,07 oraz H 0,04 i V 0,04 wykazywały jednakowe tendencje co do ilości zatrzymywanej wody zarówno w przypadku kapilarnej, jak i polowej pojemności. W przypadku wełny o niskiej i średniej gęstości poziomych włókien, polowa pojemność wodna wzrastała sukcesywnie od 35 do 40% w wełnie „miękkiej" i od 45 do 50% w wełnie o gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3}. W pozostałych badanych płytach wykazywała kilkunastoprocentowy spadek po I okresie wykorzystywania, a po kolejnym wzrastała ponownie. Autorka stwierdza, że przyczyną tych zmian było gromadzenie się w podłożu materii organicznej pochodzącej z obumarłych korzeni roślin. Potwierdzają to wcześniejsze spostrzeżenia VAN DEN ENDE [1988a] oraz NELSONA i FONTENO [1991], że materia organiczna powoduje wzrost zdolności zatrzymywania wody w podłożu. W świeżej wełnie o gęstości wyjściowej 0,04 g·cm^{-3} i pionowych włóknach zanotowano najwyższą wartość polowej pojemności wodnej – 80,6%. Wysoką polową pojemność wodną miało również świeże i używane w dwóch cyklach podłoże o pionowych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} (tab. 5). Niezbyt wysoka wilgotność i pojemność polowa wełny twardej (0,1 g·cm^{-3}), utrzymywała się jednak na stałym poziomie przez cały okres wykorzystywania. Cecha ta ułatwia programowanie fertygacji, ponieważ nie zachodzi niebezpieczeństwo nagłych zmian stężenia roztworu odżywczego w płycie. Zgodnie z zaleceniami VAN OSA [1981] dotyczącymi optymalnej wilgotności podłoża, zalecany poziom wilgotności wynosi ok. 800%, natomiast wilgotność polowa w drugim roku użytkowania wełny twardej (H 0,1 i V 0,1) oraz wełny miękkiej o poziomych włóknach (H 0,04) wynosi 323–409%. Aby zapobiec przesychaniu takich płyt należy stosować częste nawadnianie niewielkimi dawkami, a w systemie przelewowym zminimalizować wielkość odpływu.

Zdolność utrzymywania wody w przestrzeniach kapilarnych nie była równoznaczna z wysoką retencją w stanie nasyconym, a wilgotność maksymalna była zależna od jego gęstości w stanie suchym. Sposób ułożenia włókien wełny mineralnej miał tu znaczenie drugorzędne. Gęstość podłoża nasyconego wodą (γ_{OCmax} = gęstość maksymalna) zmniejszała się w pierwszym okresie jego użytkowania (tab. 4). W tym czasie malała również zdolność wełny do utrzymywania wody (tab. 5). Świeże podłoża o tej samej gęstości wyjściowej miały zbliżoną wilgotność maksymalną, bez względu na kierunek ułożenia włókien. Wilgotność maksymalna podłoży z nowej wełny mineralnej (W_{max}) wynosiła 877– 2138% (tab. 4). Największą gęstość maksymalną miały nowe podłoża o najwyższej gęstości wyjściowej – 0,1 g·cm^{-3} (H 0,1 i V 0,1). W trakcie ich użytkowania warunki wodne w stanie nasycenia zmieniały się nieznacznie, od 0,71 g·cm^{-3} po pierwszym do 0,76 g·cm^{-3} *po drugim okresie użytkowania, przy wilgotności nasycenia* (W_{max}) odpowiednio 680 i 697% (tab. 4). Niewielkie zmiany stwierdzono także w wełnie o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} (H 0,07), których maksymalna gęstość objętościowa wynosiła średnio 0,95 g·cm^{-3} przy maksymalnej wilgotności (W_{max}) – 893 i 898% (w płytach świeżych 1180%). Największe zmiany wilgotności maksymalnej zanotowano w wełnie o gęstości wyjściowej 0,04 g·cm^{-3}. Porównując wilgotności maksymalne każdego rodzaju wełny, w kolejnych okresach jej użytkowania, stwierdzono, że różnica w ilości wody zawartej w podłożu i potencjalnie dostępnej dla roślin wynosi około 1,5 dm^3 w wełnie o gęstości wyjściowej 0,1 g·cm^{-3} i 0,7

g·cm^{-3}, w której różnica wilgotności maksymalnej wynosiła zaledwie 5–17%. Jest to zgodne z wynikami WALCZAKA i SŁAWIŃSKIEGO [2000], że zasoby wody dostępnej dla roślin przy tej samej wilgotności, mogą w różnych mediach kształtować się inaczej.

Tabela 4; Table 4

Gęstość różnych rodzajów płyt z wełny mineralnej, w stanie nasyconym (γ_{OCmax}) w g·cm^{-3} i wilgotność maksymalna (W_{max}) w procentach wagowych.

The saturated bulk density (γ_{OCmax}) in g·cm^{-3} and maximal humidity of rockwool slabs in percent of slab's weight
Skierniewice 1994–1997

Rodzaj płyty z wełny mineralnej (gęstość wyjściowa) Type of rockwool slabs (available bulk density)	Okres użytkowania wełny mineralnej Period of using rockwool slabs					
	0		I		II	
	γ_{OCmax}	W_{max}	γ_{OCmax}	W_{max}	γ_{OCmax}	W_{max}
H 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	0,97	877	0,71	680	0,76	697
H 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,94	1180	0,93	893	0,97	898
H 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,92	2138	0,80	854	1,03	1336
V 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	1,01	965	0,60	466	0,96	805
V 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,96	1308	0,62	1005	0,99	1260
V 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,87	2126	0,52	898	0,95	1695
$NIR_{0,05}$; $LSD_{0,05}$ A(B)	0,06	55	0,06	55	0,06	55
B(A)	0,05	48	0,05	48	0,05	48

W przeprowadzonych doświadczeniach, różnica między wilgotnością nasyconą a wilgotnością polową świeżych płyt wynosiła 50–60%. MARLOW [1993] natomiast uważa, że nie powinna być większa niż 45%, a dla zrównoważenia wzrostu wegetatywnego i rozwoju generatywnego, optymalna różnica obu wilgotności powinna wynosić około 15%, a taką zanotowano w wełnie wykorzystywanej powtórnie, na której uzyskiwano plony wyższe niż na wełnie nowej. BOERTIJE I LEIN-VAN DIJK [1984] podają, że nasycona pojemność wodna (NPW) wełny o gęstości w stanie suchym γ_{OS} = 0,05 g·cm^{-3} powinna wynosić ok. 95%; a dla γ_{OS} = 0,07 g·cm^{-3} od 73 do 98%, w zależności od masy płyty. W przypadku podłoża o gęstości w stanie suchym γ_{OS} = 0,09 g·cm^{-3} zakres wynoszący 80–91% nie odzwierciedla jednak zmiany jego masy. Świeże płyty wełny mineralnej wykazały wartości NPW od 82,6 do 91,6% (tab. 5). KIPP i WEVER [1999] stwierdzili, że maksymalna, 80 procentowa zawartość wody w wełnie o gęstości γ_{OS} = 0,05 g·cm^{-3} zmniejszała się w miarę upływu czasu. W przeprowadzonym doświadczeniu ustabilizowaną, wysoką, nasyconą pojemnością wodną charakteryzowały się płyty o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} (82,6% – płyty świeże, oraz 89,0% po I i po II cyklu uprawnym). W tych płytach wzrastała również gęstość w stanie suchym (γ_{OS}), (tab. 2). W pozostałych podłożach, po I cyklu uprawy nastą-

piło istotne obniżenie zdolności pochłaniania wody, szczególnie w wełnie o pionowych włóknach. Po II cyklu uprawy dużą nasyconą pojemność wodną miały płyty H 0,04 i V 0,07. Najmniejszą wartość NPW po drugim okresie użytkowania (około 60%) stwierdzono w wełnie o gęstości wyjściowej 0,1 g·cm^{-3}. Ponieważ jak stwierdza VAN DEN ENDE [1988] w stanie nasyconym zawartość wody w wełnie może być nawet dwa razy większa niż przy wilgotności polowej, stężenie soli mineralnych w wełnie bardzo wilgotnej może być niższe o połowę. Do prawidłowego nawożenia konieczna jest więc analiza gleby nasyconej wodą i oznaczenie różnicy między pojemnością polową a pojemnością w stanie maksymalnej wilgotności.

Tabela 5; Table 5

Pojemność wodna różnych rodzajów płyt wełny mineralnej: kapilarna – w zakresie wody podsiąkającej podpartej (KPW) i polowa dot. wody kapilarnej ogólnej (PPW), w procentach objętościowych

Capillary water capacity (CWC), field water capacity (FWC) and saturated water capacity of rockwool (SWC), in percent of slab capacity
Skierniewice 1994–1997

Rodzaj płyty z wełny mineralnej (gęstość wyjściowa) Type of rockwool slabs (available bulk density)	Okres użytkowania wełny mineralnej Period of using rockwool slabs								
	KPW CWC			PPW FWC			NPW SWC		
	0	0	0	I	I	I	II	II	II
H 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	39,4	29,6	35,8	40,1	32,4	42,0	68,3	87,7	62,9
H 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	34,2	37,8	46,1	35,1	39,8	44,9	89,0	82,6	89,0
H 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	43,1	58,8	56,7	45,2	49,0	49,8	76,4	85,5	93,7
V 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	40,2	39,4	42,1	40,6	30,7	39,6	51,3	86,9	64,0
V 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	56,0	45,0	68,6	58,5	42,0	58,5	59,7	91,6	90,8
V 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	61,4	12,7	56,8	80,6	21,4	36,7	53,8	85,0	84,5
$NIR_{0,05}$; $LSD_{0,05}$ A(B) B(A)	3,5 3,7			4,7 4,6			4,3 3,8		

Stopień wilgotności podłoża (Sw) określający jego układ fazowy przyjmuje wartość od 0 do 1. W stanie wilgotności naturalnej dla świeżej wełny wynosił on od 0,001 do 0,003 (tab. 6). Po I cyklu wzrastał w minimalnym stopniu. Po II cyklu uprawy dla H 0,1 i H 0,07 wzrósł około 10-krotnie, natomiast dla V 0,07 aż około 40 razy. Analiza statystyczna wykazała, że różnice między stopniami wilgotności badanych podłoży były istotne (tab. 6).

Autorka stwierdziła, że najlepsze warunki powietrzno-wodne panują w wełnie mineralnej o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,1 g·cm^{-3} i

0,07 g·cm^{-3}, na których plonowanie papryki było najlepsze. Jest to zgodne z wynikami badań BEINNICELLEGO [1994] nad wpływem zagęszczenia gleb na system korzeniowy roślin. Według niego w utworach glebowych o gęstości ok. 0,08 g·dm^{-3} następuje najlepszy, najbardziej równomierny rozwój korzeni. Na podstawie uzyskanych wyników autorka stwierdza, że pojemność wodną wełny mineralnej zależy w równej mierze od jej gęstości objętościowej co od ułożenia włókien i nie można kierować się wynikami średnimi dla dwojakiego rodzaju włóknistości. Pojemność wodna wełny ma znaczenie przy ustalaniu sposobu nawodnienia. Im mniejsza pojemność wodna wełny mineralnej, tym większa powinna być częstotliwość nawodnień.

Tabela 6; Table 6

Stopień wilgotności różnych rodzajów płyt z wełny mineralnej, w stanie naturalnym tj. powietrznie suchym (Sw_n), przy wilgotności polowej (Sw_p) i w stanie nasyconym (Sw_{max}) – w liczbach bezwzględnych 0–1

Moisture index of rockwool slabs dried in natural air conditions (MI_n), at field humidity (MI_f) and saturated substrates (MI_{max}) – in absolute numbers 0–1
Skierniewice 1994–1997

Rodzaj płyty z wełny mineralnej (gęstość wyjściowa) Type of rockwool slabs (available bulk density)	Okres użytkowania wełny mineralnej Using period of rockwool slabs								
	Swn MIn			Swp MIf			Swmax MImax		
	0	0	0	I	I	I	II	II	II
H 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	0,001	0,002	0,01	0,43	0,35	0,45	0,93	0,74	0,73
H 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,001	0,002	0,01	0,39	0,43	0,49	0,91	0,80	0,95
H 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,002	0,005	0,04	0,48	0,53	0,53	0,91	0,78	1,00
V 0,1 (0,1 g·cm^{-3})	0,002	0,002	0,03	0,32	0,34	0,43	0,96	0,54	0,97
V 0,07 (0,07 g·cm^{-3})	0,002	0,003	0,08	0,59	0,44	0,63	0,93	0,60	0,95
V 0,04 (0,04 g·cm^{-3})	0,003	0,003	0,08	0,44	0,23	0,38	0,79	0,49	0,94
$NIR_{0,05}$; $LSD_{0,05}$ A(B)	0,002			0.05			0.07		
B(A)	0,002			0.05			0.07		

Wnioski

1. W trakcie użytkowania wełny mineralnej następowały istotne zmiany masy i objętości jej fazy stałej. Wielkość tych zmian zależała od udziału włókien w objętości jednostki uprawowej (gęstość podłoża) i kierunku ich ułożenia w płycie, co miało istotny wpływ na stosunki powietrzno-wodne w strefie rozwoju korzeni.

2. W czasie użytkowania wełny mineralnej, stwierdzono wzrost jej gęstości w stanie suchym, szczególnie w wełnie o gęstości wyjściowej 0,04 g·cm^{-3}.
3. Porowatość ogólna wełny mineralnej wynosiła 91–98% i wzrastała wraz ze spadkiem gęstości w stanie suchym, a zmniejszała się w miarę upływu czasu. Wełna o zbliżonej gęstości suchego materiału miała również podobną porowatość ogólną.
4. W stanie wilgotności polowej gęstość wełny mineralnej wynosiła 0,3 g·cm^{-3} do 0,7 g·cm^{-3} przy średniej wilgotności 500%. Polowa pojemność wodna wełny mineralnej wynosiła średnio 40%. Najmniejsze wahania gęstości polowej i stopniowy wzrost polowej pojemności wodnej stwierdzono w świeżych i używanych płytach wełny mineralnej o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} oraz 0,04 g·cm^{-3}. Polowa pojemność wodna „twardej" wełny była w trakcie użytkowania stabilna, niezależnie od kierunku ułożenia włókien.
5. Gęstość wełny mineralnej w stanie nasycenia wodą wynosiła od 0,6 g·cm^{-3} do 1,0 g·cm^{-3}, a wilgotność od 466 do 2126%. Najniższe wartości tych parametrów notowano po I okresie użytkowania wełny. Nasycona pojemność wodna wełny była najwyższa w podłożu o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} i utrzymywała się na poziomie 82–92%.
6. Najbardziej korzystne i stabilne właściwości fizyczne miały płyty wełny o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3}, niezależnie od długości okresu użytkowania. Poprawa właściwości fizycznych wełny o niskiej gęstości (0,04 g·cm^{-3}) następowała w drugim cyklu uprawy.

Literatura

AENDERKERK T.G.L. 1993. *Standards of physical properties for substrates for cuttings.* Acta Hort. 342: 273–278.

ARGO W.R. 1998. *Root medium physical properties.* Hort Technology 8(4): 481–494.

BEINNICELLI R.P. 1994. *Wpływ zlokalizowanego stresu tlenowego w glebie na rozwój korzeni i części nadziemnych kukurydzy (modelowe badania rizotropowe).* Acta Agrophisica 3: 71 ss.

BOERTJE G.A., LEIJN-VAN DIJK F.M. 1984. *Physical properties of rockwool slabs.* Ann. Rep. Proefstation vor Tuinbouw onder Glas. Naaldwijk: 25.

BUNT A.C. 1983. *Physical properties on mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates.* Acta Hort. 150: 143–153.

DĘBICKI R., SZUSTAK A. 1995. *Pomiar pobierania wody przez rośliny.* VII Szkoła „Fizyka z elementami agrofizyki" Inst. Agrofiz. PAN Lublin: 85–88.

DOBRZAŃSKI B., ZAWADZKI S. 1981. *Gleboznawstwo.* Praca zbiorowa, PWRiL Warszawa: 96–164.

DYŚKO J., KANISZEWSKI S. 1996. *Badania nad nawadnianiem pomidora w uprawie na wełnie mineralnej.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 438: 199–204.

ENDE J. VAN DEN 1988. *Water contents of glashouse soils at field capacity and at satu-*

ration. !. Relationships between water contents. Netherlands J. of Agric. Sc. 36: 265–274.

ENDE J. VAN DEN 1988a. *Water contents of glashouse soils at field capacity and at saturation. 2.Estimating water contents from organic- matter and clay contents or from loss-on-ignition.* Netherlands J. of Agric. Sc. 36: 275–282.

GABRIËLS R., VAN KEIRSBULC W., ENGELS H. 1993. *A rapid method for the determination of physical properties of growing media.* Acta Hort. 342: 243–247.

GOOR B.J. VAN 1989. *Substraat en wortels: veel factoren hebben invloed op wortelactiviteit.* Groenten en Fruit 45(5): 34–35.

KIPP J.A., WEVER G. 1993. *Wortelmedia.* Naaldwijk: 1–48.

KIPP J.A., WEVER G. 1999. *Substraat.* PBG Naaldwijk: 56–58.

MARLOW D. 1993. *Greenhouse crops in North America: A practical guide to stonewool culture.* Grodania A/S Canada: 125 ss.

NELSON P.V., FONTENO W.C. 1991. *Physical analysis of rockwool slabs and effects of fiber orientation, irrigation frequency and propagation technique on chrysanthemum production.* Marcel Deker. Inc. 1991: 853–866.

OS E.A. VAN 1981. *The stationary water growing system opens possibilities to alternative watering methods.* Acta Hort. 126: 281–286.

RADECKI A., NIEMCZYK H. 1988. *Wpływ uprawy roli i roślin na niektóre właściwości fizyczne warstwy ornej.* SGGW Warszawa.

SONNEVELD C. 1991. *Rockwool as a Substrate for Greenhouse Crops*, in: Bajaj, Y. P. S. (ed), Biotechnology in Agriculture and Forestry, vol. 17. High-Tech and Micropropagation, Berlin, 1991, Springer: 285–312.

STĘPOWSKA A. 1994. *Uprawa papryki na wełnie mineralnej.* Mat. symp. „Integrowane metody produkcji warzyw", wrzesień 1994, Inst. Warz. Skierniewice: 33–39.

STĘPOWSKA A. 2001. *Wpływ właściwości fizycznych podłoży z wełny mineralnej na wysokość i jakość plonu papryki słodkiej w uprawie pod osłonami.* Praca doktorska. IWarz. Skierniewice: 113 ss.

VERWER F.L. 1976. *Crops in rockwool and nutrient film.* Proceedings Information, International Congress on Soilless Culture.

WERWER F.L. 1978. *Research and results with horticultural crops grown in rockwool and nutrient film.* Acta Hort. 82: 141–146.

WALCZAK R.T., SŁAWIŃSKI C. 2000. *Fizyczne czynniki decydujące o wzroście i plonowaniu roślin warzywnych.* Annales Univ. MCS, Sectio EEE, Horticultura vol VIII, Suplementum, Lublin: 1–12

Słowa kluczowe: wełna mineralna, właściwości fizyczne

Streszczenie

W latach 1994–1996 przeprowadzono badania laboratoryjne w celu określenie właściwości fizycznych wełny mineralnej o poziomym i pionowym ułożeniu

włókien i gęstości materiału świeżego (gęstość wyjściowa) 0,1 g·cm^{-3}, 0,07 g·cm^{-3}, 0,04 g·cm^{-3} po kolejnych okresach jej wykorzystywania do uprawy papryki. W stanie wilgotności polowej (W_P), gęstość wełny mineralnej wynosiła 0,3 g·cm^{-3} do 0,7 g·cm^{-3}, a polowa pojemność wodna (PPW) średnio 40%. Gęstość podłoża w stanie nasycenia wodą wynosiła od 0,6 g·cm^{-3} do 1,0 g·cm^{-3}, a wilgotność od 466 do 2126%. Najniższe wartości obydwóch parametrów notowano po I okresie użytkowania wełny. Pojemność wodna wełny w stanie maksymalnej wilgotności (NPW) była najwyższa w przypadku podłoża o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} i przez cały okres użytkowania utrzymywała się na zbliżonym poziomie 82–92%. Podłoża o włóknach pionowych miały w II cyklu użytkowania mniejszą nasyconą pojemność wodną niż wełna o włóknistości poziomej. Najbardziej korzystne i stabilne właściwości fizyczne miały płyty wełny mineralnej o poziomych włóknach i gęstości wyjściowej 0,07 g·cm^{-3} oraz 0,1 g·cm^{-3}. Poprawa właściwości fizycznych wełny o gęstości wyjściowej 0,04 g·cm^{-3} następowała w drugim cyklu uprawy.

THE INFLUENCE OF THE LENGTH OF UTILIZATION PERIODS ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE ROCKWOOL WITH DIFFERENT TEXTURE

Agnieszka Stępowska
Department of Crop Science and Nutrition,
Research Institute of Vegetable Crops, Skierniewice

Key words: rockwool, physical properties

Summary

The evaluation of sweet pepper yield on the different kinds of rockwool was conducted in a glasshouse of Research Institute of Vegetable Crops in Skierniewice from 1994 to 1997. The investigation included laboratory and cultivation tests with fresh and reused rockwool with horizontal and vertical fibres and available bulk density (ABD) 0.1 g·cm^{-3}, 0.07 g·cm^{-3} and 0.04 g·cm^{-3}.

The changes of slab, its solid phase weight and capacity were found. The highest changes significantly depended on bulk density of fresh material (available bulk density), fibre arrangement and longitude of using period. The best and stable physical properties were observed in the rockwool slabs with horizontal fibres and ABD 0.1 g·cm^{-3} and 0.07 g·cm^{-3}. The improvement of physical properties of rockwool ABD 0,04 g·m^{-3} was noted in the second using period of rockwool. At field humidity (ca. 500 %) rockwool bulk density was 0.3 g·cm^{-3} – 0.7 g·cm^{-3}. The average field water capacity of rockwool was 40%. The maximal bulk density of the water saturated slabs was from 0.6 g·cm^{-3} to 1.0 g·cm^{-3} at the humidity of 466–2126%. The lowest data of both parameters were noted after the first cultivating period. The horizontal–fibrous rockwool, ABD 0.07 g·cm^{-3} had the highest level of the maximal water capacity (82–92%). The vertical fibres of reused rockwool were promoted to higher level than hori-

zontal fibres. The moisture index defines air-water conditions in the cultivating medium. In the rockwool its value was 0.2–0.6 at field humidity and 0.5–1.0 at maximal one.

Dr inż. Agnieszka **Stępowska**
Zakład Agrotechniki
Instytut Warzywnictwa
ul. Konstytucji 3 Maja 1/3
96–100 SKIERNIEWICE
e-mail: astepow@inwarz.skierniewice.pl