

EFEKTYWNOŚĆ PRODUKCYJNA WODY ZUŻYTEJ W PRODUKCJI BIOMASY WYBRANYCH GATUNKÓW TRAW

Halina Lipińska

Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie. Przedmiotem badań była ocena efektywności produkcyjnej wody badanych gatunków traw w warunkach zróżnicowanego poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanki traw. Efektywność produkcyjną wody określono w oparciu o wyniki badań lizymetrycznych prowadzonych w latach 2001-2003. Do badań wybrano obiekty z *Poa pratensis*, *Phleum pratense* i *Lolium perenne* w siewie czystym i mieszanki *P. pratensis* z *Ph. pratense* oraz *P. pratensis* z *L. perenne*. Trawy rozwijały się w warunkach stałego poziomu wody gruntowej 50 i 90 cm. Na wszystkich obiektach stosowano jednakowy poziom nawożenia mineralnego. Przedstawione wyniki dowodzą, że średnia za okres wegetacyjny efektywność produkcyjna wody w warunkach Sosnowicy wahała się od 1,6 do 3,2 g s.m.·m⁻²·dm⁻³ wody i była zróżnicowana w zależności od składu botanicznego runi i poziomu wody gruntowej. Przy niższym (90 cm) poziomie wody gruntowej najwyższą efektywnością odznaczały się zbiorowiska dwugatunkowe, natomiast w warunkach wyższego poziomu (50 cm do lustra wody) – *P. pratensis* i jej mieszanka z *Ph. pratense*. Najmniej efektywnie woda była wykorzystywana przez runi *L. perenne*. Utrzymywanie wysokiego poziomu wody gruntowej powodowało zmniejszenie efektywności produkcyjnej wody. Stwierdzono istotne zależności pomiędzy wysokością plonu a efektywnością produkcyjną wody.

Słowa kluczowe: efektywność produkcyjna wody, ewapotranspiracja rzeczywista, lizymetry, mieszanki traw, plony, poziom wody gruntowej

WSTĘP

Wśród czynników o dużym znaczeniu dla roślin szczególne miejsce zajmuje woda. Stanowi ona bezpośredni pokarm dla roślin, a zarazem środowisko, w którym odbywają się procesy biologiczne. Gospodarka wodna roślin stanowi największą pozycję w obiegu wszystkich składników. Jest jednym z ważniejszych czynników wzrostu i rozwoju roślin na użytkach zielonych, a tym samym jednym z głównych elementów limitujących

wzrost plonów biomasy roślin [Pawłat 1986]. Rośliny łąkowe z racji swojej budowy i długiego okresu wegetacji zużywają znaczne ilości wody [Nazaruk i Piekut 1997].

W celu osiągnięcia określonych plonów, w każdych warunkach przyrodniczych zużywane są pewne ilości wody, świadczące o efektywności jej wykorzystania w procesie produkcji biomasy [Miształ 2001]. Wskaźnik ten informuje, jaką ilością wody powinno dysponować siedlisko, aby uzyskać oczekiwaną produkcję w danych warunkach prądotekniki. W przypadku zaistniałych znanych niedoborów wodnych wskaźnik ten pozwala przewidywać wielkość przyrostu plonów po zastosowaniu nawodnienia uzupełniającego lub spadek produkcji w przypadku deficytu wody [Marcilonek i Janus 1986]. Na efektywność produkcyjną wody – oprócz czynników klimatycznych i właściwej gospodarki człowieka – w dużym stopniu wpływa stan wód gruntowych w okresie wegetacji roślin. Decyduje o podsiąku kapilarnym do strefy korzeniowej i tym samym o uwilgotnieniu i zasobach wody użytecznej, łatwo dostępnej, stanowiącej zapas, z którego rośliny mogą stale czerpać, tym bardziej, że potrzeby wodne łąk znacznie przewyższają faktyczną wysokość opadów [Prończuk 1970]. Zużycie wody przez run i jej efektywne produkcyjne wykorzystanie zależy również od wymagań i potrzeb wodnych poszczególnych gatunków wchodzących w skład danej runi [Nazaruk i Piekut 1997]. Część z nich wykazuje wzmogoną efektywność wykorzystania wody. U innych efektywność obniża się wraz ze wzrostem deficytu wody. Reakcja plonu na niedobór wody zależy od stadium rozwojowego rośliny i jej wrażliwości w danym okresie wegetacji. Z kolei nadmiar wody powoduje zwiększenie ewapotranspiracji nie mającej odzwierciedlenia w ilości uzyskiwanych plonów [Miształ 2001]. Niezwykle istotnym zagadnieniem jest więc dobór gatunków, które w danym siedlisku będą mogły osiągać pełnię swojego rozwoju, gwarantując odpowiednie plony przy efektywnej gospodarce wodą [Nazaruk i Piekut 1997, Miształ 1999].

Celem badań było określenie efektywności produkcyjnej wody zużytej w produkcji biomasy przez *Lolium perenne*, *Phleum pratense* i *Poa pratensis*, rozwijających się w warunkach zróżnicowanego poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanki.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie założono w 2000 roku w Łąkarskiej Stacji Dydaktyczno-Badawczej w Sosnowicy. W pracy prezentowane są wyniki badań z lat 2001-2003.

Badania prowadzono w trzydziestu lizymetrach – 20 o powierzchni 1600 cm² i 10 o powierzchni 2000 cm² oraz głębokości 120 cm. Wypełniono je monolitem glebowym o nienaruszonej strukturze. W lizymetrach wysiano (w siewie czystym i mieszankach) 3 gatunki traw, tj. *Poa pratensis*, *Phleum pratense* oraz *Lolium perenne* w układzie: *Pp*, *Pp* + *Php*, *Php*, *Pp* + *Lp*, *Lp* przy dwóch poziomach wody gruntowej 90 i 50 cm. W celu uniknięcia efektu oazy na powierzchni dookoła lizymetrów wysiano te same gatunki w identycznym układzie.

W całym doświadczeniu zastosowano jednakowy poziom nawożenia mineralnego, 120 kg N, 90 kg P i 140 kg K (azot i potas w 4 równych dawkach wiosną i po 1., 2. i 3. pokosie, natomiast fosfor jednorazowo – wiosną). Jesienią 1999 roku zastosowano wapnowanie w dawce 2 t·ha⁻¹. W lizymetrach codziennie dokonywano pomiarów głębokości poziomu wody gruntowej, utrzymując stałe i określone wartości poprzez dolewanie lub odlewanie wyliczonej ilości wody. Pomiary zużycia wody przez runi poszcze-

gólnych gatunków i mieszanek rozpoczynano około 15 kwietnia i wykonywano je do około 5-10 października (w zależności od roku badań). Dane te posłużyły do wyliczenia dekadowych wartości ewapotranspiracji rzeczywistej według wzoru:

$$E_{tr} = P + Z_p - Z_k + D - O$$

gdzie:

- E_{tr} – ewapotranspiracja rzeczywista, mm
- P – opad atmosferyczny mierzony deszczomierzem przygruntowym, mm
- Z_p – zapas wody w lizymetrze na początku okresu bilansowania, mm
- Z_k – zapas wody w lizymetrze na końcu okresu bilansowania, mm
- D – ilość wody dolanej, mm
- O – ilość wody odlanej, mm.

W celu określenia plonu suchej masy Q [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$] i wyliczenia ilości wody zużywanej do wytworzenia jednostki plonu, czyli jednostkowej ewapotranspiracji rzeczywistej $E_{tr}\cdot Q^{-1}$ [$\text{dm}^3\cdot\text{kg}^{-1}$], w okresie wegetacji trawę koszone czterokrotnie (w terminach odpowiednich dla dojrzałości pastwiskowej runi – wysokość roślin 20-22 cm). Przeprowadzono także ocenę stopnia optymalizacji zużycia wody do produkcji biomasy poszczególnych gatunków i ich mieszanek w oparciu o kryterium, jakim jest efektywność produkcyjna wody (EPW) [Wolters i Bos 1989, Pawłat 1990, Łabędzki 1997, Piekut 1997, Misztal 2001]. Efektywność produkcyjna wody, będąca stosunkiem uzyskanego plonu Q [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$] do ilości wody zużytej na ewapotranspirację rzeczywistą E_{tr} [mm], określa plon suchej masy przeliczony na jednostkę wody wykorzystanej w procesie ewapotranspiracji i wyraża się wzorem: $EPW = Q\cdot E_{tr}^{-1}$ [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$]. Określono także zależności pomiędzy efektywnością produkcyjną wody a plonem badanych gatunków.

Pomiary czynników meteorologicznych prowadzono za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej sterowanej komputerowo, zainstalowanej na terenie badań. Otrzymane wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji i regresji liniowej. Do weryfikacji istotności różnic pomiędzy ocenianymi średnimi zastosowano przedziały ufności Tukeya ($p \leq 0,05$).

Równinę Sosnowicką cechuje przewaga klimatu kontynentalnego i przeciętna ilość opadów. Z wieloletnich badań (1985-2000) wynika, że w okresie wegetacyjnym w tym regionie notowano opady w ilości około 381,5 mm, a najwyższą ilością opadów charakteryzowały się: czerwiec, lipiec i sierpień, z sumą opadów odpowiednio: 62,9, 67,8 oraz 66,5 mm. Średnia wieloletnia temperatura powietrza w okresie wegetacyjnym wynosiła 13,6°C. Najcieplejszymi miesiącami były lipiec, sierpień i czerwiec, z temperaturami odpowiednio: 18,4, 17,8 i 16,7°C.

Średnia suma opadów w sezonie wegetacyjnym za okres badań wynosiła 334,9 mm i była znacznie niższa od średniej wieloletniej. Jedynie w roku 2001 (476,5 mm) przewyższała wartości z wielolecia. W latach 2002 i 2003 wartości te były natomiast o wiele niższe (odpowiednio 277,9 i 250,4 mm). Suma opadów w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego w większości przypadków była niższa niż w wieloleciu (1985-2000). Wyjątek stanowiły opady w lipcu (201,4 mm), wrześniu (141,1 mm) 2001 r. oraz w czerwcu (92,6 mm) i październiku (73,8 mm) 2002 roku. W sezonie wegetacyjnym znaczne niedobory opadów notowano przede wszystkim w maju (19,6 mm) 2001 r., w kwietniu, maju i sierpniu 2002 roku (odpowiednio 11,1; 22,6; 17,4 mm) oraz w lipcu (7,5 mm) i wrześniu (18,4 mm) w 2003 roku. Klimatyczny wskaźnik opadowy za okres

od 1 kwietnia do 10 października wynosił: 0,13 w 2001 r., 0,07 w 2002 i 0,06 w 2003 roku. Według Vinczeffy'ego [1990] wartość tego wskaźnika na poziomie 0,2 odpowiada optimum warunków dla wzrostu i rozwoju traw. Jeżeli jest niższy, wówczas woda stanowi czynnik limitujący produkcję łąk i pastwisk, podobnie jak w badanym okresie. Analizując rozkład opadów atmosferycznych w okresie wegetacyjnym w poszczególnych odrostach runi, największą sumę opadów notowano w okresie drugiego i trzeciego odrostu, natomiast najmniejszą – pierwszego (tab. 1).

Tabela 1. Wybrane dane meteorologiczne w poszczególnych odrostach runi (średnia za okres badań)

Table 1. Selected meteorological data for particular sward regrowths (study period mean)

Odrost Regrowth	Liczba dni Number of days	Suma opadów Total rainfall mm	Średnia dobowa temperatura powietrza Mean daily air temperature °C	Liczba dni z temperaturą >20°C Number of days >20°C
I	42	50,5	19,8	21
II	38	64,2	19,9	23
III	36	41,5	22,1	36
IV	40	28,5	21,6	40
I-IV	155	184,7	20,8	120

Poszczególne lata badań różniły się także temperaturą powietrza. W okresach od kwietnia do października były one wyższe niż średnie z wielolecia (w kolejnych latach badań 15,1; 15,2 i 14,8°C). Wysokie temperatury panowały zwłaszcza w lipcu i sierpniu w każdym z lat. Średnie temperatury powietrza w poszczególnych odrostach runi w omawianym okresie różniły się nieznacznie. Wyższe wartości notowano w okresie trzeciego i czwartego odrostu, najniższe podczas wzrostu runi do pierwszego pokosu (tab. 1).

Glebę w lizymetrach i w otoczeniu doświadczenia zaliczono do gleby torfowo-murszowej (MtII), wytworzonej z torfu szuwarowo-turzycowiskowego. Właściwości fizyczne gleby określono metodami ogólnie stosowanymi w IMUZ, natomiast zdolności retencyjne metodą opracowaną przez Zawadzkiego [1973]. Szczegółową charakterystykę warunków glebowych podano w opracowaniu opublikowanym wcześniej [Lipińska i Baryła 2004].

WYNIKI I DYSKUSJA

Plonowanie i ewapotranspiracja rzeczywiŃta

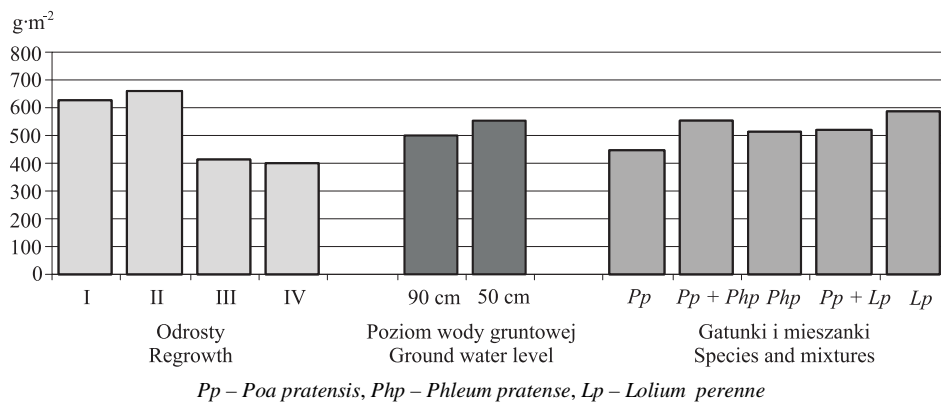
W przeprowadzonych badaniach zarówno plony suchej masy roślin, jak i zużycie wody na ich produkcję były zróżnicowane w poszczególnych odrostach, przy obydwu poziomach wody gruntowej oraz niezależnie od użytych mieszanek. Średnie za okres badań plony runi koszonej czterokrotnie w okresie wegetacji wahały się od 277 do 873 g·m⁻² (poziom wody gruntowej 90 cm), natomiast od 330 do 869 g·m⁻² przy 50 cm wody gruntowej (tab. 2).

Tabela 2. Plony suchej masy runi trawiastej (Q) oraz ewapotranspiracja rzeczywista (Etr) w zależności od poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanki w poszczególnych odrostach (sumy dekadowe, średnie za okres badań)

Table 2. Yields of dry matter of grass sward (Q) and real evapotranspiration (Etr) depending on ground water level and species composition of mixture in particular regrowths (decade sums, study period means)

Gatunki i mieszanki Species and mixtures	Element badań Element of experiment	90 cm poziom wody gruntowej 90 cm ground water level					50 cm poziom wody gruntowej 50 cm ground water level				
		Odrost – Regrowth									
		I	II	III	IV	Σ	I	II	III	IV	Σ
<i>Poa pratensis</i>	Q, g·m ⁻²	277	318	392	276	1328	683	700	520	419	2323
	Etr, mm	119	191	154	107	571	234	266	226	214	940
<i>P. pratensis</i> + <i>Ph. pratense</i>	Q, g·m ⁻²	650	677	369	337	2033	833	869	361	330	2393
	Etr, mm	213	168	188	136	705	255	257	214	340	1066
<i>Phleum pratense</i>	Q, g·m ⁻²	854	873	377	393	2497	429	460	356	379	1625
	Etr, mm	254	264	223	155	896	211	310	262	208	991
<i>P. pratensis</i> + <i>L. perenne</i>	Q, g·m ⁻²	637	667	365	334	2002	646	675	432	400	2153
	Etr, mm	177	182	140	131	630	277	339	284	371	1271
<i>Lolium perenne</i>	Q, g·m ⁻²	533	552	438	563	2086	750	779	493	565	2586
	Etr, mm	163	289	253	242	947	300	406	356	347	1409

Najwyższe plony – niezależnie od poziomu wody gruntowej i mieszanki traw – otrzymano w odroście drugim; nieco niższe w odroście pierwszym. Najniższe plony zebrano podczas czwartego odrostu runi. Testowane gatunki traw lepiej plonowały przy wyższym poziomie wody gruntowej. Najwyższe plony uzyskano w obiektach z *L. perenne*, następnie w mieszance *P. pratensis* z *L. perenne*, a najniższe z *P. pratensis* (rys. 1).



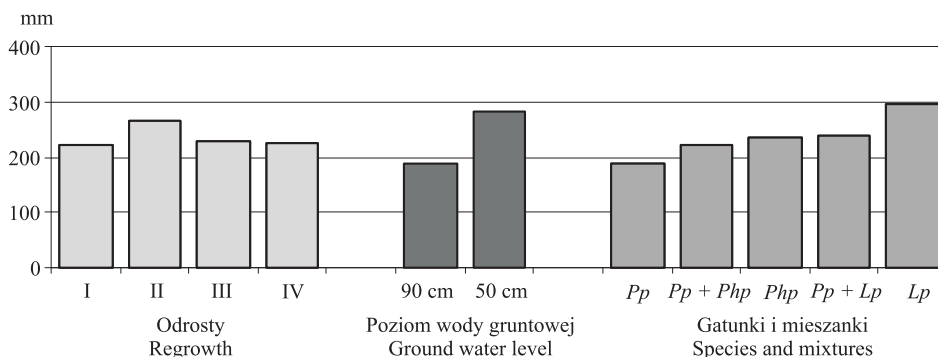
Rys. 1. Plony suchej masy siana w zależności od odrostu, poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanki (średnie za okres badań)

Fig. 1. Dry matter yields of hay depending on the regrowth, ground water level and the mixture species composition (study period means)

Zużycie wody na ewapotranspirację runi badanych gatunków traw, mierzone w lizymetrach, kształtowało się różnie w zależności od głębokości zalegania wody gruntowej, składu gatunkowego badanych obiektów roślinnych i wysokości plonów w po-

szczególnych odrostach. Wartości ewapotranspiracji runi zbieranej czterokrotnie wahały się w granicach od 119 do 289 mm przy 90 cm poziomie wody gruntowej oraz od 211 do 406 mm w obiektach, w których utrzymywano 50 cm poziom wody gruntowej (tab. 2). Zdaniem wielu autorów [Szajda 1989, Roguski i in. 1990, Łabędzki 1997, 2000], w procesie ewapotranspiracji istotną rolę odgrywa położenie zwierciadła wody, uwilgotnienie gleby czy właściwości retencyjne profilu glebowego. Wykazano także, że na fizyczny proces parowania decydujący wpływ ma gatunek i jego faza rozwojowa [Rivers i in. 1994, Baranowski i in. 1996, Martyniak 1999].

Najwyższe wartości ewapotranspiracji stwierdzono w trzecim odroście runi niezależnie od mieszanki i poziomu wody gruntowej. Najmniejsze zużycie wody notowano w okresie odrostu pierwszego i czwartego. Zużycie wody na ewapotranspirację za cały okres wegetacyjny było wyższe przy wyższym poziomie wody gruntowej. Średnio za okres badań najwyższe wartości ewapotranspiracji odnotowano w obiektach z *L. perenne*, nieco niższe w mieszance tego gatunku z *P. pratensis*, a najniższe w obiektach z *P. pratensis* (rys. 2).



objaśnienia jak na rys. 1 – explanations, see Figure 1

Rys. 2. Ewapotranspiracja rzeczywista [mm] runi trawiastej w zależności od odrostu, poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanki (średnie za okres badań)

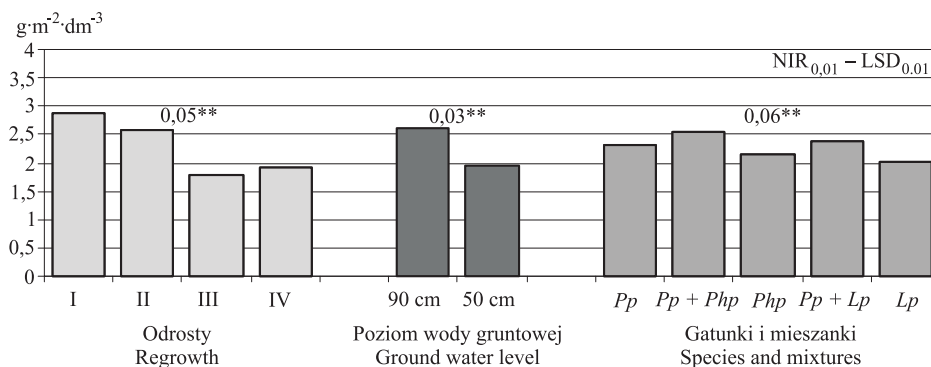
Fig. 2. Real evapotranspiration [mm] of grass sward depending on the regrowth, ground water level and the mixture species composition (study period means)

Efektywność produkcyjna wody

Jednym z czynników różnicujących wysokość ewapotranspiracji jest wielkość biomasy roślin [Pawłat 1990]. Do uzyskania wyższych plonów z jednostki powierzchni potrzeba bowiem większych ilości wody w procesie ewapotranspiracji. Ocena optymalizacji zużycia wody na produkcję biomasy badanych gatunków traw przeprowadzono w oparciu o kryterium, jakim jest efektywność produkcyjna wody (EPW) [Wolters i Bos 1989, Łabędzki 1997, Piekut 1997].

Wyniki badań wykazały, że efektywność produkcyjna wody była zróżnicowana w zależności od odrostu, poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanki (rys. 3). Wodę najefektywniej wykorzystywały gatunki w okresie pierwszego (2,86 g s.m.·dm⁻³) i drugiego odrostu (2,58 g s.m.·dm⁻³). Uważa się, że najintensywniejsze odrastanie runi użytków zielonych następuje w okresie wiosennym. Produkcyjności

runi trawiastej sprzyjają również znaczne zapasy wody po zimie, a niskie temperatury powietrza i duża wilgotność w czasie odrostu pierwszego pokosu ograniczają parowanie nieproduktywne, przyczyniając się do wysokiej efektywności produkcyjnej wody w tym okresie [Miształ 1999, Kopeć i Miształ 2001]. Na wyprodukowanie jednostki plonu trawy zużywały najwięcej wody w odroście trzecim (efektywność produkcyjna wody $1,79 \text{ g s.m.}\cdot\text{dm}^{-3}$). W badanym okresie, niezależnie od odrostu i składu gatunkowego mieszanki, istotnie wyższą efektywność produkcyjną wody notowano w warunkach niższego (90 cm) poziomu wody gruntowej. Utrzymywanie poziomu wody gruntowej na głębokości 50 cm powodowało spadek efektywności produkcyjnej wody o około 25% w stosunku do obiektów z niższym poziomem wody gruntowej (rys. 3). Spadek efektywności wykorzystania wody przez ruń trawiastą przy zwiększonym ponad optymalne uwilgotnieniu siedliska notowali także inni autorzy [Majdowski 1968, Łabędzki 1997, Piekut 1997]. Najwyższym produkcyjnym wykorzystaniem wody, niezależnie od odrostu i poziomu wody gruntowej, odznaczała się ruń mieszanki *P. pratensis* i *Ph. pratense*, najniższą z kolei *L. perenne* (rys. 3).



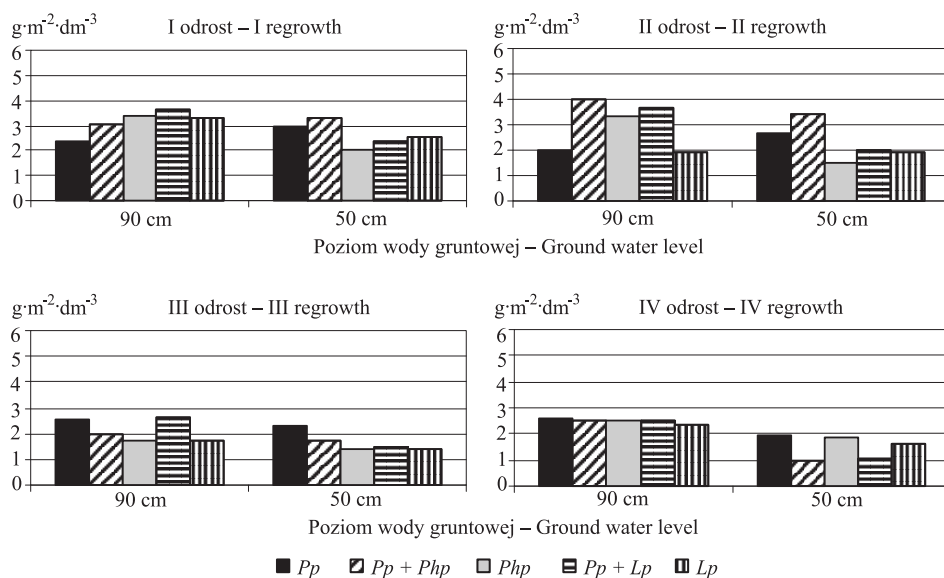
objaśnienia jak na rys. 1 – explanations, see Figure 1

Rys. 3. Efektywność produkcyjna wody (EPW) w zależności od odrostu, poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanki

Fig. 3. Productive efficiency of water (EPW) depending on the regrowth, ground water level and the mixture species composition

Wskaźnik efektywności produkcyjnej wody badanych gatunków traw w poszczególnych odrostach był znacznie zróżnicowany (rys. 4). W okresie pierwszego odrostu najwyższą efektywność produkcyjną wody otrzymano w obiektach z mieszanką *P. pratensis* z *L. perenne* ($3,6 \text{ g s.m.}\cdot\text{dm}^{-3}$) w warunkach niższego (90 cm) poziomu wody gruntowej i z mieszanką *P. pratensis* z *Ph. pratense* przy wyższym (50 cm) poziomie wody gruntowej. Z kolei najniższą efektywność produkcyjną wody zanotowano w przypadku jednogatunkowej runi *P. pratensis* przy niższym, a *Ph. pratense* przy wyższym poziomie wody gruntowej (odpowiednio $2,3$ i $2,0 \text{ g s.m.}\cdot\text{dm}^{-3}$). W okresie drugiego odrostu runi najoszczędniej gospodarowała wodą mieszanka *P. pratensis* + *Ph. pratense* zarówno przy niższym, jak i wyższym poziomie wody gruntowej ($4,03$ oraz $3,4 \text{ g s.m.}\cdot\text{dm}^{-3}$ wody). Natomiast najrozzrutniej *P. pratensis* przy 90 cm poziomie wody gruntowej ($1,7 \text{ g s.m.}\cdot\text{dm}^{-3}$), a *Ph. pratense* w wariancie z 50 cm poziomem wody gruntowej ($1,5 \text{ g s.m.}\cdot\text{dm}^{-3}$). W odroście trzecim, w warunkach wilgotnościowych, jakie

zapewniał 90 cm poziom wody gruntowej, najlepszą gospodarką wodną, odznaczała się mieszanka *P. pratensis* + *L. perenne*; jej efektywność produkcyjna wody wynosiła 2,6 g s.m. \cdot dm⁻³, natomiast przy wyższym poziomie (50 cm do lustra wody) run *P. pratensis* (2,3 g s.m. \cdot dm⁻³ wody). Najmniej efektywnie wodę wykorzystywała, w wariancie z niższym i wyższym poziomem wody gruntowej, *Ph. pratense*. Natomiast efektywność produkcyjna wody w odroście czwartym – ostatnim – była najwyższa w obiektach z *P. pratensis* zarówno przy 90 cm, jak i 50 cm poziomie wody gruntowej. Run *L. perenne* przy niższym poziomie wody gruntowej, a *P. pratensis* + *Ph. pratense* przy wyższym wykazywały najniższą efektywność produkcyjną wody zużytej w produkcji biomasy powyższych mieszanek.



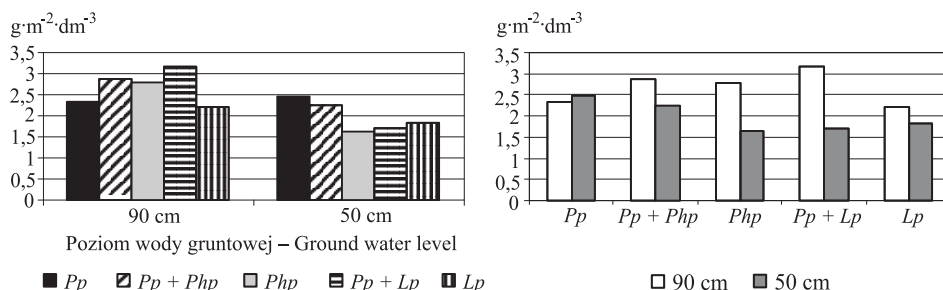
objaśnienia jak na rys. 1 – explanations, see Figure 1

Rys. 4. Efektywność produkcyjna wody [g s.m. \cdot m⁻² \cdot dm⁻³] w poszczególnych odrostach runi badanych gatunków traw w warunkach 90 i 50 cm poziomu wody gruntowej

Fig. 4. Productive efficiency of water [g dm⁻² \cdot dm⁻³] in particular sward regrowths of the grass species investigated for 90 and 50 cm ground water level

Analizując zużycie wody i jej efektywne wykorzystanie przez poszczególne gatunki za cały okres wegetacji, należy stwierdzić, że największą efektywnością produkcyjną wody odznaczały się zbiorowiska dwugatunkowe (*Pp* + *Php* i *Pp* + *Lp*) przy niższym poziomie, a zbiorowisko *P. pratensis* i jej mieszanka z *Ph. pratense* – przy wyższym poziomie wody gruntowej. Natomiast na wyprodukowanie jednostki plonu przy poziomie wody gruntowej 90 cm najwięcej wody potrzebowała *P. pratensis* i *L. perenne*, z kolei przy wyższym – 50 cm poziomie – *Ph. pratense* (rys. 5). Wysoką produktywność wody przez zbiorowiska wielogatunkowe i niską efektywność runi złożonej z *Ph. pratense* potwierdza w swoich badaniach również Pawłat [1990]. Spośród wszystkich ocenianych gatunków i mieszanek traw tylko jednogatunkowa run z *P. pratensis* wykazywała wyższą efektywność produkcyjną wody przy 50 cm poziomie wody grun-

towej. W przypadku pozostałych obiektów efektywniejsze produkcyjne wykorzystanie wody notowano przy niższym – 90 cm poziomie wody gruntowej. Średnie za okres wegetacji produkcyjne wykorzystanie wody przez badane trawy w okresie badań wahało się od 1,6 do 3,2 g s.m.⁻².dm⁻³ wody. Podobne wartości otrzymali w swoich badaniach inni autorzy [Łabędzki 1997, Misztal 2001].

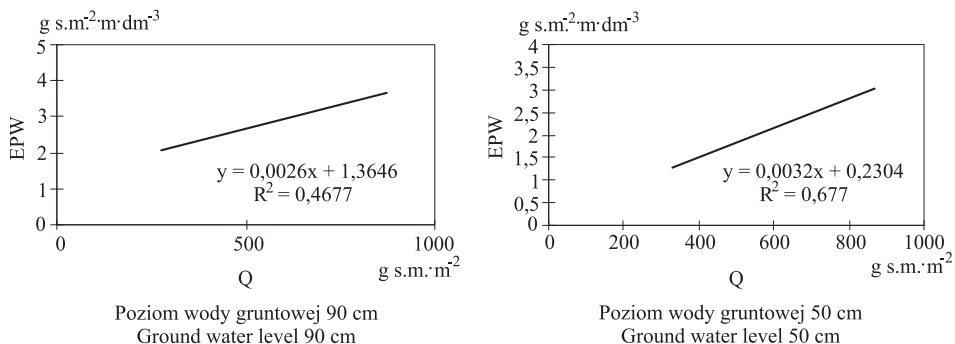


objaśnienia jak na rys. 1 – explanations, see Figure 1

Rys. 5. Efektywność produkcyjna wody [g·s.m.⁻².dm⁻³] runi trawiastej badanych gatunków traw za okres wegetacji (średnie z lat badań)

Fig. 5. Productive efficiency of water [g·dm⁻².dm⁻³] in grass sward of the grass species studied for the vegetation period (study years means)

Przeprowadzona analiza regresji liniowej potwierdziła występowanie istotnych zależności pomiędzy wielkością biomasy nadziemnej badanych gatunków traw a efektywnością produkcyjną wody (rys. 6). Zależności te były bardziej wyraźne w warunkach wyższego poziomu wody gruntowej (50 cm). Wartość współczynnika determinacji (R²) dowodzi, że różnice w efektywności produkcyjnej wody można wyjaśnić wysokością plonowania w około 50% w obiektach z poziomem wody gruntowej równym 90 cm, natomiast w 70% w warunkach 50 cm poziomu wody gruntowej.



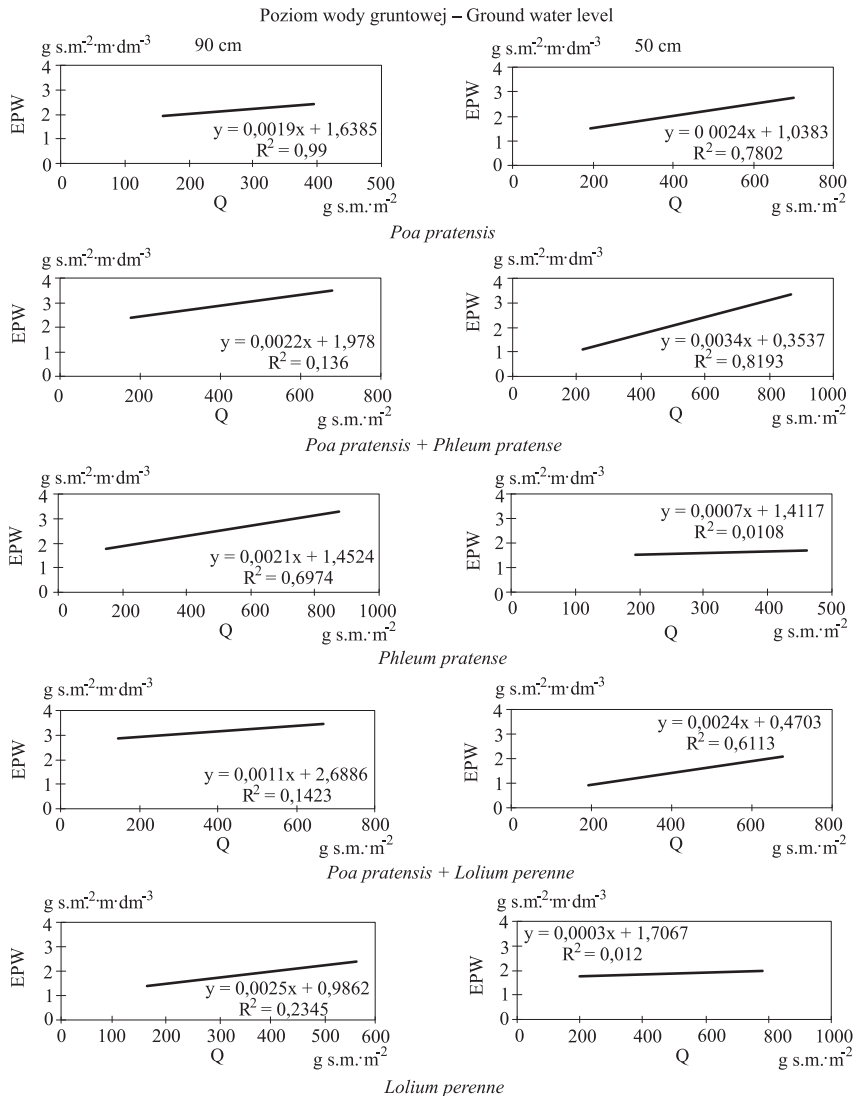
objaśnienia jak na rys. 1 – explanations, see Figure 1

Rys. 6. Zależność pomiędzy efektywnością produkcyjną wody (EPW [g·s.m.⁻².dm⁻³]) a plonem suchej masy (Q [g·s.m.⁻²])

Fig. 6. Dependence between the productive efficiency of water (EPW [g·dm⁻².dm⁻³]) and dry matter yield (Q [g·dm⁻²])

Efektywność produkcyjna wody badanych gatunków traw i ich mieszanek jest najmniejsza przy niskim poziomie plonów i zwiększa się wraz ze wzrostem plonowania.

Spośród badanych gatunków plony *P. pratensis* w największym procencie wpływały na wielkość efektywności produkcyjnej wody (przy głębokości do wody gruntowej 90 cm – 99%; 50 cm – 78%). EPW była silnie skorelowana z wysokością plonów *Ph. pratense* przy niższym poziomie wody gruntowej oraz z produkcją biomasy mieszanki *P. pratensis* + *Ph. pratense* i *P. pratensis* + *L. perenne* przy poziomie wyższym (rys. 7).



Rys. 7. Zależność pomiędzy efektywnością produkcyjną wody (EPW) a plonem suchej masy poszczególnych gatunków (Q)

Fig. 7. Dependence between the productive efficiency of water (EPW) and the dry matter yield for particular species (Q)

Analiza regresji liniowej nie wykazała istotnych zależności pomiędzy wysokością otrzymanych plonów obu zastosowanych mieszanek oraz *L. perenne* w warunkach 90 cm poziomu wody gruntowej, a także *Ph. pratense* i *L. perenne* przy poziomie wyższym.

WNIOSKI

1. Średnia efektywność produkcyjna wody, wyliczona dla poszczególnych odrostów, ocenianych gatunków oraz mieszanek traw i poziomów uwilgotnienia, była znacznie zróżnicowana.

2. Woda była wykorzystywana najefektywniej w czasie odrostu runi do pierwszego zbioru.

3. Spośród badanych gatunków traw najwyższą efektywnością produkcyjną wody – przy niższym uwilgotnieniu podłoża – odznaczały się zbiorowiska dwugatunkowe (*Pp* + *Php* i *Pp* + *Lp*), a zbiorowisko wiechliny łąkowej i jej mieszanki z tymotką łąkową – przy poziomie wyższym.

4. Zwiększenie uwilgotnienia siedliska powodowało spadek efektywności wykorzystania wody przez runi badanych gatunków.

5. Analiza regresji liniowej wykazała istotne zależności pomiędzy plonem suchej masy badanych gatunków traw a efektywnością produkcyjną wody.

PIŚMIENNICTWO

- Baranowski P., Mazurek W., 1996. Modelowanie procesu ewapotranspiracji – przegląd metod. VIII szkoła Fizyka z elementami agrofizyki. Modele wzrostu i plonowania roślin, PAN Lublin.
- Kopeć S., Misztal A., 2001. Ewapotranspiracja górskich użytków zielonych w świetle badań prowadzonych w rejonie Małych Pienin [W]: Produkcyjne zużycie wody przez agrocenozy i jej wpływ na środowisko wodno-glebowe, Wyd. IMUZ Falenty.
- Lipińska H., Baryła R., 2004. Zużycie wody na ewapotranspirację wybranych gatunków traw w zależności od poziomu wody gruntowej i składu gatunkowego mieszanek. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. E., Agricultura 59(2), 839-846.
- Łąbędzki L., 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Wyd. IMUZ Falenty (rozpr. habilitacyjna).
- Łąbędzki L., 2000. Wpływ poziomu wody gruntowej i wilgotności gleby torfowo-murszowej na ewapotranspirację łąki dwukośnej w dolinie Noteci. Wiad. IMUZ 20(3), 125-140.
- Majdowski F., 1968. Bilans wodno-pokarmowy łąki na glebie lekkiej nawadnianej miejskimi wodami ściekowymi na podstawie badań lizymetrycznych. Wiad. IMUZ VII(4), 13-39.
- Marcilonek S., Janus E., 1986. Produktywność wody na użytkach zielonych na mądzie lekkiej w świetle doświadczeń z deszczowaniem w latach 1968-1979. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 284, 621-633.
- Martyniak L., 1999. Określenie biologicznych wskaźników ewapotranspiracji rzeczywistej dla łąk śródpolnych wysokoplonujących w rejonie niziny Południowo-Mazowieckiej. Mat. Międzynarodowej Konf. Nauk. Tech. Rola użytków zielonych i zadrzewień w ochronie środowiska rolniczego, Kraków-Jaworki, 207-217.
- Misztal A., 1999. Efektywność produkcyjna wody zużytej w procesie produkcji biomasy przez runi górskich użytków zielonych. Mat. Międzynarodowej Konf. Nauk. Tech. Rola użytków zielonych i zadrzewień w ochronie środowiska rolniczego, Kraków-Jaworki, 219-228.
- Misztal A., 2001. Produkcyjne wykorzystanie wody oraz odpływ wgłębny na użytkach zielonych. [W]: Produkcyjne wykorzystanie wody oraz odpływ wgłębny w zależności od sposobu użytkowania gleby w warunkach górskich, Wyd. IMUZ Falenty-Kraków, 14-38.

- Nazaruk M., Piekut K., 1997. Wpływ gospodarki wodą na produktywność łąk. Wiad. Melior. Łąk. 1, 11-15.
- Pawłat H., 1986. Efektywność wody w zróżnicowanych warunkach intensyfikacji produkcji łąkowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 284, 635-643.
- Pawłat H., 1990. Ewapotranspiracja nawadnianych zbiorowisk trawiastych w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 121-132.
- Piekut K., 1997. Stan zrównoważenia ekosystemów łąkowych w warunkach zróżnicowanej gospodarki wodno-pokarmowej. Wyd. SGGW Warszawa, Rozpr. Nauk. i Monografie.
- Próńczuk J., 1970. Wpływ poziomu wody gruntowej na skład botaniczny i wartość paszową runi łąkowej. Roczn. Nauk Rol. 77(3), 113-328.
- Rivers E., Garcia de Cortazar V., Landi H., 1994. Productivity – evapotranspiration relationship in a temperature high quality pasture. Proc. of the 15th Gen. Met. EGF Wageningen Pers, 117-123.
- Roguski W., Łabędzki L., Weyna A., 1990. Zależność ewapotranspiracji użytków zielonych od wskaźnika klimatycznego (Etp), poziomu wody gruntowej, opadu i plonu. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracje 35, 9-14.
- Szajda J., 1989. Ewapotranspiracja potencjalna jako wskaźnik ewapotranspiracji rzeczywistej łąki i pastwiska na glebie torfowo-murszowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 390, 135-148.
- Vinczeffly I., 1984. The effects of some ecological factors on grass yield. Proc. of the 10th Gen. Meet. Europ. Grassld. Fed., As, 76-79.
- Wolters W., Bos MG., 1989. Irrigation performance assessment and irrigation efficiency. Ann. Report ILRI, 25-37.
- Zawadzki S., 1973. Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnej utworów glebowych. Wiad. IMUZ 11(2), 11-31.

PRODUCTIVE EFFICIENCY OF WATER USED FOR PRODUCING THE BIOMASS OF SELECTED GRASS SPECIES

Abstract. The study dealt with the evaluation of the productive efficiency of water for selected grass species under different ground water levels and grass mixture species composition. The productive efficiency of water was estimated based on lysimetric measurements of 2001-2003 which involved *Poa pratensis*, *Phleum pratense* and *Lolium perenne* in pure stand as well as *P. pratensis* with *Ph. pratense* and *P. pratensis* with *L. perenne* mixtures. Grasses developed under constant levels of ground water (50 and 90 cm). The same level of mineral fertilization was applied for all the treatments. The results demonstrate that the mean productive efficiency of water for the vegetation period at Sosnowica ranged from 1.6 to 3.2 g dm⁻²·dm⁻³ of water and varied depending on the botanical composition of the sward and the ground water level. At lower ground water level (90 cm), two-species communities and *P. pratensis* and its mixture with *Ph. pratense* at a higher water level (50 cm) showed the highest efficiency. Water was used least effectively by *L. perenne* sward. Keeping a high level of ground water decreased the productive efficiency of water. Significant dependences between the yield and the productive efficiency of water were found.

Key words: productive efficiency of water, actual evapotranspiration, lysimeters, grass mixtures, yields, level of ground water

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.12.2006