

Ilona ŚWITAJSKA, Sławomir SZYMCZYK
Angela POTASZNIK, Żaneta BANASZEK
Cristina TIMOFTE, Ireneusz CYMES

EPISTEME
22/2014, t. III
s. 331–342
ISSN 1895-2241

WPŁYW UPRAWY WIERZBY NA CELE ENERGETYCZNEJ W WARUNKACH POLSKI PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ NA JAKOŚĆ WÓD GRUNTOWYCH

INFLUENCE OF CULTIVATION OF THE WILLOW TO
DESTINATIONS ENERGY IN CONDITIONS OF NORTH-
EAST POLAND TO THE QUALITY OF GROUNDWATERS

Streszczenie. Celem badań było określenie wpływu uprawy wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.) na cele energetyczne w pierwszym roku uprawy na właściwości chemiczne wód gruntowych z uwzględnieniem sezonu wegetacyjnego i poza wegetacyjnego. Systematycznie raz w miesiącu (2011 rok) w wodach gruntowych oznaczono: ChZT, węglany, chlorki, siarczany. Stwierdzono, że na jakość wód gruntowych terenów pożałdowanych wpływa głębokość położenia wód gruntowych. Zasadnicze znaczenie ma także sposób zagospodarowania terenu oraz warunki meteorologiczne. Wykazano również, że w zbliżonych warunkach dostępności wody dla roślin plantacja wierzby spowodowała ponad 3-krotne zmniejszenie stężenia chlorków w wodzie gruntowej, ale praktycznie nie wpłynęła na zmiany zawartości w nich wodorowęglanów, siarczanów i substancji organicznej (wartość ChZT).

Słowa kluczowe: *wierzba energetyczna, wody gruntowe, ChZT, węglany, chlorki, siarczany,*

Summary. The aim of the study was to determine the effect of growing willow (*Salix viminalis* L.) for energy purposes in the first year of cultivation on the chemical properties of groundwater, taking into account the growing season and out of the vegetation. Systematically once a month (2011) in groundwater were determined: COD, carbonates, chlorides, sulfates. It was found that the quality of groundwater wrinkled areas affected by depth to the groundwater. It is also crucial land use and meteorological conditions. It was also shown that in similar conditions of water availability to plants willow plantation caused more than 3-fold reduction in chloride concentration in the groundwater, but practically had no effect on their content change carbonates, sulphates and organic matter (COD value).

Key words: *willow (Salix viminalis), groundwater, COD, carbonates, chlorides, sulphates*

WSTĘP

Tereny rolnicze stanowią istotne zagrożenie zanieczyszczeniami wód gruntowych oraz powierzchniowych. Zanieczyszczenia obszarowe nie tylko wynikają z produkcji zwierzęcej, ale również roślinnej. Sposób użytkowania terenu posiada zasadnicze znaczenie w kształtowaniu jakości wód gruntowych (Świtajska i in. 2013a). Interesujący pod względem ograniczenia zanieczyszczenia wód gruntowych wydaje się fakt wprowadzania upraw wierzby na cele energetyczne. Wysoka wydajność wierzby z 1 ha oraz produktywność z 1 karpy kwalifikuje ją jako atrakcyjnie finansowo rozwiązanie oraz stanowi alternatywę dla dotychczasowych upraw rolniczych dając nowe możliwości zagospodarowania terenów niewykorzystanych (Dubas i in. 2004). Dodatkowo wydajność uzależniona jest od roku zbioru biomasy. Najbardziej atrakcyjnym ze względu na przyrost biomasy jest zbiór w systemie trzyletnim (Dubas i in. 2004).

Uprawa wierzby energetycznej wymaga określonych warunków meteorologicznych, takich jak: opady atmosferyczne, temperatura oraz nasłonecznienie. Do najbardziej optymalnych należą równomiernie rozłożone w okresie wegetacji opady atmosferyczne na poziomie 600 mm rocznie (Dreszer i in. 2003) oraz umiarkowanie wysoka temperatura w tym okresie. Susza negatywnie wpływa na plonowanie, obniżając wydajność z jednostki powierzchni nawet o 50% (Szczukowski i in. 2004). Na uprawę ma również wpływ rodzaj gleb (III-IV klasy bonitacyjnej) oraz rzeźba terenu. Optymalny poziom wód gruntowych dla wierzby energetycznej to 1-1,5 m (Dreszer i in. 2003).

Celem pracy była ocena wpływu wierzby energetycznej w I roku uprawy na właściwości chemiczne wód gruntowych.

MATERIAŁ I METODY

Wieloletnia plantacja wierzby uprawianej w celu pozyskania materiału energetycznego została założona na terenie województwa Warmińsko-Mazurskiego (Polska północno-wschodnia) w III dekadzie kwietnia 2010 roku. Obiekt badawczy położony jest na gruntach wsi Samławki (teren Stacji Dydaktyczno-Badawczej UWM w Olsztynie z siedzibą w Łężanach), zlokalizowanej ok. 80 km na północny-wschód od Olsztyna. Plantacja utworzona została na gruntach, których gleby charak-

teryzowały się małą przydatnością do tradycyjnej produkcji rolniczej pod uprawy konsumpcyjne. Zawartość substancji organicznej w glebie wynosiła 2,98%. Przedplon plantacji stanowiło pszenżyto uprawiane w płodozmianie. Wierzbę krzewiastą posadzono w zagęszczeniu 11,11 tys. sztuk roślin/ha. Na plantacji zastosowano nawożenie mineralne w ilościach: N 90 kg·ha⁻¹, P₂O₅ 30 kg·ha⁻¹, K₂O 60 kg·ha⁻¹. W tym samym roku, jesienią założono na niej punkty pomiarowo-kontrolne (piezometry) oddalone od siebie o: 30 m (pomiędzy punktem nr 1 i nr 2 oraz nr 2 i nr 3). Odległość pomiędzy transektem piezometrów na plantacji wierzby, a punktem pomiarowym nr 4 wynosiła ok. 200 m, zaś pomiędzy punktem nr 5, a transektem leśnym ok. 1000 m.

Jednocześnie w celach porównawczych piezometry założono również na sąsiednich gruntach ornych i w lesie. Na gruntach ornych uprawiano pszenicę ozimą dla której zastosowano nawożenie N 150 kg·ha⁻¹, P₂O₅ 60 kg·ha⁻¹, K₂O 110 kg·ha⁻¹. Przedplonem był rzepak ozimy. Las 51-letni o typie siedliskowym LŚW (las świeży) z przewagą jaworu (JW). Las pełni funkcję gospodarczą. W pracy przedstawiono analizę zmienności jakości wód gruntowych w pierwszym okresie badawczym, który był realizowany od stycznia do grudnia 2011 roku. Obszar badań reprezentuje tereny pojezierne, charakteryzujące się zróżnicowaną rzeźbą. Na plantacji wierzby i obiektach porównawczych łącznie założono 6 punktów badawczych, których lokalizacja uwzględniała zarówno ukształtowanie, jak i sposób użytkowania terenu. Trzy z nich umieszczono na plantacji wierzby: wierzchowina (nr 1 – 3,90 m), stok (nr 2 – 3,25 m głębokości) oraz obniżenie terenu (nr 3 – 1,62 m głębokości). Pozostałe punkty zlokalizowano: na gruncie ornym (nr 4 – 3,07 m głębokości) w pobliżu plantacji, jako przykład wpływu intensywnego użytkowania gleb oraz w lesie jako odzwierciedlenie terenu seminaturalnego z uwzględnieniem dostępności wody: wzniesienie (nr 5 – 6,06 m głębokości) oraz obniżenie terenu (nr 6 – 3,45 m). Próby wód gruntowych do analiz chemicznych pobierano systematycznie raz w miesiącu przy pomocy pompy zanurzeniowej typu GIGANT. Analizy chemiczne obejmujące: ChZT, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, wykonano w laboratorium Katedry Melioracji i Kształtowania Środowiska. Stany wód gruntowych zmierzono za pomocą gwizdka hydrologicznego. Wyniki badań omówiono z uwzględnieniem okresu wegetacyjnego (półroczcie letnie obejmowało miesiące: IV-IX) i poza

wegetacyjnego (półrocze zimowe obejmowało miesiące: I-III oraz X-XII) oraz uwzględniono średnie dla całego roku.

WYNIKI I DYSKUSJA

W okresie badań średnia miesięczna temperatura powietrza mierzona w najbliższej położonej stacji meteorologicznej w Kętrzynie wahała się od $-6,6^{\circ}\text{C}$ w lutym do $18,5^{\circ}\text{C}$ w lipcu 2011 roku (średnio w roku $8,4^{\circ}\text{C}$). W tym okresie roczna suma opadów atmosferycznych wyniosła 570 mm (źródło: www.tutienpo.net). Wody gruntowe na plantacji wierzby krzewiastej w okresie 2011-2012 miały pH średnio od 6,79 (wierzchowina) do 7,17 (obniżenie terenu). Najmniejsze wartości pH w okresie wegetacyjnym w badanych wodach w latach 2011-2012 stwierdzono w obniżeniu terenu w lesie (średnio 6,35), co związane było z intensywniejszym pobraniem kationów zasadowych w lepszych warunkach dostępności wody niż na wzniesieniu terenu. Średnia wartość pH wód gruntowych pod gruntem ornym wynosiła ponad 6,0 nie przekraczając pH=6,5 (Świtajska i in. 2013b). Nieco większe wartości pH wód pod gruntem ornym zapewne wynikało ze stosowania nawożenia mineralnego oraz okresowego wapnowania gleb.

Wykazano, że w zależności od aktualnych warunków meteorologicznych oraz sposobu ukształtowania i zagospodarowania terenu poziom wód gruntowych wahał się od 134 cm poniżej powierzchni terenu (p.p.t.) w sezonie wegetacyjnym w obniżeniu pod plantacją wierzby do 568 cm p.p.t. w sezonie poza wegetacyjnym w lesie na wierzchowinie. W całym okresie najwyższe położone zwierciadło wód gruntowych pod plantacją wierzby występowało w obniżeniu (średnio 137cm p.p.t.), zaś najniższy stan obejmował wierzchowinę (357 cm p.p.t.). Zaś na obiektach porównawczych najwyższe stany wód – średnio 138 cm p.p.t. występował pod gruntami ornymi, a najniższe – średnio 559 cm p.p.t. pod lasem na wierzchowinie i w jego obniżeniu – średnio 269 cm p.p.t. Takie zależności nie odbiegały zasadniczo od średnich dla lat 2011-2012 (Świtajska i in. 2013). Poziom wód gruntowych statystycznie istotnie wpływa na przyrosty wierzby energetycznej. Jak wskazują Juliszewski i in. 2006 największe przyrosty wystąpiły u roślin dla których średni poziom wód gruntowych wynosił 156,3 cm, zaś przy głębokości 198,9 cm był on najmniej korzystny.

Wykazano, że w badanych wodach gruntowych większe stężenia wodorowęglanów występowały pod plantacją wierzby niż pod obiektami porównawczymi (tab. 1). Pod plantacją wierzby największe ich stężenie (średnio 275 mg·dm⁻³) występowało w wodach gruntowych na wierzchowinie, a najmniejsze w obniżeniu terenu. W zbliżonych warunkach wilgotnościowych jak w obniżeniu terenu pod wierzbą (podobne stany i dynamika poziomu wód gruntowych) nieznacznie mniejsze stężenie wodorowęglanów (średnio o 4,4%) stwierdzono pod gruntami ornymi. Najmniejsze zawartości węglowodanów występowały w wodzie gruntowej w obniżeniu terenu pod lasem (średnio 41 mg·dm⁻³). W obydwu rozpatrywanych sezonach stężenie w badanych wodach gruntowych kształtowało się na względnie stałym poziomie. Niemniej stwierdzono, że większą zawartością wodorowęglanów w sezonie wegetacyjnym odznaczały się wody gruntowe pod plantacją wierzby na stoku i w obniżeniu oraz pod gruntem ornym, zaś odwrotną tendencję obserwowano w wodach gruntowych pod plantacją stoku oraz pod lasem.

Tab. 1. Zmienność stężenia wodorowęglanów w wodach gruntowych w okresie od stycznia do grudnia 2011 roku (mgHCO₃·dm⁻³)

Stanowisko	Sezon wegetacyjny		Sezon poza wegetacyjny		Styczeń-Grudzień 2011			
	Min-Max	Średnia	Min-Max	Średnia	Średnia	Odchylenie standardowe S	Współczynnik Zmienności V [%]	Rozstęp R
Plantacja wierzby								
1	264-304	280	260-277	270	275	14	5	44
2	220-267	254	238-295	267	260	19	7	75
3	216-290	267	88-286	212	237	67	28	202
Obiekty porównawcze								
4	216-273	247	146-273	211	229	38	16	127
5	145-172	157	163-172	167	160	10	6	27
6	26-48	37	31-66	47	41	12	28	40

Oznaczenia: 1 - Wierzchowina; 2 - Stok; 3 - Obniżenie; 4 - Grunt orny w sąsiedztwie wierzby; 5 - Las – wierzchowina; 6 - Las – obniżenie

Najmniejsze odchylenie wartości od średniego stężenia wodorowęglanów stwierdzono na obiektach porównawczych w wodach

gruntowych pod lasem na wierzchowinie ($S=10 \text{ mg HCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz w obniżeniu ($S=12 \text{ mgHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$). Na plantacji wierzby podobną zależność wykazały wody gruntowe na wierzchowinie ($S=14 \text{ mgHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) i stoku ($S=19 \text{ mgHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$), co wskazuje na względnie stały poziom zawartości wodorowęglanów i niewielkie zróżnicowanie ich stężeń w okresie roku. Największe odchylenie standardowe stężenia wodorowęglanów stwierdzono w wodach gruntowych w obniżeniu terenu ($S=67 \text{ mgHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) pod plantacją wierzby oraz pod gruntem ornym ($S=38 \text{ mgHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$), co wskazuje na dużą dynamikę roczną wynikającą zapewne z intensywniejszego przemieszczania się składników w profilu glebowym oraz z większego pobrania składników pokarmowych przez rośliny w sezonie wegetacyjnym, co zapewniała lepszą dostępność wody (wyższe stany wód gruntowych). Zatem może mieć to związek z obiegiem wody na stoku, a szczególnie płytkim krążeniem wody zarówno pod plantacją wierzby w obniżeniu jak i pod gruntami ornymi. Analogicznie wnioski można wysnuć analizując rozstęp uzyskanych wyników. Największe jego wartości stwierdzono w wodach gruntowych w obniżeniu terenu ($R=202 \text{ mgHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) pod plantacją wierzby oraz pod gruntem ornym ($R=127 \text{ mgHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$).

Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) należące do wskaźników jakości wody decyduje o ilości tlenu, jaka potrzebna jest do utlenienia zawartych w niej związków organicznych i nieorganicznych. Badania wykazały, że było ono uzależnione od sposobu zagospodarowania terenu oraz głębokości zalegania wód gruntowych, ściśle związanego zarówno z aktualnymi warunkami meteorologicznymi jak i rzeźbą terenu. W wodzie gruntowej pod plantacją wierzby zwiększało się ono wraz z obniżeniem terenu, osiągając średnio $11,7 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w obniżeniu terenu. Mogło to wynikać z większej zawartości w glebie materii organicznej, która w skutek rozkładu łatwiej migrowała do płytko położonych wód gruntowych (tab. 2).

Uruchomienie większych ilości substancji organicznych w okresie po zakończeniu wegetacji potwierdza wystąpienie w tym czasie większych wartości ChZT w wodzie gruntowej (od $8,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ na wierzchowinie plantacji do $30,5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ na wierzchowinie w lesie), co zapewne wynikało z wymywania substancji organicznej w głąb profilu glebowego podczas odnawiania się zasobów wód gruntowych. W wodach gruntowych pod lasem zwiększenie się wartości ChZT było

Tab. 2. Zmienność wartości ChZT na tlen w wodach gruntowych w okresie od stycznia do grudnia 2011 roku ($\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$)

Stanowisko	Sezon wegetacyjny		Sezon poza wegetacyjny		Styczeń-Grudzień 2011			
	Min-Max	Średnia	Min-Max	Średnia	Średnia	Odchylenie standardowe S	Współczynnik Zmienności V [%]	Rozstęp R
Plantacja wierzby								
1	4,5-6,3	5,7	0,8-24,0	8,8	7,2	7,8	107	23,2
2	4,8-17,6	11,8	0,8-11,3	6,5	9,2	4,7	51	16,8
3	3,2-20,4	11,8	5,0-18,8	11,7	11,7	5,3	45	17,2
Obiekty porównawcze								
4	3,6-19,2	11,6	4,0-25,2	12,1	11,9	6,3	53	21,6
5	5,2-79,2	26,1	8,0-67,0	30,5	27,7	27,5	99	74,0
6	3,6-17,6	11,1	5,0-17,1	11,7	11,3	4,6	40	14,0

Oznaczenia: 1 - Wierzchowina; 2 - Stok; 3 - Obniżenie; 4 - Grunt orny w sąsiedztwie wierzby; 5 - Las – wierzchowina; 6 - Las – obniżenie

bardziej widoczne na wierzchowinie (od $26,1 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w sezonie wegetacyjnym do $30,5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w sezonie poza wegetacyjnym), niż w obniżeniu terenu. Związane było to z niskim poziomem wód gruntowych występujących na wierzchowinie na dużej głębokości. Na plantacji wierzby zależność ta, była odwrotna, ponieważ w przypadku stoku i obniżenia terenu wartość ChZT wynosiła średni od $11,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w sezonie wegetacyjnym, a w sezonie poza wegetacyjnym $6,5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ na stoku i $11,7 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w obniżeniu. Wynikało to zarówno z większej zawartości substancji organicznej w glebie jak również z intensywniejszego podnoszenia się ich poziomu.

Największą roczną dynamikę ChZT stwierdzono w wodach gruntowych pod lasem na wierzchowinie ($S=27,5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), przy jednocześnie wysokim współczynniku zmienności ($V=99,1$). Pozostałe wody były bardziej skupione wokół średniej od $4,6$ (nr 6) do $7,8$ (nr 1). Zróżnicowanie pod kątem ChZT wskazywały wody gruntowe pod plantacją wierzby na wierzchowinie ($V=107,4\%$), przy jednocześnie największym rozstępie ($R=23,2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), wskazuje to na duże jego zróżnicowanie.

Było to zapewne związane z niskim poziomem wód gruntowych, czyli mało dogodnymi warunkami w przesuszonym profilu glebowym do intensywnych procesów mikrobiologicznych, w wyniku których powinna być mineralizowana substancja organiczna, która była częściowo wymywana do wód gruntowych w okresie odnawiania się ich zasobów.

Stężenie siarczanów w badanych wodach gruntowych pod plantacją wierzby było nieco większe w sezonie wegetacyjnym i wahało się w granicach od 24,6 mg·dm⁻³ w obniżeniu terenu do 219,4 mg·dm⁻³ na stoku. W obydwu sezonach największe ich stężenia, średnio ponad 2-krotnie w porównaniu do wierzchowiny i obniżenia terenu, było również na stoku (tab. 3). Stwierdzono, że były one zbliżone do stężeń siarczanów w wodzie gruntowej pod gruntem ornym. Można zatem stwierdzić, że w zbliżonych warunkach wilgotnościowych w porównaniu do wierzby uprawianej na cele energetyczne (obniżenie terenu) w wodzie pod gruntem ornym występowało ponad 2-krotnie większe stężenie siarczanów. Jednak największe stężenie siarczanów (360,7 mg·dm⁻³) stwierdzono w sezonie poza wegetacyjnym w wodzie gruntowej na wierzchowinie pod lasem.

Tab. 3. Zmienność stężenia siarczanów w wodach gruntowych w okresie od stycznia 2011 do października 2011 roku (mg·dm⁻³)

Stanowisko	Sezon wegetacyjny		Sezon poza wegetacyjny		Styczeń-Grudzień 2011			
	Min-Max	Średnia	Min-Max	Średnia	Średnia	Odchylenie standardowe S	Współczynnik zmienności V [%]	Rozstęp R
Plantacja wierzby								
1	26,3-176,4	97,0	10,3-73,3	42,1	68,5	54,3	79	166,2
2	90,7-219,4	136,2	45,9-186,2	114,8	125,5	53,4	43	173,5
3	24,6-107,7	53,2	45,9-56,1	51,0	52,0	20,0	39	83,2
Obiekty porównawcze								
4	80,4-214,7	132,0	44,8-201,3	112,5	122,2	57,8	47	169,8
5	81,4-217,9	154,1	46,4-360,7	203,5	168,2	96,7	57	314,3
6	25,4-54,6	36,3	21,5-81,9	61,91	49,1	22,1	45	60,4

Oznaczenia: 1 - Wierzchowina; 2 - Stok; 3 - Obniżenie; 4 - Grunt orny w sąsiedztwie wierzby; 5 - Las – wierzchowina; 6 - Las – obniżenie

W sezonie poza wegetacyjnym w stosunku do sezonu wegetacyjnego w wodach gruntowych pod plantacją wierzby stwierdzono obniżenie stężenia siarczanów od 4 % w obniżeniu terenu do 57% na wierzchowinie. Było to zapewne związane z odpływem gruntowym siarczanów wraz z wodami zgodnie ze spadkiem terenu oraz ze znacznie większym ich rozcieńczeniem w wodzie gruntowej na wierzchowinie w wyniku większego podniesienia ich niż w obniżeniu terenu, gdzie amplituda wahań poziomu wody w gruncie była mniejsza. Wpłynęło to na znacznie większą zmienność stężeń siarczanów w wodzie gruntowej na wierzchowinie ($V=79\%$; $S=54,3$; $R=166,20$), niż w obniżeniu terenu ($V=38\%$; $S=20,0$; $R=83,2$). Podobna tendencja występowała w wodzie gruntowej pod lasem.

Stężenie chlorków w badanych wodach gruntowych było również uzależnione od ukształtowania i sposobu użytkowania terenu, ale zmienność ich stężeń w roku była znacznie mniejsza niż w przypadku wodorowęglanów $ChZT$, czy siarczanów. W wodzie gruntowej pod plantacją wierzby stężenie chlorków zmieniało się w zakresie od 4 mgCl-dm^{-3} w obniżeniu terenu w sezonie wegetacyjnym do 31 mgCl-dm^{-3} na wierzchowinie i stoku w sezonie poza wegetacyjnym (tab. 4).

Tab. 4. Zmienność stężenia chlorków w wodach gruntowych w okresie od stycznia 2011 do października 2011 roku (mg-dm^{-3})

Stanowisko	Sezon wegetacyjny		Sezon poza wegetacyjny		Styczeń-Grudzień 2011			
	Min-Max	Średnia	Min-Max	Średnia	Średnia	Odchylenie standardowe S	Współczynnik zmienności V [%]	Rozstęp R
Plantacja wierzby								
1	16-30	22	14-31	22	22	7	30	17
2	22-28	25	27-31	29	27	2	9	9
3	4-8	6	10-17	13	10	4	37	13
Obiekty porównawcze								
4	24-41	33	24-42	35	34	7	21	18
5	14-19	17	19-32	25	19	5	28	18
6	1-10	4	4-12	7	6	3	54	11

Oznaczenia: 1 - Wierzchowina; 2 - Stok; 3 - Obniżenie; 4 - Grunt orny w sąsiedztwie wierzby; 5 - Las - wierzchowina; 6 - Las - obniżenie

W wodach gruntowych pod plantacją wierzby większe stężenia chlorków (średnio od 55% do 64 %) występowały w głębiej zalegających wodach gruntowych. Największe stężenie chlorków w 2011 roku stwierdzono w wodach pod gruntem ornym (średnio $34 \text{ mgCl} \cdot \text{dm}^{-3}$), były one ponad 3-krotnie większe niż w obniżeniu pod plantacją wierzby (średnio $10 \text{ mgCl} \cdot \text{dm}^{-3}$) i ponad 6-krotnie większe niż w wodzie w obniżeniu pod lasem (średnio $6 \text{ mgCl} \cdot \text{dm}^{-3}$). Pod wpływem zmiennych warunków meteorologicznych wpływających na intensywność przemieszczania oraz możliwość bioakumulacji składników w rozpatrywanym okresie najmniejsze zróżnicowanie stężeń chlorków ($V=9\%$; $S=2$; $R=9$) wykazywało w wodzie gruntowej pod plantacją wierzby na stoku, zaś największe ($S=7$; $R=18$) pod gruntami ornymi oraz ($S=7$; $R=28$) pod plantacją wierzby na wierzchołku, lecz największą zmiennością stężeń chlorków ($V=54\%$), pomimo najmniejszych stężeń, charakteryzowała się woda gruntowa w obniżeniu terenu pod lasem. Mogło być to związane głównie z atmosferycznym pochodzeniem chlorków oraz ze stosunkowo dużymi wahaniami poziomu wody pod lasem.

WNIOSKI

Zawartość wodorowęglanów, siarczanów i chlorków oraz wartość ChZT w badanych wodach gruntowych była uzależniona ukształtowania i sposobu zagospodarowania terenu oraz warunków meteorologicznych (opady i temperatura) modyfikujących intensywność procesów fizykochemicznych i biologicznych oraz ruch wody i substancji w środowisku glebowym, a także bioakumulację składników.

Zmiana sposobu użytkowania gleb, z gruntów ornych na uprawę wierzby krzewiastej na cele energetyczne w zbliżonych warunkach dostępności wody gruntowej dla roślin spowodowała ponad 3-krotne zmniejszenie stężenia chlorków w wodzie gruntowej, ale praktycznie nie wpłynęła na zmiany zawartości w nich wodorowęglanów, siarczanów i substancji organicznej (wartość ChZT).

O jakości wód gruntowych na terenach pofałdowanych decyduje głębokość położenia wód gruntowych. Na terenie seminaturalnym (las) wraz ze zwiększaniem dostępności wody gruntowej dla roślin (wyższe stany wód gruntowych w obniżeniu terenu) następowało

zmniejszenie w nich stężeń wodorowęglanów, siarczanów i chlorków oraz wartości ChZT, a pod uprawą wierzby: wodorowęglanów, siarczanów i chlorków oraz zwiększenie wartości ChZT.

LITERATURA

- Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A. 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTIR Kraków-Lublin-Warszawa.
- Dubas J. W. Grzybek A. Kotowski W. Tomczyk A. 2004. Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu. s. 35
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. J. 2004. Wierzba energetyczna. Wydawnictwo Plantpress. Kraków.
- Świtajska I., Szymczyk S., Koc J. 2013a. Wpływ sposobu użytkowania terenu na jakość wód gruntowych. *Proceedings of Ecopole* 7(1): 259-265.
- Świtajska I., Szymczyk S., Potasznik A., Banaszek Ż. 2013b. Wpływ uprawy wierzby na cele energetyczne na jakość wód gruntowych. *EPISTEME*. Kraków, Nr. 18, t. III: 249-258.
- Tadeusz Juliszewski, Dariusz Kwaśniewski, Dariusz Bara. 2006. Wpływ wybranych czynników na przyrosty wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza* Nr 12: 225-232
- Portal internetowy przedstawiające aktualne warunki meteorologiczne – [http:// www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net)

„Opisane badania były finansowane z budżetu Zadania Badawczego nr 4 pt. „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych” w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” realizowanego ze środków NCBiR i ENERGA S.A.

Adres do korespondencji:

mgr. inż. Ilona Świtajska
e-mail: ilona.switajska@uwm.edu.pl

dr hab. inż. Sławomir Szymczyk
e-mail: szymek@uwm.edu.pl

mgr. inż. Angela Potasznik
e-mail: angela.potasznik@uwm.edu.pl

mgr. inż. arch. kraj. Żaneta Banaszek
e-mail: zaniaaa23@wp.pl

mgr. inż. Cristina Timofte
e-mail: timofte.cristinamaria@gmail.com

dr inż. Ireneusz Cymes
e-mail: irecym@uwm.edu.pl

Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie
Pl. Łódzki 2 10-719 Olsztyn

Opiekun naukowy:
dr hab. inż. Sławomir Szymczyk