

WPLYW NAWOŻENIA AZOTEM I LICZBY LAT ODRASTANIA PĘDÓW NA PLON BIOMASY WIERZBY

LESZEK STYSZKO¹, DIANA FIJAŁKOWSKA², MONIKA IGNATOWICZ³

¹Zespół Badawczo-Dydaktyczny Roślin Energetycznych Zakładu Sieci i Instalacji Sanitarnych,
Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin

²Wodociągi Ustka, Sp. z o.o. ul., Ogrodowa 14, 76-270 Ustka

³Wojewódzki Inspektorat Ochrony Roślin i Nasiennictwa w Koszalinie, ul. Partyzantów 7-9,
75-411 Koszalin

Synopsis. W pracy oceniono plonowanie 10 genotypów wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) uprawianych w 4-letnim cyklu w latach 2008–2011 na glebie lekkiej w rejonie Koszalina (16°24' N, 54°80' E). Doświadczenie ściśle 2-czynnikowe założono metodą losowanych podbloków w czterech powtórzeniach. Podblokami I rzędu były trzy dawki nawożenia azotem (60, 120 i 180 kg N·ha⁻¹) i obiekt kontrolny bez nawożenia azotem, a II rzędu – 10 genotypów wierzby, przy obsadzie 22134 karp·ha⁻¹. Próby pędów wierzby pobrano: w dniu koszenia oraz po 6 miesiącach sezonowania. Biomasa w dniu koszenia zawierała 58,6% s.m., a po 6 miesiącach sezonowania – 77,7% s.m. Największy wpływ na plon świeżej i suchej masy miała liczba lat odrastania pędów oraz ich interakcja z dawkami azotu oraz z genotypami wierzby. Wpływ nawożenia na plon świeżej i suchej masy oraz na zawartość suchej masy w pędach był istotny ale ustępował efektom lat odrastania pędów i genotypom wierzby.

Słowa kluczowe: wierzba wiciowa, genotypy, nawożenie azotem, plon biomasy, sezonowanie

WSTĘP

Biomasa jako surowiec energetyczny jest nadal znaczącym źródłem energii odnawialnej (OZE) w Europie i w Polsce [EurObserv'ER 2015, GUS 2016]. Udział OZE w Polsce w 2014 roku w zużyciu energii ogółem wyniósł 11,9%, a spośród energii z OZE – biopaliwa stałe stanowiły 76,6%. W latach 2005–2011 zużycie biomasy w Polsce w elektroenergetyce wzrosło z 9641 ton do 65470 ton [Grudziński 2013]. Na plantacjach wierzby krzewiastej w 3-letnich rotacjach średnioroczny przyrost drewna jest 10-krotnie wyższy niż w lesie [Stolarski i in. 2002]. Produktywność wierzby krzewiastej zależy od wyboru genotypów wierzby dostosowanych do warunków przyrodniczych na plantacji, w tym także od systemu nawożenia. Uprawa wierzby na cele energetyczne może być prowadzona również na gruntach o małej produktywności, zdegradowanych, odłogowanych oraz podmokłych [Tworkowski i in. 2010]. W Szwecji około 50% upraw wierzby zlokalizowanych w pobliżu oczyszczalni ścieków jest nawożonych ściekami komunalnymi, a na pozostałych uprawach stosuje się corocznie nawożenie mineralne, dawką ok. 100 kg N·ha⁻¹, a w Kanadzie rekomenduje się ekwiwalent nawożenia 100–150 kg N·ha⁻¹, 40 kg P·ha⁻¹ i 40 kg K·ha⁻¹ [Guidi i in. 2013]. Najwięcej azotu i fosforu wierzba pobiera w okresie od kwietnia do października, a najintensywniej – w okresie od maja do lipca [Labrecque i Teodorescu 2003]. Efektywność wykorzystania azotu mineralnego przez wierzbę jest wyższa w dłuższych cyklach produkcyjnych i na uprawach nawożonych organicznie [Adegbi i in.

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: lstyszko@wp.pl

2001]. Prace badawcze udokumentowane w literaturze, w małym stopniu dotyczą wymagań środowiskowych wierzby oraz technologii uprawy. Problem ten został zasygnalizowany dla 9 klonów wierzby uprawianych w rejonie Koszalina, gdzie wykazano różne ich potrzeby nawozowe ($26\text{--}150\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) w warunkach stosowania kompostu z osadów komunalnych [Styszko i in. 2011].

Celem badań była ocena wpływu na plon biomasy zróżnicowanego nawożenia azotem mineralnym i liczby lat odrastania pędów na glebie lekkiej na Pomorzu Środkowym u 10 genotypów wierzby wiciowej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe dwuczynnikowe założone metodą losowanych podbloków w układzie zależnym w czterech powtórzeniach, realizowano w latach 2008–2011 na polu doświadczalnym Politechniki Koszalińskiej w Kościernicy ($16^{\circ}24' \text{ N}$, $54^{\circ}80' \text{ E}$). Gleba pod doświadczeniem była lekka, klasy bonitacyjnej RIVa–IVb, kompleksu żytniego dobrego, oznaczona została jako biellicowa właściwa – pseudobiellicowa o składzie piasku gliniastego lekkiego do głębokości 100 cm, a głębiej – gliny lekkiej. Przed założeniem doświadczenia w analizach glebowych zawartość próchnicy wyniosła 1,41%. Doświadczenie składało się z okresu przygotowawczego (2007 rok) oraz 4-letniego okresu odrastania pędów (2008–2011). W ramach doświadczenia rozlosowano na dużych poletkach obiekty kontrolne bez nawożenia azotem i trzy dawki azotu mineralnego: (a) $0\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, (b) $60\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, (c) $120\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ i (d) $180\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, a wewnątrz dawek azotu – 10 genotypów wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.), a w tym: trzy klony (1047, 1054, 1047D) i siedem odmian (Start, Sprint, Turbo, Ekotur, Olof, Jorr i Tordis). Corocznie w kwietniu stosowano nawożenie azotem mineralnym według schematu doświadczenia. W 2007 roku na poletku o powierzchni $25,3\text{ m}^2$ wysadzono po 56 zrzesów wierzby w dwóch rzędach tj. $22134\text{ szt}\cdot\text{ha}^{-1}$, a podczas koszenia każdy rząd zbierano oddzielnie ($12,65\text{ m}^2$). Odległość pomiędzy sąsiednimi poletkami wyniosła 150 cm, a pomiędzy rzędami wewnątrz poletka – 80 cm. Na pierwszym rzędzie koszone 2-krotnie (po 3 latach i po rocznym odrastaniu), a na drugim rzędzie – jednokrotnie (po 4 roku odrastania). Na tej podstawie wydzielono w ramach poletka dwie częstotliwości koszenia: rząd pierwszy – 2-krotne koszenie w ciągu 4 lat uprawy a drugi – jednokrotne. Skoszone pędy były sezonowane na polu w bezpośrednim sąsiedztwie poletka. Próby pędów na zawartość suchej masy pobrano w dwóch terminach: w dniu koszenia oraz po 6 miesiącach sezonowania. Dla plonu świeżej i suchej masy oraz zawartości w pędach suchej masy, wykonano standardową analizę wariancji oraz określono strukturę komponentów wariacyjnych, a istotność efektów oceniono testem F. Dane o przebiegu pogody zaczerpnięto ze stacji meteorologicznej IMGiW w Koszalinie, oddalonej o 25 km w linii prostej od Kościernicy. W Koszalinie rocznie spadło od 698 mm opadu w 2011 do 743 mm w 2008 roku, a podczas wegetacji wierzby – od 430 mm w 2008 do 569 mm w 2009 roku (tab.1). Hydrotermiczne warunki ekstremalne (skrajnie suche i bardzo suche oraz bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne) oznaczone współczynnikiem Sielianiowa (K) mieszczą się w przedziałach $<0,7$ oraz $>2,5$. Za okres wegetacji współczynnik ten wahał się w granicach od 1,60 w 2008 roku do 2,18 w 2009 roku. Warunki skrajnie suche i bardzo suche ($K<0,7$) wystąpiły w kwietniu w latach 2009, 2010 i 2011 oraz w maju w latach 2008 i 2012, a warunki bardzo wilgotne ($K>2,5$) wystąpiły w czerwcu i październiku 2009 roku oraz w maju i sierpniu 2010 roku.

Tabela 1. Opady (mm) i współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa w Koszalinie w latach 2008–2011 według IMGiW

Table 1. Precipitation (mm) and hydrothermal Sielianinow coefficient in Koszalin in 2008–2011 according to Institute of Meteorology and Water Management

Miesiąc Month	Opady w latach (mm) Precipitation in the years (mm)				Współczynnik Sielianinowa (K) w latach Sielianinow coefficient (K) in the years			
	2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
I–III	195	112	86	108	-	-	-	-
IV	63	15	8	11	2,88	0,48	0,38	0,37
V	16	66	109	57	0,42	1,80	3,74	1,48
VI	64	109	47	86	1,33	2,61	1,06	1,74
VII	56	103	49	107	1,01	1,81	1,25	2,02
VIII	131	56	201	118	2,41	0,99	3,56	2,19
IX	35	99	74	53	0,90	2,28	1,94	1,20
X	65	121	30	70	2,23	5,27	1,47	2,30
IV–X	430	569	548	502	1,60	2,18	1,91	1,62
I–XII	743	733	802	698	-	-	-	-

WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowane w doświadczeniu czynniki badawcze (genotypy wierzby, dawki azotu, oraz lata odrastania pędów) w istotny sposób wpłynęły na poziom zebranego plonu wierzby wiciowej. Zmienność spowodowana ich działaniem wyniosła od 77,0% przy plonie świeżej masy do 82,5% przy plonie suchej masy, a przy zawartości suchej masy w pędach – od 89,5% przy ocenie w dniu koszenia do 96,8% – po 6 miesiącach sezonowania (tab. 2). Istotne efekty wykazano także przy interakcjach: lat odrastania pędów z genotypami wierzby oraz z dawkami azotu oraz dawek azotu z genotypami wierzby przy plonach świeżej i suchej masy oraz zawartości suchej masy w dniu koszenia z włączeniem interakcji dawek azotu z genotypami wierzby (tab. 2). Plon świeżej i suchej masy w dniu zbioru oraz przeciętny na 1 rok uprawy wierzby był najwyższy przy jednokrotnym zbiorze co 4 lata (tab. 3). Przy dwukrotnym zbiorze w okresie 4 lat uzyskany po zsumowaniu plonu biomasy po 3 latach i po 1 roku odrastania, był niższy niż przy zbiorze jednokrotnym po 4 latach odrastania, o 16,4 t·ha⁻¹ tj. o 36,9% przy świeżej masie, o 9,4 t·ha⁻¹ tj. o 42,0% przy suchej masie w dniu zbioru i o 0,83 t·ha⁻¹ tj. o 14,8% przy suchej masie w przeliczeniu na 1 rok odrastania pędów. Sezonowanie pędów na polu przez okres 6 miesięcy, na skutek ubytku wody w pędach, zwiększyło zawartość suchej masy, przeciętnie o 32,5%. Nawożenie azotem mineralnym w stosunku do obiektów kontrolnych bez nawożenia azotem (a), zwiększyło plon suchej masy przy dawkach: (b) 60 kg N·ha⁻¹ – o 5,8 t·ha⁻¹, tj. o 93,5%, (c) 120 kg N·ha⁻¹ – o 7,4 t·ha⁻¹, tj. o 119,3% i (d) 180 kg N·ha⁻¹ – o 9,1 t·ha⁻¹, tj. o 146,8% (tab. 3). Podobne zależności uzyskano przy plonie suchej masy w przeliczeniu na 1 rok uprawy wierzby.

Najwyższy plon suchej masy uzyskano u odmiany Ektor, a najniższy u odmiany Jorr. Rozpiętość plonowania pomiędzy tymi odmianami wyniosła przy plonach: świeżej masy –

Tabela 2. Wpływ badanych czynników strukturę komponentów wariacyjnych w analizach plonu biomasy pędów wierzby

Table 2. Impact of studied factors on the structure of variance components in the analyses of willow shoots biomass yield

Komponent wariacyjny Variance component	Struktura procentowa komponentów wariacyjnych w analizach Percentage structure of variance component in analyses				
	plon świeżej masy yield fresh matter	zawartość suchej masy dry matter content		plon suchej masy dry matter yield	
		w dniu koszenia on the day of mowing	po sezonowaniu after seasoning	przeciętnie z uprawy average from cultivation	przeciętnie na 1 rok uprawy average per 1-year of cultivation
Genotypy wierzby/Genotype of willow (C)	12,6***	3,4***	1,2***	12,6***	17,0***
Dawki azotu/Doses of nitrogen (B)	7,1***	0,8**	0,6***	8,0***	8,3***
Lata odrastania pędów/ Years of shoots re-growth (A)	57,3***	85,3***	95,0***	61,9***	50,1***
Suma A-C/Sum A-C	77,0	89,5	96,8	82,5	75,4
Interakcja CB/ Interaction CB	1,9**	0,0	0,0	2,1**	2,2**
Interakcja CA/Interaction CA	9,0***	2,2*	1,1	9,6***	6,8***
Interakcja BA/Interaction BA	7,5***	0,7**	0,4	0,4***	9,9***
Pozostałe interakcje/Other interactions	4,6	7,6	1,7	5,4	5,7
Suma interakcji/Sum interactions	23,0	10,5	3,2	17,5	24,6
Suma/Sum	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Poziomy czynników/Factors levels: A – 3; B – 2; C – 4; D – 10

Istotność przy poziomie: *** $\alpha=0,001$ /Significance at level: *** $\alpha=0,001$

Tabela 3. Wpływ badanych czynników na plon biomasy pędów wierzby

Table 3. Impact of studied factors on the yield of willow shoots biomass

Czynniki Factors	Poziomy czynników Factors levels	Plon świeżej masy Yield fresh matter (t·ha ⁻¹)	Zawartość suchej masy Dry matter content (%)		Plon suchej masy w dniu koszenia Dry matter yield on the day of mowing (t·ha ⁻¹)	Plon suchej masy na 1 rok uprawy Dry matter yield per 1-year of cultivation (t·ha ⁻¹)
			w dniu koszenia on the day of mowing	po sezo- nowaniu after seasoning		
Lata odrastania pędów; Years of shoots re-growth (A)	4	44,4	50,2	70,7	22,4	5,60
	3	26,3	46,5	73,6	12,3	4,11
	1	1,7	38,8	88,9	0,7	0,66
	Suma (3+1)	28,0	-	-	13,0	4,77
	NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	2,7	0,8	0,6	1,4***	0,38***

Tabela 3. cd.
Table 3. cont.

Dawki azotu; Doses of nitrogen (kg N·ha ⁻¹) (B)	0	13,3	44,4	78,8	6,2	1,97
	60	24,9	44,9	77,1	12,0	3,56
	120	27,6	45,7	77,9	13,6	3,92
	180	30,8	45,7	77,1	15,3	4,36
	NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	3,1	0,9	0,7	1,7***	0,44***
Genotyp wierzby Willow genotype (C)	1047	23,2	43,9	78,2	11,0	3,20
	1054	16,8	44,5	78,8	8,2	2,35
	1047D	22,0	44,0	78,2	10,6	3,09
	Start	16,8	46,6	79,8	8,2	2,38
	Sprint	25,5	45,9	77,5	12,8	3,62
	Turbo	17,2	47,4	77,5	8,8	2,64
	Ekotur	49,1	45,6	76,4	24,3	7,21
	Olof	22,6	45,5	76,7	11,1	3,30
	Jorr	15,4	44,7	78,2	7,6	2,23
	Tordis	32,7	43,5	75,9	15,3	4,55
	NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	4,9	1,4	1,1	2,6***	0,70***
Średnia – Average	24,1	45,2	77,7	11,8	3,5	

33,7 t·ha⁻¹, tj. 139,8%, suchej masy – 16,7 t·ha⁻¹, tj. 141,5% i suchej masy w przeliczeniu na 1 rok odrastania pędów – 4,98 t·ha⁻¹, tj. 142,3% średniego poziomu plonów w doświadczeniu.

Dawki azotu wpływały istotnie na plon suchej masy w trzecim i czwartym roku odrastania pędów osiągając najwyższe wartości na obiektach z nawożeniem 180 kg N·ha⁻¹ (tab. 4). Przyrost plonu suchej masy pędów zbieranych jednokrotnie po czwartym roku uprawy w przelicze-

Tabela 4. Wpływ lat odrastania pędów i dawki azotu na plon pędów wierzby
Table 4. Impact of years of shoots re-growth and fertilization with nitrogen on yield of willow shoots

Dawka azotu Doses of nitrogen (kg N·ha ⁻¹)	Plon pędów po latach odrastania wierzby (t·ha ⁻¹) Yield of shoots after years of willow re-growth (t·ha ⁻¹)							
	Sucha masa w dniu koszenia Dry matter on the day of mowing				Sucha masa przeciętnie na 1 rok odrastania pędów/Average dry matter per 1-year of shoots re-growth			
	4 lata years	3 lata years	1 rok year	suma sum (3+1)	4 lata years	3 lata years	1 rok year	suma sum (3+1)
0	10,9	6,8	0,9	7,7	2,73	2,28	0,91	3,19
60	22,4	13,0	0,8	13,8	5,59	4,33	0,77	5,10
120	26,5	13,8	0,5	14,3	6,63	4,59	0,55	5,14
180	29,8	15,7	0,4	15,1	7,46	5,23	0,41	5,64
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	2,9			–	0,77			–

niu na 1 rok wegetacji w stosunku do obiektu kontrolnego bez nawożenia azotem (a) wyniósł przy dawkach azotu: (b) 60 kg N·ha⁻¹ – 2,86 t·ha⁻¹, tj. 104,8%, (c) 120 kg N·ha⁻¹ – 3,90 t·ha⁻¹, tj. 142,9% i (d) 180 kg N·ha⁻¹ – 4,73 t·ha⁻¹, tj. 173,3% (tab. 4). Przy 3-letnim cyklu odrastania pędów przyrost tego plonu był mniejszy i wyniósł odpowiednio: (b) 60 kg N·ha⁻¹ – 2,05 t·ha⁻¹, tj. 89,9%, (c) 120 kg N·ha⁻¹ – 2,31 t·ha⁻¹, tj. 101,3% i (d) 180 kg N·ha⁻¹ – 2,95 t·ha⁻¹, tj. 129,4%. Natomiast przy 1-rocznym cyklu odrastania pędów wzrastające nawożenie azotem nie wpłynęło istotnie na plon biomasy pędów. Z tego powodu po czterech latach uprawy plon biomasy pędów był wyższy przy jednokrotnym koszeniu niż przy 2-krotnym, a różnica ta powiększała się w miarę wzrostu dawki azotu (obiekty: b, c, d), z wyłączeniem obiektu kontrolnego (a).

Odmiana Ekotur wydała najwyższy plon suchej masy oraz w przeliczeniu na 1 rok odrastania pędów po wszystkich latach wegetacji, natomiast najniższy plon uzyskano po 4 roku uprawy – u odmiany Jorr, po 3 roku – przy klonie 1054 a po 1-rocznym odrastaniu pędów – u odmiany Start (tab. 5). Wykazano duże zróżnicowanie genotypów wierzby w plonie suchej masy przeliczonym na 1 rok uprawy w zależności od częstotliwości koszenia. Negatywny wpływ częstotliwości koszenia w czteroletnim cyklu uprawy określono na podstawie różnic w plonie suchej masy pomiędzy 1-krotnym koszeniem po czwartym roku uprawy a 2-krotnym koszeniem (suma plonu z trzeciego i pierwszego roku odrastania pędów). Największe te różnice wystąpiły u genotypów: Ekotur (-1,46 t·ha⁻¹, tj. -12,7%), Sprint (-1,43 t·ha⁻¹, tj. -23,3%), 1054 (-1,35 t·ha⁻¹, tj. -32,2%) i 1047 (-1,09 t·ha⁻¹, tj. -29,3%) a mniejsze – u klonu 1047 D (-0,94 t·ha⁻¹, tj. -18,4%) i odmian: Olof (-0,81 t·ha⁻¹, tj. -15,4%), Tordis (-0,61 t·ha⁻¹, tj. -8,6%), Jorr (-0,53 t·ha⁻¹, tj. -14,7%) i Start (-0,29 t·ha⁻¹, tj. -7,8%). Natomiast u odmiany Turbo tych zależności nie zaobserwowano.

Tabela 5. Wpływ lat odrastania pędów na plonowanie genotypów wierzby

Table 5. Impact of years of re-growth of shoots on yield of willow genotypes

Genotyp wierzby Willow genotype	Plon pędów po latach odrastania wierzby (t·ha ⁻¹) Yield of shoots after years of willow re-growth (t·ha ⁻¹)							
	Sucha masa w dniu zbioru Dry matter on the day of mowing				Sucha masa przeciętnie na 1 rok odrastania pędów/Average dry matter per 1-year of shoots re-growth			
	4 lata years	3 lata years	1 rok year	suma sum (3+1)	4 lata years	3 lata years	1 rok year	suma sum (3+1)
1047	21,4	11,1	0,5	11,6	5,34	3,72	0,53	4,25
1054	16,8	7,6	0,3	7,9	4,19	2,54	0,30	2,84
1047D	20,4	10,9	0,5	11,4	5,10	3,64	0,52	4,16
Start	14,8	9,6	0,2	9,8	3,71	3,19	0,23	3,42
Sprint	24,6	13,4	0,3	13,7	6,15	4,47	0,25	4,72
Turbo	15,6	10,3	0,6	10,9	3,89	3,44	0,60	4,04
Ekotur	46,1	25,2	1,7	26,9	11,54	8,39	1,69	10,08
Olof	21,4	11,2	0,8	12,0	5,35	3,74	0,80	4,54
Jorr	14,4	7,8	0,5	8,3	3,61	2,60	0,48	3,08
Tordis	28,5	16,1	1,1	17,2	7,13	5,38	1,14	6,52
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	4,6			–	1,21			–

Genotypy wierzby różniły się reakcją w plonie suchej masy pędów na nawożenie azotem (tab. 6). U odmian: Jorr i Turbo najwyższe plony suchej masy w przeliczeniu na 1 rok uprawy uzyskano na obiektach z dawką 60 kg N·ha⁻¹, u klonów: 1047, 1054 i 1047D – z dawką 120 kg N·ha⁻¹, a pozostałe odmiany najwyższej plonowały na obiektach z dawką 180 kg N·ha⁻¹ (Ekotur, Tordis, Sprint, Olof i Start).

Tabela 6. Wpływ dawek azotu na plonowanie genotypów wierzby
Table 6. Impact of nitrogen doses on yielding of willow genotypes

Genotyp wierzby Willow genotype	Plon suchej masy pędów wierzby/Yield of dry matter of willow shoots (t·ha ⁻¹)							
	0 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	120 kg N·ha ⁻¹	180 kg N·ha ⁻¹	Przeciętnie na 1 rok odrastania pędów Average per 1-year of shoots re-growth			
					0 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	120 kg N·ha ⁻¹	180 kg N·ha ⁻¹
1047	6,2	12,6	13,6	11,6	1,91	3,65	3,89	3,35
1054	5,2	7,4	11,8	8,5	1,56	2,17	3,29	2,37
1047D	5,2	10,9	13,4	13,0	1,64	3,21	3,82	3,68
Start	4,4	9,5	7,1	11,8	1,37	2,78	2,06	3,29
Sprint	5,7	12,5	14,5	18,3	1,70	3,59	4,08	5,13
Turbo	5,3	11,2	10,9	8,0	1,80	3,29	3,21	2,28
Ekotur	13,5	21,4	28,9	33,5	4,46	6,43	8,32	9,62
Olof	5,6	9,8	11,1	18,0	1,84	2,93	3,34	5,08
Jorr	2,9	10,7	7,1	9,6	0,92	3,09	2,09	2,82
Tordis	8,2	14,4	17,7	20,8	2,54	4,49	5,12	6,04
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	5,9				1,40			

Reakcja odmian w plonie suchej masy w przeliczeniu na 1 rok uprawy przy nawożeniu dawką azotu, przy której uzyskano najwyższy plon biomasy pędów w odniesieniu do obiektów kontrolnych bez nawożenia azotem była następująca: przy dawce 60 kg N·ha⁻¹ u odmian Jorr i Turbo wyniosła odpowiednio: 2,17 t·ha⁻¹ tj. 235,9% i 1,49 t·ha⁻¹ tj. 82,8%, przy dawce 120 kg N·ha⁻¹ u klonów 1047, 1054 i 1047D wyniosła odpowiednio: 1,98 t·ha⁻¹ tj. 103,7% i 1,73 t·ha⁻¹ tj. 110,9% i 2,18 t·ha⁻¹ tj. 132,9%, a przy dawce 180 kg N·ha⁻¹ u odmian Ekotur – 5,16 t·ha⁻¹ tj. 115,7%, Tordis – 3,50 t·ha⁻¹ tj. 137,8%, Sprint 3,43 t·ha⁻¹ tj. 201,8%, Olof – 3,24 t·ha⁻¹ tj. 176,1% i Start – 1,92 t·ha⁻¹ tj. 140,1%. Dane te można przyjąć jako wskazówkę do ustalania potrzeb tych genotypów do nawożenia azotem.

Uprawa wierzby wiciowej na cele energetyczne wymaga stosowania określonej technologii uprawy, w której duże znaczenie przywiązuje się do długości rotacji, doboru gatunków roślin i genotypów w ramach gatunku, zagęszczenia upraw oraz do nawadniania i nawożenia plantacji [Stolarski i in. 2002]. Przy spalaniu biomasy na cele energetyczne duże znaczenie ma zawartość wody w pędach, a na jej zawartość wpływ ma także sezonowanie pędów [Fijałkowska i in. 2014]. Są przykłady, że plon biomasy powyżej 20 Mg s.m.·ha⁻¹·rok⁻¹ przy 3-letniej rotacji na plantacji produkcyjnej w Polsce można uzyskać uprawiając odmianę Tur [Szczukowski i in. 2009] oraz, że wzrost dawki azotu z 40 do 80 kg·ha⁻¹ przy zbiorze corocznym może powodować zmniejszenie plonu suchej masy wszystkich klonów, a natomiast przy zbiorze co 2 lata

może zaznaczyć się także indywidualna reakcja klonów różniących się wymaganiami wodnymi [Nowak i in. 2011]. Badania własne wskazują również na podobne zależności. Z przeglądu literatury wykonanego przez Trojanowską [2010] wynika, że transpiracja wierzby jest duża, a wysokie nawożenie intensyfikuje ewapotranspirację wierzby. Podane wartości ewapotranspiracji dla wierzby są duże w porównaniu do roślin jednorocznych, ale one zależą od gatunku wierzby, warunków klimatyczno-glebowych na plantacji oraz od wieku roślin.

Produktywność biomasy jest podstawowym kryterium przy wyborze genotypów wierzby do uprawy na cele energetyczne. W literaturze udokumentowano, że wydłużanie cyklu zbioru z 1 do 3 lat pozwala uzyskać większy plon biomasy [Matyka 2013, Stolarski 2009]. Klony wierzby różnią się także tempem uzyskania maksymalnego potencjału produkcyjnego a wzrost tego tempa zależy także od dawki nawożenia azotem. Najważniejszymi czynnikami ograniczającymi wzrost pędów wierzby w regionach o klimacie umiarkowanym są woda i składniki odżywcze, głównie azot [Weih i Nordh 2002]. Optymalna dawka azotu dla odmiany lub klonu wierzby ma korzystny wpływ na przyrost biomasy oraz walory technologiczne surowca. Nadmiar azotu może także powodować łamliwość pędów, zaś niedobory hamują wydajność fotosyntezy [Nowak i in. 2011]. Według Labrecque i in. [2003], aby uzyskać $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ s.m. przez trzy rotacje, wierzbę uprawianą w systemie krótkiej rotacji, należałoby nawozić corocznie w dawkę $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, $18 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $60 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$. W badaniach własnych, zawartość suchej masy w świeżej masie pędów wierzby wyniosła przeciętnie 45,2%. Wydłużenie cyklu uprawy z trzech do czterech lat spowodowało wzrost zawartości suchej masy o 3,7%, mało różnicując się w obrębie genotypów. Utrata wilgoci w wyniku sezonowania spowodowała wzrost zawartości suchej masy w biomacie przeciętnie o 32,5%. Ma to znaczenie przy transporcie biomasy oraz wpływa na jej wartość opałową. Wydłużenie rotacji 3 do 4 lat wpłynęło na wzrost produktywności wierzby. Wykazano również, że na produktywność wierzby można wpływać także dostosowując nawożenie azotem do potrzeb nawozowych genotypów. Potwierdzają to wcześniejsze spostrzeżenia autorów [Styszko i in. 2011].

WNIOSKI

1. Na plon biomasy wierzby oraz na zawartość wody w pędach najsilniej wpływa liczba lat odrastania pędów, a słabiej genotyp wierzby i dawki azotu. Duży wpływ na te cechy mają także interakcje liczby lat odrastania pędów z dawkami azotu i z genotypami wierzby.
2. Plon suchej masy wierzby przeliczony na 1 rok odrastania pędów zebrany po 4 latach uprawy jest wyższy niż zsumowany plon po trzech i jednorocznej wegetacji.
3. Sezonowanie biomasy na polu przez 6 miesięcy obniża przeciętnie zawartość wody w pędach przeciętnie o 32,5%.
4. Wyodrębniono cztery grupy genotypów różniące się poziomem plonu suchej masy przeliczonym na 1 rok uprawy: I – o najwyższym plonie (Ekotur), II – o średnim plonie (Tordis), III – o niskim plonie (Sprint, Olof, 1047 i 1047D) oraz IV o najniższym plonie – (Turbo, Start, 1054 i Jorr).
5. W warunkach uprawy wierzby na glebie lekkiej o głębokim poziomie wody gruntowej, przy zbiorze co 3 i 4 lata plony biomasy pędów wzrastały w miarę wzrostu dawki azotu.
6. Wyodrębniono trzy grupy genotypów różniące się reakcją w plonie suchej masy na nawożenie azotem: I grupa reagowała istotnym wzrostem plonu do dawki $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (1047, 1054, 1047D, Start, Turbo i Jorr), II grupa – do dawki $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ekotur) i III grupa – do dawki $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Sprint, Olof i Tordis).

PIŚMIENNICTWO

- Adegbidi H., Volk T.A., White E.H., Abrahamson L.P., Briggs R.D., Bickelhaupt D.H. 2001. Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass Bioenergy* 20: 399–411.
- EurObserv'ER 2015. The state of renewable energies in Europe. 15th EurObserv'ER Report: ss. 103.
- Fijałkowska D., Styszko L., Boguski A. 2014. Wpływ lat uprawy, kombinacji nawożenia i klonów na ciepło spalania i wartość opałową biomasy wierzby pozyskanej w okresie zimowym i po krótkotrwałym jej sezonowaniu. *Fragm. Agron.* 31(3): 41–49.
- Grudziński Z. 2013. Koszty środowiskowe wynikające z użytkowania węgla kamiennego w energetyce zawodowej. *Rocz. Ochr. Środ./Annual Set Environ. Prot.* 15: 2249–2266.
- Guidi W., Pitre F.E., Labresque M. 2013. Short-rotation coppice of willow for production of biomass in Eastern Canada. *Biomass Now – Sustainable Growth and Use. INTECH*: 421–448.
- GUS 2016. Energia ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2015 r. GUS Warszawa.
- Labrecque M., Teodorescu T. 2003. High biomass field achieved by *Salix* clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass Bioenergy* 25: 135–146.
- Matyka M. 2013. Produkcyjne i ekonomiczne aspekty uprawy roślin wieloletnich na cele energetyczne. *Wyd. IUNG-PIB Puławy, Rozprawy naukowe* 35: ss. 98.
- Nowak W., Sowiński J., Jama A. 2011. Wpływ częstotliwości zbioru i zróżnicowanego nawożenia azotem na plonowanie wybranych klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.). *Fragm. Agron.* 28(2): 55–62.
- Stolarski J.M. 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego, *Wyd. UWM Olsztyn, Rozpr. Monogr.*: ss. 145.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2002. Produktywność klonów wierzby krzewiastej uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. *Fragm. Agron.* 19(2): 39–51.
- Styszko L., Fijałkowska D., Sztyma-Horwat M. 2011. Influence of fertilization with EKO-KOMP compost on the willow crop, combustion heat and the emissions of nitrogen oxides NO_x at biomass combustion. In: *Use of biomass in power engineering: economic and ecological aspects*. Jasiulewicz M. (ed.). Polish Economic Association Koszalin, University of Technology: 175–203.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Fortuna W. 2009. Plon biomasy wierzby pozyskiwanej w krótkich rotacjach zbioru na plantacji przemysłowej. *Fragm. Agron.* 26(2): 146–155.
- Trojanowska A. 2010. Wykorzystanie zasobów wody oraz azotu przez rośliny energetyczne. W: *Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy*. Grzybek A. (red.). *Wyd. ITP, Falenty-Warszawa*: 76–82.
- Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2010. Plonowanie oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. *Fragm. Agron.* 27(4): 135–146.
- Weih M., Nordh N-E. 2002. Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilisation regimes. *Biomass Bioenergy* 23: 397–413.

L. STYSZKO, D. FIJAŁKOWSKA, M. IGNATOWICZ

INFLUENCE OF FERTILIZATION WITH NITROGEN AND NUMBER OF YEARS OF SHOOTS REGROWTH ON YIELD OF WILLOW BIOMASS

Summary

The aim of the study was to evaluate the yield of 10 genotypes of osier in the 4-year cycle of cultivation on light soil (class IVa–IVb) in the Middle Pomerania, near Koszalin (16°24' N and 54°8' E) using various fertilization with nitrogen and frequency of shoots mowing. The experiment consisted of a preparatory

period (year 2007) and the 4-year period of shoots re-growth (2008–2011). Three doses of nitrogen were drawn for the experiment: (b) 60 kg N·ha⁻¹, (c) 120 kg N·ha⁻¹ and (d) 180 kg N·ha⁻¹ and a control object (a) with dose 0 kg N·ha⁻¹. 10 genotypes of osier (*Salix viminalis* L.) (clones: 1047, 1054, and 1047D and cultivars: Start, Sprint, Turbo, Ekotur, Olof, Jorr and Tordis) were drawn within doses. Each year in April fertilization with nitrogen was applied. In 2007, on a plot of an area of 25.3 m² 56 willow cuttings were planted in two rows, ie. 22134 pcs. per ha. During mowing each row was collected separately (12.65 m²). The shoots in the first row were mowed twice (after 3 years and after 1 year of re-growth), and in the second row – once (after 4 years of re-growth). In order to determine dry matter content, samples of shoots were collected in two periods: I – on the day of mowing and II – after 6 months of seasoning on the field. It was proved that the highest impact on yield of willow biomass and dry matter content had years of shoots re-growth, lower – willow genotype and nitrogen dose. High impact on those parameters had also interactions of years of shoots re-growth with doses of nitrogen and with genotypes of willow. Yield of willow dry matter per 1 year of shoots re-growth, collected after 4 years of cultivation, was higher by 14.8% than the accumulated yield after three years and one year of growing. Biomass seasoning caused decrease of water content in the shoots by 32.5% on average. Four homogeneous groups of willow genotypes were created for yield of dry biomass per 1-year of cultivation: I – the highest yield (Ekotur), II – medium yield (Tordis), III – low yield (Sprint, Olof 1047 and 1047D) and IV – the lowest yield (Turbo, Start, 1054 and Jorr). Yield of shoots biomass increased along with increasing doses of nitrogen for crop collected every 3 and 4 years. Three groups of genotypes were created taking into consideration reaction in yield of dry matter per 1 year of cultivation on nitrogen fertilization: group I reacted with significant increase of yield up to dose of 60 kg N·ha⁻¹ (1047, 1054, 1047D, Start, Turbo and Jorr), group II – up to dose of 120 kg N·ha⁻¹ (Ekotur) and group III – up to dose of 180 kg N·ha⁻¹ (Sprint, Olof and Tordis).

Key words: common osier, genotypes, fertilization with nitrogen, biomass yield, seasoning

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 9.04.2017

Do cytowania – *For citation*

Styszko L., Fijałkowska D., Ignatowicz M. 2017. Wpływ nawożenia azotem i liczby lat odrastania pędów na plon biomasy wierzby. *Fragm. Agron.* 34(2): 84–93.