

Wpłynęło 04.10.2013 r.
Zrecenzowano 11.12.2013 r.
Zaakceptowano 16.12.2013 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

WPŁYW POZIOMU WODY GRUNTOWEJ I WILGOTNOŚCI GLEBY PIASZCZYSTEJ NA ROCZNE PRZYROSTY BIOMASY WIERZBY WICIOWEJ W ŚWIETLE BADAŃ LIZYMETRYCZNYCH

Mariusz RYDAŁOWSKI ^{ABCDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Inżynierii Wodnej i Melioracji

Streszczenie

Badano w latach 2009–2012 zależność między plonem wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) a głębokością zwierciadła wody gruntowej na stacji lizymetrycznej w Falentach na czarnej ziemi zdegradowanej. Zwierciadło wody w lizymetrach w sezonie wegetacyjnym IV–X utrzymywano na stałym poziomie 30, 100 i 170 cm poniżej powierzchni gruntu. Corocznie zastosowano takie same dawki nawożenia, jak w otoczeniu, tj. 50 kg·ha⁻¹ N, 30 kg·ha⁻¹ P₂O₅ i 70 kg·ha⁻¹ K₂O. W lizymetrach mierzone wilgotność gleby, przyrost biomasy oraz plon końcowy.

Badania wykazały istotny wpływ głębokości zwierciadła wody gruntowej oraz warunków pogodowych roku na plon wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) w pierwszych dwóch latach uprawy. W warunkach położenia zwierciadła wody gruntowej na głębokości 30 cm (wariant A), stwierdzono istotnie mniejszy plon w porównaniu z pozostałymi wariantami (B – 100 cm i C – 170 cm). Nie wykazano istotnej różnicy w rocznych przyrostach biomasy wierzby między wariantami B i C.

Badania lizymetryczne wykazały również, że wraz z wiekiem rośliny następuje zmniejszenie zależności plonu wierzby od warunków wodnych oraz zmniejszenie plonu. W latach 2011 i 2012 nie stwierdzono istotnej różnicy między plonami we wszystkich wariantach poziomu wody gruntowej.

W warunkach ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej i stałej pokrywy roślinnej osłaniającej glebę, wahania opadów w badanym okresie nie miały istotnego wpływu na zmienność uwilgotnienia gleby.

Słowa kluczowe: plon, poziom wody gruntowej, wierzba energetyczna

Do cytowania For citation: Rydałowski M. 2013. Wpływ poziomu wody gruntowej i wilgotności gleby piaszczystej na roczne przyrosty biomasy wierzby wiciowej w świetle badań lizymetrycznych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13. Z. 4(44) s. 115–128.

WSTĘP

Powstały w Polsce „Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych” [Ministerstwo Gospodarki 2010], jest realizacją zobowiązania wynikającego z art. 4 ust. 1 dyrektywy 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady [Dyrektywa 2009/28/WE]. Jego głównym celem jest osiągnięcie w Polsce 15-procentowego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r. Jedną z możliwości osiągnięcia tego celu jest spopularyzowanie oraz rozszerzenie w Polsce uprawy wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.), zwanej potocznie energetyczną.

Na podstawie opracowanej przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) komputerowej prognozy wzrostu i produktywności wierzby wiciowej na plantacjach polowych stwierdzono, że w Polsce istnieją korzystne warunki do produkcji drewna z wierzb [BANASZYŃSKI i in. 2004].

Plantacje wierzby mogą być lokalizowane w rejonach, w których gleby od marca do końca października są dostatecznie wilgotne. Wierzba wiciowa reaguje szczególnie wyraźnie na przebieg warunków pogodowych od połowy czerwca do końca sierpnia, kiedy to następuje intensywny przyrost masy. Mimo że jest rośliną wodolubną, nie znosi terenów okresowo pozostających pod wodą. Susza natomiast powoduje spadek plonowania nawet o 50%. Jest ona szczególnie niebezpieczna w okresie przyjmowania się zrzesów. Oprócz wody opadowej, duże znaczenie dla wierzby ma wilgoć nagromadzona w glebie po zimie oraz odpowiedni poziom wody gruntowej. Optymalny poziom wody gruntowej, określony na podstawie badań polowych wynosi 100–300 cm dla gleb piaszczystych oraz 160–190 cm dla gliniastych [BANASZYŃSKI i in. 2004; DUBAS, TOMCZYK 2005; JURCZUK, RYDAŁOWSKI 2009; KUŚ i in. 2008; LIZIŃSKI, AUGUSTYNIAK 2005; SZCZUKOWSKI, TWORKOWSKI 2001].

Uważa się, że wieloletnie uprawy roślin energetycznych mają większe wymagania wodne niż tradycyjne rośliny uprawne, produkują one bowiem większą ilość biomasy. Może to niekorzystnie wpływać na warunki wodne, panujące w okolicy zakładanych plantacji i zaburzać równowagę wodną w środowisku.

Badania w zakresie gospodarki wodnej roślin energetycznych w Polsce rozwijają się bardzo dynamicznie. Pojawiło się wiele publikacji, są to jednak głównie artykuły przeglądowe bądź oparte na modelowaniu matematycznym lub badaniach polowych, nieuwzględniających poziomu wody gruntowej. Również w literaturze zagranicznej informacje o wymaganiach wodno-siedliskowych roślin energetycznych są niepełne i mają charakter ogólny [ALLEN i in. 1998; CASLIN i in. 2010; HALL 2003; JØRGENSEN, SCHELDE 2001; ZSEMBELII 2013]. Prowadzenie gospodarki wodnej na plantacjach energetycznych, opartej wyłącznie na analizie wielkości i rozkładu opadów w roku może być mało precyzyjne. Ważnym elementem w bilansie wodnym plantacji jest głębokość zwierciadła wody gruntowej. Potrzeby wodne upraw rolniczych, rozumiane jako zapotrzebowanie na wodę niezbędną do

osiągnięcia określonego efektu produkcyjnego, mogą być zaspokajane w wyniku opadu atmosferycznego, naturalnego dopływu wód gruntowych lub nawodnień. Wszystkie te zjawiska i procesy mają bezpośredni wpływ na ilość wody zretencjonowanej w glebie i dostępnej dla roślin.

Celem badań, których wyniki zaprezentowano w niniejszej pracy, było zbadanie wpływu głębokości poziomu wody gruntowej i wilgotności gleby piaszczystej na roczne przyrosty biomasy nadziemnej wierzby wiciowej na podstawie badań lizymetrycznych.

METODY BADAŃ

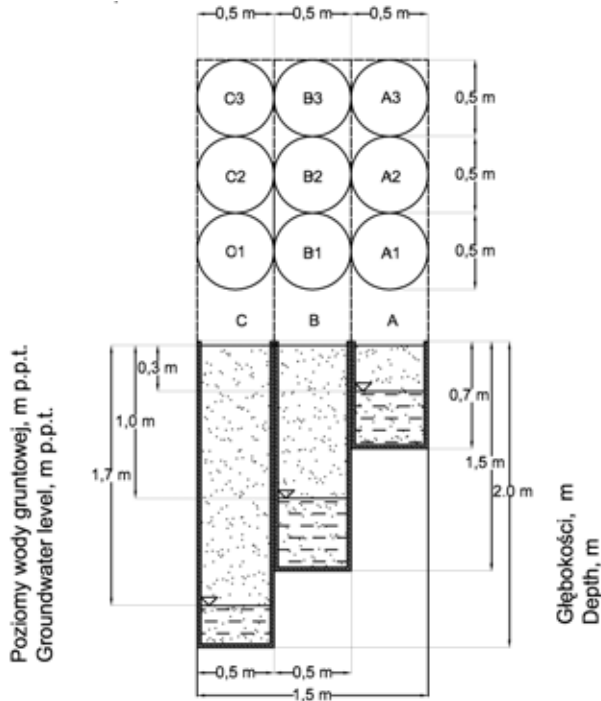
Do przeprowadzenia badań wykorzystano lizymetry umieszczone w łanie wierzby wiciowej odmiany Turbo na polu badawczym w Falentach. Pole doświadczalne jest położone na czarnej ziemi zdegradowanej, klasy bonitacyjnej V. Warstwa próchniczna o głębokości 60 cm jest zbudowana z piasku słabogliniastego, podścielonego piaskiem luźnym. Lizymetry wykonano z rur z tworzywa sztucznego oraz szczelnej pokrywy dennej. W lizymetrach zainstalowano urządzenie do regulowania poziomu wody (rurka i zbiorniczek w dnie cylindra).

Każdy lizymetr miał średnicę 0,5 m oraz zróżnicowaną głębokość: 0,7, 1,5 i 2,0 m (rys. 1). Doświadczenie prowadzono w 3 wariantach:

- wariant A, zwierciadło wody gruntowej na głębokości 30 cm;
- wariant B, zwierciadło wody gruntowej na głębokości 100 cm;
- wariant C, zwierciadło wody gruntowej na głębokości 170 cm.

Każdy wariant występował w 3 powtórzeniach. Doświadczenia rozpoczęto wiosną 2008 r. W każdym lizymetrze umieszczono jedną roślinę. Obszar wokół lizymetrów został zagospodarowany i również wiosną obsadzony wierzwą tak, aby powstał zwarty łan. W lizymetrach stosowano corocznie takie same dawki nawożenia, jak w otoczeniu, tj. N 50 kg·ha⁻¹, P₂O₅ 30 kg·ha⁻¹ i K₂O 70 kg·ha⁻¹.

Stały poziom wody gruntowej utrzymywano przez dolewanie lub odpompowywanie wody, której objętość mierzono. Głębokość zwierciadła wód gruntowych w poszczególnych wariantach lizymetrycznych ustalono na podstawie przeglądu literatury. Postawiono hipotezę, że optymalny poziom wody gruntowej niezbędny do osiągnięcia maksymalnego możliwego plonu wierzby wiciowej wynosi 100 cm. W celu zdiagnozowania plonowania i rozwoju rośliny w warunkach nadmiernego uwilgotnienia, w których gleba niemal w pełni nasycona jest wodą, ustalono poziom wody gruntowej na głębokości 30 cm. Drugą wartość graniczną poziomu wody gruntowej ustalono proporcjonalnie do różnicy między poziomem optymalnym, a poziomem nadmiernego uwilgotnienia, na głębokości 170 cm. Przez optymalny poziom wody gruntowej rozumie się taką stałą wysokość zwierciadła wody w glebie, przy której osiąga się maksymalny plon rośliny, w stałych warunkach troficznych.



Rys. 1. Schemat poglądowy stacji lizymetrycznej na polu badawczym w Falentach;
źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Schematic diagramme of lysimetric station in the experimental field in Falenty;
source: own elaboration

W lizymetrach mierzono wilgotność gleby i przyrost biomasy. Wilgotność gleby mierzono w odstępach 10-dniowych, za pomocą czujników, których liczbę uzależniono od utrzymywanego poziomu wody: przy poziomie wody 30 cm – 3 czujniki na głębokościach: 5, 15 i 25 cm, przy poziomie wody 100 cm – 5 czujników na głębokościach: 5, 15, 35, 55 i 75 cm oraz przy poziomie wody 170 cm – 7 czujników na głębokościach: 5, 25, 45, 65, 95, 125 i 155 cm. Plon wagowy uzyskano przez pomiar masy rośliny corocznie ścinanej w okresie zimowym (odrosty jednoroczne) i pozbawionej liści, z użyciem wagi z dokładnością do 0,1 g. Tak uzyskany i pomierzony plon nazwano plonem zielonej (świeżej) masy. Ścięte pędy suszono w suszarkach laboratoryjnych w temperaturze 105°C do momentu, aż ich masa nie uległa zmianie. Uzyskano w ten sposób plon masy absolutnie suchej, wyrażony w kg. Wysokość plonów przeliczono następnie na jednostkę $t \cdot ha^{-1}$, w warunkach rzeczywistej obsady wierzby na poletku badawczym w Falentach ($40,4 \text{ tys. szt.} \cdot ha^{-1}$). W celu uzyskania rzeczywistego plonu, określano jego udatność, analizując, ile roślin corocznie obumiera na plantacji. Analizie poddawano próbę losową 100 roślin, z 10 rzędów równomiernie rozłożonych na poletku, po 10 kolejnych roślin.

Średnia wartość udatności z 5 lat wyniosła 85,4%, co oznacza, że średnio na każde 100 roślin na plantacji obumarło 15 z nich. Wyliczoną udatność uwzględniono w plonie końcowym.

Zapasy wody w glebie W_i , wyrażone w kg wody na lizyometr, określono z równania:

$$W_i = F h w_o \rho_w \quad (1)$$

gdzie:

F – powierzchnia przekroju lizymetru, m^2 ($F = 0,2 m^2$);

h – miąższość warstwy gruntu, m;

w_o – wilgotność objętościowa gleby;

ρ_w – gęstość objętościowa wody, $kg \cdot m^{-3}$; założono $1000 kg \cdot m^{-3}$.

Sonda dokonano pomiaru wilgotności objętościowej gleby (w %), w obrębie 5 cm od czujnika w każdym kierunku, podając jedną uśrednioną wartość. Zatem, jeżeli czujnik znajduje się na głębokości 5 cm, pomiar jest miarodajny dla warstwy 0–10 cm. Korzystając ze wzoru (1), określono zapasy wody dla 10-centymetrowych warstw gleby, a następnie zsumowano poszczególne zapasy cząstkowe, w celu obliczenia zapasu wody w glebie w strefie aeracji dla całego lizymetru. Jeśli czujnik nie występował na pożądanej głębokości, wartość wilgotności interpolowano między najbliższymi czujnikami. Do celów porównawczych wyniki przeliczono na mm słupa wody ($1 mm = 1 dm^3 \text{ wody} \cdot m^{-2} = 1 kg \text{ wody} \cdot m^{-2}$).

Wartości plonów w poszczególnych wariantach w okresie badawczym poddano weryfikacji statystycznej. W tym celu przeprowadzono analizę wariancji ANOVA dla układów czynnikowych z powtarzalnymi pomiarami, wykorzystując program Statistica. Dokonano oceny istotności wpływu stałego poziomu wody gruntowej na plon. Do analiz przyjęto dane z okresu 2009–2012. Rok 2008 odrzucono, uznając, że warunki ukorzenia roślin w tym roku były znacząco odmienne, niż w latach pozostałych. Zrzesy sadzono pod koniec marca 2008 r. Nie miały one wówczas wykształconego systemu korzeniowego, zatem poziom wody gruntowej, szczególnie w początkowym okresie wegetacji roślin, nie mógł mieć wpływu na ich wzrost. W lizymetrach w wariantach B i C (100 i 170 cm) rośliny wykorzystywały wodę wyłącznie retencjonowaną w glebie. W lizymetrach w wariantach A, w którym głębokość zwierciadła wody gruntowej wynosiła 30 cm, woda gruntowa była dostępna dla roślin już na początku doświadczenia.

Do oceny istotności wpływu poziomu wody gruntowej na plon zastosowano rozkład F, a istotność różnic plonu w warunkach różnego położenia zwierciadła wody gruntowej badano za pomocą testu Newmana-Keulsa. Zbadano również zależność wpływu sumy opadów atmosferycznych na zmienność średniej wilgotności gleby, w stałych warunkach glebowych, poziomu wody gruntowej oraz pokrycia gleby.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W okresie badań mierzono dwa podstawowe czynniki meteorologiczne, mające wpływ na uwilgotnienie gleby i poziom wody gruntowej – opad, jako dopływ wody do lizymetrów, i temperaturę powietrza, jako element decydujący o stratach wody (parowanie terenowe).

Pomiary prowadzono na stacji meteorologicznej w Falentach, znajdującej się w bezpośredniej styczności z obiektem badawczym (ok. 50 m).

Zmienność sum opadów atmosferycznych w okresie wegetacyjnym scharakteryzowano wykorzystując klasyfikację wprowadzoną przez KACZOROWSKĄ [1962]: okres skrajnie suchy (opad poniżej 50% opadu średniego z wielolecia); okres bardzo suchy (opad od 51 do 74% opadu średniego); okres suchy (opad od 75 do 89% opadu średniego); okres przeciętny (opad w zakresie 90–110% opadu średniego); okres mokry (opad od 111 do 125% opadu średniego); okres bardzo mokry (opad od 126 do 149% opadu średniego); okres skrajnie mokry (opad powyżej 150% opadu średniego).

Średnia roczna suma opadu atmosferycznego w okresie wegetacyjnym (IV–X) z lat 2008–2012 wyniosła 519,7 mm. Była aż o 129,0 mm większa niż średnia z wielolecia 1966–2009 i stanowiła 133% jego wysokości. Według klasyfikacji Kaczorowskiej lata 2008 i 2012 zaklasyfikowano do okresu o przeciętnej wysokości opadu, lata 2009 i 2011 – do okresu bardzo mokrego, natomiast 2010 r. był skrajnie mokry – suma opadów prawie dwukrotnie przekroczyła wartość z wielolecia 1966–2009 (tab. 1).

Tabela 1. Średnie temperatury powietrza i opady w okresie wegetacyjnym (IV–X) w latach 2008–2012 na stacji meteorologicznej w Falentach

Table 1. Mean air temperature and precipitations in the growing season (April–October) of the years 2008–2012 in meteorological station in Falenty

Rok Year	Temperatura Temperature °C	Opad Precipitation mm	Zmienność opadu Precipitation variability %	Klasyfikacja zmienności opadu wg Kaczorowskiej Kaczorowska's classification of precipitation variability
2008	14,8	403,1	103	przeciętny average
2009	14,2	524,8	134	bardzo mokry very wet
2010	14,2	762,7	195	skrajnie mokry extremely wet
2011	14,8	552,0	141	bardzo mokry very wet
2012	15,0	355,8	91	przeciętny average
2008–2012	14,6	519,7	133	bardzo mokry very wet
1966–2009	14,2	390,7	–	–

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Pod względem temperatury powietrza lata 2008–2012 należy zaliczyć do ciepłych. Średnia wartość temperatury powietrza we wszystkich latach okresu badawczego była większa (2008, 2011, 2012) lub równa (2009, 2010) średniej z wielolecia 1966–2009 (tab. 1).

Badania przeprowadzone w latach 2009–2012 wykazały, że wraz z wiekiem rośliny następuje zmniejszenie zależności plonu wierzby od warunków wodnych. Wysokości plonów we wszystkich lizymetrach w 2012 r. były bardziej zbliżone, niż w latach poprzedzających. Wartości ekstremalne nie odbiegają znacznie od wartości średniej. W latach 2011 i 2012 nie stwierdzono istotnej różnicy między plonami, we wszystkich wariantach poziomu wody gruntowej. W latach 2009–2012 średnie plony z lizymetrów wahały się w przedziale 5,79–12,90 t·ha⁻¹ i początkowo cechowały się dużym zróżnicowaniem między poszczególnymi lizymetrami. Średni plon w latach 2009–2012 wyniósł: w lizymetrze w wariantcie A (30 cm) – 9,74 t·ha⁻¹; B (100 cm) – 13,28 t·ha⁻¹; C (170 cm) – 11,92 t·ha⁻¹ (tab. 2). Na poletku wokół lizymetrów średni plon z okresu 2009–2012 wyniósł 11,62 t·ha⁻¹, w warunkach poziomu wody gruntowej w zakresie 29–153 cm poniżej poziomu gruntu. W przeważającej części roku wahania te mieściły się w przedziale 80–120 cm. Tak duże wahania poziomu zwierciadła wody podziemnej w krótkim czasie mogą być spowodowane regulacją poziomów wody w stawach rybnych, oddalonych o kilkaset metrów od plantacji, z jednoczesnym nałożeniem się deszczy nawalnych lub długotrwałych susz. Wielkości masy pojedynczych krzewów w łanie były bardzo zróżnicowane.

Tabela 2. Plony suchej masy wierzby *Salix viminalis* L. na stacji lizymetrycznej w Falentach, w latach 2008–2012

Table 2. Dry matter yield of willow *Salix viminalis* L. in lysimetric station in Falenty in the years 2008–2012

Wariant Variant	Plon wierzby (masa absolutnie sucha), t·ha ⁻¹ Yield of willow (absolutely dry mass), t·ha ⁻¹					średni mean 2009–2012
	2008	2009	2010	2011	2012	
A – 30 cm	14,26	11,02	7,19	8,28	7,93	9,74
B – 100 cm	17,13	11,66	14,23	11,98	11,40	13,28
C – 170 cm	9,70	16,04	11,71	12,80	9,36	11,92
Poletko/łan Field	6,74	10,12	11,99	10,95	13,42	11,62

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Plony wierzby w lizymetrach były zbliżone do plonów uzyskanych w badaniach polowych o podobnych warunkach glebowo-wodnych i troficznych. Plony wierzby wiciowej w ścisłych doświadczeniach polowych przeciętnie mieszczą się w granicach 10–12 t·ha⁻¹ [WORKOWSKI i in. 2006]. KUŚ, MATYKA [2010] w swo-

ich badaniach otrzymali plony suchej masy drewna zbieranej co roku niezależnie od klonu i odmiany od $12,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ na glebie średniej, do $14,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ na glebie lekkiej, o stosunkowo wysokim poziomie wód gruntowych (200–250 cm). Plony wierzby uprawiane w doświadczeniach ścisłych, prowadzonych w optymalnych warunkach wzrostu roślin, osiągały do $30,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ [STOLARSKI i in. 2008; SZCZUKOWSKI i in. 2005]. Na glebach mineralnych, bez zasilania wodą gruntową, o większym zapasie wody użytecznej, średni plon wyniósł $13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, na słabszych plon był mniejszy – $8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ [ŁABĘDZKI, KANECKA-GESZKE 2010]. Wysokość plonów biomasy wierzby wiciowej może być bardzo zróżnicowana i jest wypadkową wielu czynników klimatyczno-siedliskowych i agrotechnicznych [MAJTKOWSKI i in. 2010].

Jednowymiarowy test istotności F wykazał, że istotny wpływ na plon miały wszystkie analizowane czynniki (tab. 3), tzn. głębokość zwierciadła wody gruntowej oraz warunki pogodowe roku (na poziomie $\alpha = 0,05$). Stwierdzono również istotny wpływ interakcji warunków pogodowych roku i poziomów zwierciadła wody gruntowej.

Tabela 3. Prawdopodobieństwo p błędu odrzucenia hipotezy o braku istotnego wpływu głębokości zwierciadła wody gruntowej H (czynnik 1) oraz warunków pogodowych roku (czynnik 2) na plon na poziomie $\alpha = 0,05$

Table 3. Significance of the effect of groundwater table depth (factor 1) and climatic conditions (factor 2) at $\alpha = 0.05$

Czynnik	Factor	p
Rok	Year	0,000435
H Wariant	H Variant	0,000020
Rok-Wariant	Year-Variant	0,015424

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Stwierdzono istotną różnicę (na poziomie $\alpha = 0,01$) plonów wierzby w warunkach zwierciadła wody gruntowej na głębokości 30 i 100 cm oraz 30 i 170 cm. Nie wykazano istotnej różnicy między wariantami B i C (tab. 4). W warunkach położenia zwierciadła wody gruntowej na głębokości 30 cm (wariant A) stwierdzono istotnie mniejszy plon w porównaniu z pozostałymi wariantami (B – 100 cm i C – 170 cm). Weryfikacji poddano również różnice wartości plonów wierzby w poszczególnych latach. Stwierdzono istotną różnicę między plonami z 2009 r. i z pozostałych lat (2010–2012) (tab. 5).

Różnicę zapasów wody na poszczególnych głębokościach między początkiem, a końcem okresu wegetacyjnego w 2012 r., którą nazywa się wyczerpywaniem wody z gleby, przedstawiono na rysunku 2. Największe wyczerpywanie występuje na głębokości równej 1/3 miąższości strefy aeracji. W strefie przypowierzchniowej gleby, w której brak systemu korzeniowego rośliny, wyczerpywanie jest małe. Im

Tabela 4. Istotność różnic plonu wierzby *Salix viminalis* L. w warunkach różnej głębokości wody gruntowej, zbadana za pomocą testu Newmana-Keulsa

Table 4. Significance of differences (Newman-Keuls test) in the yield of willow *Salix viminalis* L. between different groundwater levels

Różnica między wariantami Differences between variants	Zmienna badana (zależna) – plon Dependent variable – yield
A–B	**
A–C	**
B–C	ns

Objaśnienia: A – woda gruntowa na głębokości 30 cm, B – woda gruntowa na głębokości 100 cm, C – woda gruntowa na głębokości 170 cm, ns – brak istotnych różnic, ** – różnica istotna na poziomie $\alpha = 0,01$.

Explanations: A – groundwater table depth of 30 cm, B – groundwater table depth of 100 cm, C – groundwater table depth of 170 cm, ns – no statistically significant difference, ** – statistically significant difference at $\alpha = 0.01$.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 5. Istotność różnic plonu wierzby *Salix viminalis* L. w warunkach poszczególnych lat, zbadana za pomocą testu Newmana-Keulsa

Table 5. Significance of differences (Newman-Keuls test) in the yield of willow *Salix viminalis* L. between different years

Różnica między latami Differences between years	Zmienna badana (zależna) – plon Dependent variable – yield
2009–2010	*
2009–2011	*
2009–2012	*
2010–2011	ns
2010–2012	ns
2011–2012	ns

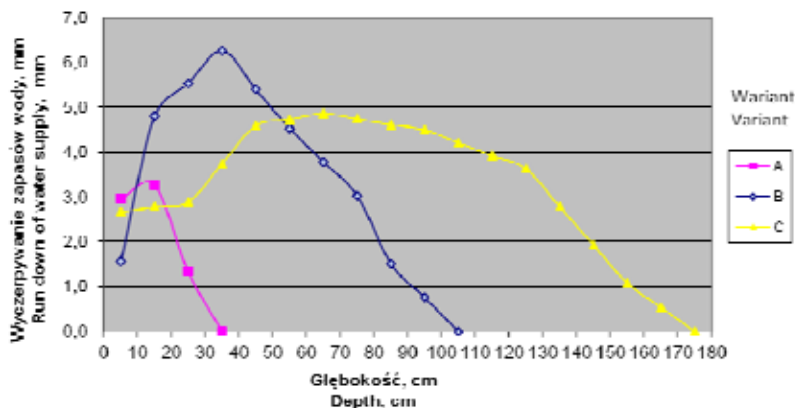
Objaśnienia: ns – brak istotnych różnic, * – różnica istotna na poziomie $\alpha = 0,05$.

Explanations: ns – no statistically significant difference, * – statistically significant difference at $\alpha = 0.05$.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

blżej do poziomu wód gruntowych, różnica zapasów wody między początkiem a końcem okresu wegetacyjnego maleje. Największe wyczerpywanie wystąpiło w lizymetrach w wariancie B, na głębokości 40 cm. Rozkład wyczerpywania się wody w profilu glebowym we wszystkich latach w badanym okresie był zbliżony.

Przeanalizowano zmienność zapasów wody w glebie w strefie aeracji w odstępach dekadowych dla całego okresu badawczego. W wariancie A krzywa zapasów wody była płaska, nie reagowała tak silnie na warunki opadowe, czy pobieranie wody przez rośliny. Rozkłady zapasów wody w wariantach B i C, niemal się pokrywają oraz cechują nieco większą zmiennością, wynikającą z rozkładu opadów atmosferycznych, w porównaniu z wariantem A. Zapasy wody w strefie aeracji



Rys. 2. Wyczerpywanie zasobów wody w glebie w wariantach poziomu wody gruntowej: A – 30 cm, B – 100 cm, C – 170 cm, na stacji lizymetrycznej w Falentach w 2012 r.; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Depletion of soil water resources at groundwater table depths: A – 30 cm, B – 100 cm, C – 170 cm in lysimeter station in Falenty in the year 2012; source: own study

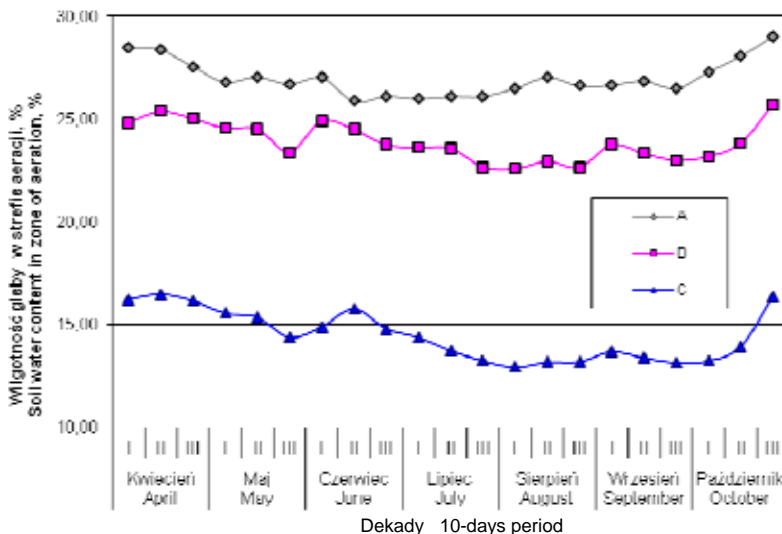
w wariantcie C były nieznacznie większe niż w wariantcie B oraz trzykrotnie większe niż w A. Wartości te nie są jednak porównywalne, ze względu na różną miąższość strefy aeracji w poszczególnych wariantach. Aby wyeliminować wpływ tego czynnika dokonano analizy wielkości zasobów wody oraz wilgotności gleby we wszystkich lizymetrach w tej samej strefie 0–30 cm oraz w przeliczeniu na jednostkę miąższości strefy aeracji profilu glebowego (rys. 3).

Największa wilgotność w warstwie gleby 0–30 cm, a zatem i zapasy wody w glebie, występowała w wariantcie A i charakteryzowała się bardzo małą zmiennością. W przypowierzchniowej warstwie gleby, krzywa zasobów w wariantcie B i C cechowała się nieco większymi wahaniami wartości oraz mniejszymi zasobami wody w stosunku do wariantu A (B – ok. 80%, C – ok. 70 % wartości wariantu A).

Przez średnią wilgotności w glebie w strefie aeracji (w %) w poszczególnych lizymetrach rozumie się wartość średnią uzyskaną z wartości wilgotności (w %) w warstwach co 10 cm w strefie aeracji, następnie uśrednioną dla całej serii lizymetrycznej (trzy powtórzenia).

W strefie aeracji, rozumianej jako strefę od poziomu wody gruntowej do powierzchni gruntu, największa średnia wilgotność występuje w wariantcie A (26–28%), nieznacznie mniejsza jest w wariantcie B (23–26%). Natomiast w wariantcie C zawartość wody w glebie jest mała, mieści się w przedziale (13–17 %) (rys. 3).

W całym 5-letnim okresie badawczym uwilgotnienie gleby w poszczególnych lizymetrach i na poszczególnych głębokościach mieściło się w tych samych, wąskich przedziałach. Oznacza to, że w warunkach ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej oraz stałej, gęstej pokrywy roślinnej osłaniającej glebę, wahania opadów w badanym okresie, nie miały istotnego wpływu na średnią wilgotność gleby w strefie aeracji.



Rys. 3. Rozkład średniej dekadowej wilgotności w glebie w strefie aeracji w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego w 2012 r., w wariantach poziomu wody gruntowej: A – 30 cm, B – 100 cm, C – 170 cm, na stacji lizymetrycznej w Falentach; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Distribution of the ten-day mean soil moisture in the aeration zone in particular months of the growing season 2012 at groundwater table depths: A – 30 cm, B – 100 cm, C – 170 cm in lysimetric station in Falenty; source: own study

Wiosną 2013 r. wykopano rośliny z lizymetrów oraz oznaczono rozmieszczenie systemu korzeniowego. Okazało się, że system korzeniowy adaptuje się do warunków panujących w siedlisku. W lizymetrach wariantu A (30 cm) system korzeniowy był poziomy, płytki, gęsty, z dużą ilością rozproszonych drobnych korzeni. W lizymetrach wariantu C (170 cm), cechował się układem bardzo głębokim, zgrupowanym w wiązki o długości ponad 200 cm, z niewielką ilością korzeni drobnych. System korzeniowy w wariacie B, o głębokości zwierciadła wody gruntowej 100 cm, stanowi układ pośredni między wariantami A i C.

PODSUMOWANIE

Wierzba wiciowa wymaga gleb o wysokim (1,0–1,5 m) poziomie wody gruntowej, ale niezabagnionych [DRESZER i in. 2003]. BUDZYŃSKI i in. [2009] w swoich badaniach podaje, że najbardziej efektywna jest uprawa wierzby w kompleksie glebowym 8 oraz 5, z wysokim – do 2 m – poziomem wody gruntowej.

Badania potwierdziły istotny wpływ głębokości zwierciadła wody gruntowej oraz warunków pogodowych roku na plon wierzby wiciowej w latach 2009–2010. W warunkach położenia zwierciadła wody gruntowej na głębokości 30 cm (wariant A) stwierdzono istotnie mniejszy plon w porównaniu z pozostałymi wariantami

(B – 100 cm i C – 170 cm). W warunkach płytkiego poziomu wody (30 cm) wysokie uwilgotnienie hamowało przyrost masy roślinnej. Nie wykazano istotnej różnicy plonów między wariantami B i C. Weryfikacji poddano również różnice w wysokości plonów wierzby wiciowej w poszczególnych latach. Stwierdzono istotną różnicę między plonami z 2009 r., a pozostałymi latami (2010–2012). Badania w latach 2009–2012 wykazały, że wraz z wiekiem rośliny następuje zmniejszenie zależności plonu wierzby od warunków wodnych oraz zmniejszenie rocznych przyrostów biomasy nadziemnej. W latach 2011 i 2012 nie stwierdzono istotnej różnicy między plonami we wszystkich wariantach poziomu wody gruntowej. Najprawdopodobniej jest to efekt dużej zdolności adaptacyjnej systemu korzeniowego wierzby, który docierając do głęboko zalegającej wody gruntowej niweluje ryzyko zmniejszenia plonów, wynikające z występowania okresowych deficytów wody podczas niedoborów opadu.

W strefie aeracji największa średnia wilgotność gleby w lizymetrach występuje w wariancie A (25–28%), nieznacznie mniejsza jest w wariancie B (23–26%). Natomiast w wariancie C zawartość wody w glebie jest mała i mieści się w przedziale 13–17 %. Rozkład uwilgotnienia gleby w lizymetrach w całym okresie badań był zbliżony w poszczególnych wariantach poziomu wody gruntowej.

Wierzba wiciowa to roślina doskonale przystosowująca się niemal do każdych warunków przyrodniczych (pogodowych oraz wodnych) w Polsce. Wykazały to powyższe analizy wysokości plonów oraz obserwacje rozkładu i wielkości systemu korzeniowego w zróżnicowanych warunkach wodnych. Jednak uzyskanie w rejonie środkowej Polski wysokich plonów z uprawy tej wierzby na glebach mineralnych, w warunkach bez zasilania wodą gruntową, wymaga nawodnień [ŁABĘDZKI, KANECKA-GESZKE 2010].

LITERATURA

- ALLEN R. G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Paper no. 56. Rome. FAO. ISBN 92-5-104219-5 ss. 300.
- BANASZYŃSKI A., SZCZUKOWSKI S., BUDNY J., GRĄDZKI M., GRALAK J., KUBIAK P. 2004. Alternatywne rolnictwo. Poznań. Dom Wydaw. Harasimowicz. ISBN 83-89245-17-5 ss. 118.
- BUDZYŃSKI W., SZCZUKOWSKI S., TWORCOWSKI J. 2009. Wybrane problemy z zakresu produkcji roślinnej na cele energetyczne. I Kongres Nauk Rolniczych, Nauka – Praktyka s. 77–87.
- CASLIN B., FINNAN J., MCCRACKEN A. 2010. Short rotation coppice willow. Best practice. Guideline. Crops Research Centre, Agri-Food and Bioscience Institute. ISBN 1-84170-568-3 ss. 66.
- DRESZER K., MICHAŁEK R., ROSZKOWSKI A. 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Kraków–Lublin–Warszawa. Wydaw. PTIR. ISBN 83-9170-53-7 ss. 256.
- DUBAS J.W., TOMCZYK A. 2005. Zakładanie, pielęgnacja i ochrona plantacji wierzby energetycznych. Warszawa. Wydaw. SGGW. ISBN 83-7244-617-2 ss. 112.

- Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dz.U. L 140.
- HALL R.L. 2003. Grasses for energy production hydrological guidelines. URN 03/882 [online]. [Dostęp 18.12.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.berr.gov.uk/files/file14946.pdf>
- JURCZUK S., RYDAŁOWSKI M. 2009. Zużycie i wykorzystanie wody w uprawach wierzby energetycznej. W: *Produkcja biomasy. Wybrane problemy*. Warszawa. Wydaw. Wieś Jutra s. 32–39.
- JØRGENSEN U., SCHELDE K. 2001. Report. Energy crop water and nutrient use efficiency [online]. Tjele. Danish Institute of Agricultural Sciences. Research. [Dostęp 18.12.2013]. Dostępny w Internecie: <http://infohouse.p2ric.org/ref/17/16275.pdf>
- KACZOROWSKA Z. 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Przegląd Geograficzny IG PAN*. Nr 33 ss. 112.
- KUŚ J., FABER A., STASIAK M., KAWALEC A. 2008. Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne na różnych glebach. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 79–85.
- KUŚ J., MATYKA M. 2010. Plonowanie i cechy biometryczne wierzby w zależności od warunków siedliskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3 s. 59–65.
- LIZIŃSKI T., AUGUSTYNIAK M. 2005. Wodnoglebowe uwarunkowania uprawy wierzby energetycznej. *Wiadomości Melioracyjne*. Z. 1 s. 35–37.
- ŁABĘDZKI L., KANECKA-GESZKE E. 2010. Potrzeby i niedobory wodne wierzby wiciowej na glebach mineralnych bez udziału wody gruntowej. W: *Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy*. Pr. zbior. Red. A. Grzybek. Falenty – Warszawa. Wydaw. ITP s. 102–113.
- MAJTKOWSKI W., MAJTKOWSKA G., TOMASZEWSKI B. 2010. Dynamika wzrostu roślin energetycznych oraz potencjalnej biomasy. W: *Modelowanie energetycznego wykorzystania Biomasy*. Pr. zbior. Red. A. Grzybek. Falenty – Warszawa. Wydaw. ITP s. 114–126.
- Ministerstwo Gospodarki 2010. Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych [online]. Warszawa. [Dostęp 18.12.2013]. Dostępny w Internecie: www.mg.gov.pl
- STOLARSKI M., SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J. 2008. Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. *Energetyka. Problemy Energetyki i Gospodarki Paliwowo-Energetycznej*. Nr 1 s. 77–80.
- SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J. 2001. Produktywność oraz wartość energetyczna biomasy wierzby krzewiastych *Salix* sp. na różnych typach gleb w pradolinie Wisły. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Nr 2 s. 29–37.
- SZCZUKOWSKI S., STOLARSKI M., TWORKOWSKI J., PRZYBOROWSKI J., KLASA A. 2005. Productivity of willow coppice plants grown in short rotations. *Plant, Soil and Environment*. Vol. 51. No. 9 s. 423–430.
- TWORKOWSKI J., SZCZUKOWSKI S., STOLARSKI M. 2006. Productivity calorific value of willow (*Salix* spp.) biomass in relation to selected agronomical factors. W: *Alternative plants for sustainable agriculture*. Vol. 5. Poznań. Instytut Genetyki Roślin PAN s. 45–50.
- ZSEMBELI J., KOVÁCS G., DEÁK D. 2013. Water use efficiency of energy willows determined in weighing lysimeters. W: *15. Gumpensteiner Lysimetertagung*. Irdning. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft s. 181–184.

Mariusz RYDAŁOWSKI

**THE INFLUENCE OF GROUNDWATER LEVEL AND SANDY SOIL MOISTURE
ON THE ANNUAL BIOMASS INCREMENTS OF WILLOW
IN VIEW OF LYSIMETRIC ANALYSES**

Key words: *energetic willow, groundwater level, yield*

S u m m a r y

Studies on the relationship between the yield of willow *Salix viminalis* L. and groundwater table depth were performed in the lysimetric station in Falenty on black degraded earth in the years 2009–2012. The groundwater table depth in lysimeters was kept at a constant level of 30, 100 and 170 cm during the growing season (April–October). The lysimeters were fertilised with an annual dose of 50 kg·ha⁻¹ N, 30 kg·ha⁻¹ P₂O₅ and 70 kg·ha⁻¹ K₂O, the same as in surrounding fields. Soil moisture, biomass increments and final yield were measured in lysimeters

The effect of groundwater table depth and weather conditions on the yield of willow *Salix viminalis* L. was demonstrated in the first two years of cultivation. Significantly lower yield was noted at the groundwater table depth of 30 cm (variant A) compared with other variants (B – 100 cm and C – 170 cm). Statistically significant differences in the annual biomass increments of willow were not found between the variants B and C.

Lysimetric studies showed also that the effect of water conditions and the annual yield decreased with plants' age. In the years 2011–2012 no statistically significant differences were found in yields among all variants of groundwater table depth.

At stabilised ground water table and permanent plant cover, variable precipitation did not exert significant effect on soil moisture.

Adres do korespondencji: mgr inż. M. Rydałowski, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Inżynierii Wodnej i Melioracji, al. Hrabaska 3, 05–090 Raszyn; tel. +48 22 735-75-42, e-mail: m.rydalowski@itep.edu.pl