

KRZYSZTOF KLIMONT ¹
ZOFIA BULIŃSKA-RADOMSKA ¹
JÓZEF GÓRKA ²
HENRYK WOŚ ³

¹ Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, IHAR — PIB w Radzikowie

² Kopalnia Siarki „Jeziórko” S.A. w Jeziórku

³ Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o., Grupa IHAR — PIB

Ocena przydatności wybranych gatunków jarych roślin oleistych do uprawy na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego

Evaluation of the suitability of selected spring oilseed species for cultivation on reclaimed flotation lime ground

Badano możliwość uprawy jarych roślin oleistych na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego użyźnionego osadami ściekowymi pokrywającymi tereny poeksploatacyjne Kopalni Siarki „Jeziórko”. Oceniano 5 gatunków roślin oleistych: rzepak jary odm. Heros, gorczycę białą odm. Borowska, len zwyczajny oleisty odm. Oliwin, Szafir i Jantarol, słonecznik zwyczajny oleisty odm. Wielkopolski i Lech oraz lniankę siewną jarą odm. Borowska. Obydwie odmiany słonecznika najlepiej ze wszystkich badanych gatunków i odmian rozwijały się na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego i dzięki silnemu systemowi korzeniowemu były odporne na suszę i zaskorupianie gruntu. Wszystkie odmiany lnu również bardzo dobrze rozwijały się na tym podłożu, corocznie wykazywały bardzo dobre wschody, tworzyły zwarty wyrównany łan mało podatny na wyleganie i zadowolająco plonowały. Z roślin kapustowatych (*Brassicaceae*) najbardziej przydatny do rekultywacji tych gruntów okazał się rzepak jary ze względu na bardzo dobre i wyrównane wschody, małą skłonność do wylegania, wysoką bujność roślin i znaczny plon nasion. Gorczyca biała i lnianka siewna wykazały nieco mniejszą przydatność do rekultywacji tych terenów a pod względem ocenianych cech rozwijały się podobnie. Osady ściekowe wraz z porastającą roślinnością wpływały na gromadzenie materii organicznej, składników pokarmowych w gruncie, zwiększając jego wodochłonność i obniżając odczyn. Osadowe użyźnienie bezglebowego złoża wapna poflotacyjnego wpłynęło różnicująco na zawartość metali ciężkich w zreakultwowanym gruncie i wyrosłych na nim roślinach.

Słowa kluczowe: wapno poflotacyjne, osady ściekowe, rośliny oleiste, rekultywacja, metale ciężkie, rozwój gleby

The possibility of the cultivation of spring oil plants on reclaimed ground of post-flotation lime fertilized with sewage sediments was examined. Five species of oilseed plants were evaluated: spring

rape variety Heros, white mustard variety Borowska, oilseed flax varieties Oliwin, Szafir and Jantarol, oilseed sunflower varieties Lech and Wielkopolski and spring false flax variety Borowska. Both varieties of sunflower developed best of all tested species and varieties on soilless ground of post flotation lime and thanks to the strong root system were resistant to drought and crusting of the ground. All varieties of flax developed also very well on the substrate, each year they showed very good emergence, formed a compact aligned field, showed little susceptible to lodging and yielded satisfactory. Of *Brassicaceae* plants, the most useful for the reclamation of the land was a spring rape because of very good and aligned emergence, low tendency to lodging, high exuberance of plants and proper yield of seeds. white mustard and false flax showed slightly less suitability for rehabilitation of these areas and in terms of the evaluated features developed similarly. Sewage sludge, together with growing vegetation affected the accumulation of organic matter of nutrients in the ground, increasing its water holding capacity and lowering the pH. Sedimentary fertilization of soilless ground of post flotation lime affected differentially the content of heavy metals in reclaimed soil and in the plants grown on it.

Key words: post flotation lime, sewage sludge, oilseed plants, reclamation, heavy metals, soil development

WSTĘP

W ostatnich latach odnotowano systematyczne zmniejszanie się w naszym kraju gruntów zdegradowanych i zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną, ale jest ich nadal około 64 tys. ha (Rocznik statystyczny, 2012). Wymagają one rekultywacji poprzez inicjację życia biologicznego w bezglebowym gruncie i odtworzenia szaty roślinnej, a temu służy dobór odpowiednich gatunków roślin użytkowych (Góral, 2001). Do takich zdewastowanych gruntów należą tereny poeksploatacyjne kopalni siarki, gdzie siarkę wydobywano metodą otworową, a po zakończeniu eksploatacji złoża ich rekultywacja polegała na neutralizacji zakwaszenia i wypełnieniu zapadłisk terenu wapnem poflotacyjnym (szlamem poflotacyjnym), a następnie użyczeniu osadem ścieków komunalnych i wprowadzeniu dobranych gatunków roślin (Siuta, Jońca, 1997; Warzybok, 2000; Siuta, 2001). Badania Siuty i in. (1996) pokazały, że najbardziej przydatne do rekultywacji tych terenów są kupkówka pospolita i lucerna mieszańcowa. Z kolei prace Klimonta (2007) oraz Klimonta i Bulińskiej-Radomskiej (2011) wykazały, że do tych gatunków należą również: topinambur (słonecznik bulwiasty), kostrzewa trzcinowa, sylfia przerośnięta i spartina sercowata. Według innych doniesień, także wybrane gatunki roślin miododajnych oraz różne gatunki i mieszańce wierzby (*Salix* sp.) bardzo dobrze spełniały rolę roślin rekultywacyjnych (Klimont i in., 2013a; Klimont, 2007; Klimont, Bulińska-Radomska, 2013 b). Również rośliny oleiste — rzepak jary, gorczyca biała, lnianka siewna, oraz oleiste formy słonecznika zwyczajnego i lnu zwyczajnego okazały się bardzo przydatne do rekultywacji tych terenów (Klimont i in., 2012). Z roślin oleistych szczególnie polecana jest lnianka siewna ze względu na bardzo małe wymagania glebowe i wodne oraz odporność na choroby i szkodniki. Także gorczyca biała dobrze znosi gorsze warunki glebowe poza wrażliwością na niskie pH. Natomiast len zwyczajny lubi gleby raczej żyzne, ale równie dobrze rozwija się na gorszych stanowiskach, ale w kulturze i przy odczynie co najmniej obojętnym (Zajac, 2004).

Celem badań było określenie przydatności i wykorzystania jarych roślin oleistych do uprawy na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ściekowym oraz ich glebotwórczego oddziaływania.

MATERIAŁ I METODY

Badania z wybranymi gatunkami roślin oleistych prowadzono na terenie poeksploatacyjnym Kopalni Siarki „Jeziórko” niedaleko Tarnobrzega, gdzie siarkę wydobywano metodą otworową. Tereny te pokryto wapnem poflotacyjnym o miąższości średnio 1,5 m (od 1 do 6 m), celem likwidacji zakwaszenia i niecek osiadania terenu. Wapno poflotacyjne (szlamy poflotacyjne), które jest odpadem poprodukcyjnym Kopalni Siarki „Machów” przemieszczono na zawodnione niecki osiadania przy użyciu hydrotransportu. Według Gołdy (2007) wapno poflotacyjne to gliny średnie pylaste o pH ok. 7,3 zawierające piasek — 39%, pył — 27% i części spławialne — 34% (w tym il koloidalny 7%). Wiosną 2002 roku wapienny grunt użyziono osadem komunalnym w dawce $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ i ciężką broną talerzową dokładnie wymieszano z podłożem. Potem zastosowano nawożenie mineralne w ilości $70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, $32,7 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $83 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na grunt rekultywacyjny wysiano mieszankę traw z roślinami motylkowatymi: kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), życica trwała (*Lolium perenne* L.), koniczyna łąkowa (*Trifolium perenne* L.), lucerna mieszańcowa (*Medicago media* Pers.). Corocznie wyrosłą ruń wykaszano kosiarką rotacyjną i zbierano. Jesienią 2010 roku ruń wykoszono i zastosowano glebogryzarkę do niszczenia zadarnienia na głębokość ok. 12 cm, a przed siewem kultywator o łapach sztywnych/gruber (głębokość pracy do ok. 15 cm). Wiosną roku następnego po wyrównaniu powierzchni ciężką a potem lekką broną zębową ręcznie wysiano nawozy mineralne: N — $68 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, P — $13,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i K — $68,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na tak przygotowanej powierzchni założono 8 doświadczeń, każde o powierzchni 40 m^2 , na każdym z nich wysiano nasiona jednej z 8 odmian należących do 5 gatunków roślin oleistych: rzepaku jarego (*Brassica napus* L. spp. *oleifera* Metzg.) odm. Heros, gorczyca białej (*Sinapis alba* L.) odm. Borowska, lnianki siewnej jarej (*Camelina sativa* (L.) Crantz) odm. Borowska, słonecznika zwyczajnego oleistego (*Helianthus annuus* L.) odm. Wielkopolski i Lech, lnu zwyczajnego oleistego (*Linum usitatissimum* L.) odm. Oliwin, Szafir i Jantarol. Nasiona badanych roślin wysiewano ręcznie w rzędach, w terminach 21.04.2011, 20.04.2012, i 29.04.2013 (rzepak, gorczyca, lnianka, len) a nasiona słonecznika o tydzień później w każdym roku badań. Co roku wartość każdej cechy badanych roślin określano w czterech powtórzeniach. Określano wschody roślin po upływie miesiąca od daty wysiewu, plon nasion przy wilgotności 12%, wysokość roślin poprzez pomiar 10 wybranych osobników w próbie, wyleganie w 9° skali według Listy opisowej odmian (COBORU, 2012), fazy rozwojowe oraz przydatność gatunków roślin do uprawy na wapiennym podłożu, a także ocenę ich bujności w 10-stopniowej skali według Górala (Góral, Rola, 2001). Badano wpływ osadów ściekowych i uprawianych roślin na gromadzenie składników pokarmowych i odczyn rekultywowanego gruntu w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Kielcach. W próbkach podłoża oznaczano: zawartość materii organicznej — metodą Tiurina, wartość

pH — metodą potencjometryczną, zawartość P — metodą spektrofotometryczną, zawartość K — metodą fotometrii płomieniowej a Mg — metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Zawartość metali ciężkich Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, As zarówno w podłożu, jak i materiale roślinnym określono metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (FAAS), natomiast Hg metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z amalgamacją par rtęci. Wariant kontrolny stanowiło wapno poflotacyjne bez nawożenia osadami ściekowymi i nawozami mineralnymi oraz nieporośnięte żadną roślinnością.

Analizę statystyczną danych eksperymentalnych wykonano metodą analizy wariancji, istotność różnic między średnimi badanych cech wszystkich gatunków roślin oceniono testem Tukeya przy $NIR\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki pogodowe w okresie prowadzenia badań były zróżnicowane (tab. 1).

Tabela 1

Suma opadów miesięcznych oraz średnia miesięczna temperatura powietrza w latach 2011–2013
Monthly rainfall and mean temperature in years 2011–2013

Miesiąc Month	Lata — Years					
	2011		2012		2013	
	suma opadów rainfall (mm)	temperatura temperature (°C)	suma opadów rainfall (mm)	temperatura temperature (°C)	suma opadów rainfall (mm)	temperatura temperature (°C)
Styczeń — January	25,6	-1,0	34,2	-1,8	48,1	-3,4
Luty — February	14,2	-3,6	11,3	-7,2	25,2	-0,8
Marzec — March	10,1	3,4	23,0	4,9	56,6	-1,5
Kwiecień — April	49,9	10,8	29,2	9,9	31,8	9,0
Maj — May	30,7	14,3	41,2	15,2	88,6	15,1
Czerwiec — June	55,5	18,5	76,5	17,9	111,2	18,3
Lipiec — July	382,9	18,1	53,6	21,2	33,4	19,5
Sierpień — August	17,8	19,0	38,8	19,1	14,9	19,5
Wrzesień — September	5,9	15,5	39,6	14,9	73,6	12,2
Październik — October	23,8	8,0	124,0	8,2	5,4	10,3
Listopad — November	0,0	2,4	21,7	5,4	73,7	5,3
Grudzień — December	21,3	1,8	24,0	-3,3	11,0	1,4
Roczna suma opadów i średnia roczna temperatura powietrza Annual sum of rainfall and average temperature	637,7	8,9	517,1	8,7	573,5	8,7

Pierwszy rok badań (2011) z wilgotną wiosną oraz ciepłym i obfitym w opady latem był najkorzystniejszy dla vegetacji roślin, chociaż wystąpiły także niedobory wody jesienią i przez to słabe uwilgotnienie podłoża. Drugi rok (2012) ze względu na wiosenne niedobory wody w podłożu był mniej korzystny dla wzrostu i rozwoju roślin. Trzeci (2013) rok badań charakteryzował się chłodną i późną wiosną, co wpłynęło na opóźnienie siewów, a letnie upały przy słabych opadach nie sprzyjały vegetacji.

W wyniku badań stwierdzono, że wschody polowe badanych odmian i gatunków roślin oleistych były bardzo dobre i dobre, wyrównane ale nieznacznie zróżnicowane między gatunkami i w obrębie gatunku (tab. 2, 3).

Tabela 2

Plon nasion i niektóre cechy rolniczo-użytkowe gatunków roślin kapustowatych, rosnących na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego, użyźnionego osadem ściekowym (2011–2013)
Yield of seeds and some agricultural traits of *Brassicaceae* family species grown on soilless deposit of post-flotation lime fertilized with sewage sludge (2011–2013)

Gatunek rośliny (odmiana) Species (cultivar)	Cechy — Traits				
	wschody polowe emergence (%)	plon nasion seed yield (t·ha ⁻¹)	wysokość roślin height of plants (cm)	wyleganie lodging (1–9°)	bujność roślin plant vigour (0–9°)
Rzepak jary Spring rape (Heros)	96,9	1,91	103,5	8,6 ¹⁾	8,5
Gorzycza biała White mustard (Borowska)	96,8	1,68	100,8	8,5	8,2
Lnianka siewna False flax (Borowska)	86,9	1,67	59,4	6,7	8,2
NIR α = 0,05 LSD α = 0,05	5,6	0,22	8,0	0,6	0,6

¹⁾ Wyleganie rzepaku określa się w % - miarą jest ugięcie łanu roślin określone przez porównanie wysokości łanu roślin przed zbiorem do wysokości roślin $\times 100$

Field deflection is an evaluation test for lodging of oilseed rape (determined by the ratio of plant canopy height before harvest to the plant height $\times 100$)

Tabela 3

Plon nasion i niektóre cechy rolniczo-użytkowe odmian słonecznika zwyczajnego oleistego (*Helianthus annuus* L.) i lnu zwyczajnego (*Linum usitatissimum* L.), rosnących na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego, użyźnionego osadem ściekowym (2011–2013)
Yield of seeds and some agricultural traits of oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) and oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars, growing on soilless deposit of post-flotation lime fertilized with sewage sludge (2011–2013)

Odmiana Cultivar	Cechy — Traits				
	wschody polowe emergence (%)	plon nasion seed yield (t·ha ⁻¹)	wysokość roślin height of plants (cm)	wyleganie lodging (1–9°)	bujność roślin plant vigour (0–9°)
<i>Helianthus annuus</i> L.					
Wielkopolski	90,0	1,82	107,9	8,6	8,8
Lech	90,8	2,06	93,4	8,6	8,8
NIR α = 0,05 LSD α = 0,05	5,6	0,22	8,0	0,6	0,6
<i>Linum usitatissimum</i> L.					
Oliwin	89,8	1,75	57,9	8,5	8,4
Szafir	89,9	1,71	58,1	7,9	8,3
Jantarol	90,7	2,12	53,5	7,6	8,8
NIR α = 0,05 LSD α = 0,05	5,6	0,22	4,2	0,6	0,6

Najlepiej i niemal identycznie wschodziły nasiona rzepaku jarego i gorzycy białej, nieco słabiej słonecznika zwyczajnego oleistego odm. Lech i Wielkopolski, w dalszej

kolejności minimalnie gorzej lnu zwyczajnego oleistego w kolejności odmian: Jantarol, Szafir i Oliwin a najslabiej lnianki siewnej jarej. Warunki agrometeorologiczne w latach badań wpływały na wschody polowe. Zdecydowanie najlepiej kiełkowały nasiona wszystkich gatunków i odmian w 2011 roku, ze względu na ciepłą i wilgotną wiosnę, gorzej kiełkowały w 2012 roku ze względu na okresowe niedobory wody w podłożu, a najgorzej w 2013 roku ze względu na bardzo późną i chłodną wiosnę oraz opóźnione siewy (tab. 4).

Stwierdzono, że spośród gatunków kapustowatych (*Brassicaceae*) najwyższy średni plon wydał rzepak jary — $1,91 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, istotnie niższy gorczyca biała — $1,68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i lnianka siewna — $1,67 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 2). Z kolei plon słonecznika zwyczajnego odm. Lech — $2,06 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ był istotnie wyższy niż odm. Wielkopolski — $1,82 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 3). Odmiana lnu zwyczajnego oleistego Jantarol plonowała najwyższej — $2,12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a istotnie niżej odm. Oliwin — $1,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i Szafir — $1,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Najwyższą wysokość z rodziny kapustowatych osiągnęły rośliny rzepaku jarego, średnio $103,5 \text{ cm}$, nieco niższe były gorczycy białej — $100,8 \text{ cm}$, a istotnie niższe od dwóch poprzednich gatunków były rośliny lnianki siewnej jarej — $59,4 \text{ cm}$ (tab. 2). Rośliny słonecznika zwyczajnego odm. Wielkopolski mierzyły $107,9 \text{ cm}$ i były istotnie wyższe niż odm. Lech — $93,4 \text{ cm}$ (tab. 3). Rośliny odm. Szafir i odm. Oliwin osiągnęły podobną wysokość, odpowiednio $58,1$ i $57,9 \text{ cm}$ i były istotnie wyższe niż odm. Jantarol — $53,5 \text{ cm}$ (tab. 3).

Rośliny obydwu odmian słonecznika okazały się najmniej podatne na wyleganie wśród badanych gatunków roślin oleistych, bo aż $8,6$ w 9-stopniowej skali (tab. 3). Wśród kapustowatych rośliny rzepaku jarego i gorczycy białej wykazały bardzo niską podatność na wyleganie, tj. odpowiednio $8,6$ i $8,5^\circ$, a rośliny lnianki były od nich istotnie bardziej podatne na wyleganie — $6,7^\circ$. Okazały się one najbardziej podatne na wyleganie z wszystkich badanych gatunków i odmian (tab. 2). Także oceniane taksony lnu wykazały niską podatność na wyleganie, kształtowało się ono od $7,6$ do $8,5^\circ$, a różnice między odmianami były nieistotne (tab. 3).

Trzyletnie badania wykazały, że wszystkie testowane gatunki i odmiany rozwijały się bujnie na tym trudnym dla wegetacji roślin bezglebowym podłożu, chociaż wystąpiły nieznaczne, ale zauważalne różnice w rozwoju w latach badań (tab. 4). Wśród badanych gatunków i odmian roślin oleistych najbardziej przydatne do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych pokrytych wapnem poflotacyjnym, uwzględniając wskaźnik bujności, okazały się w kolejności: obydwie odmiany słonecznika zwyczajnego Wielkopolski i Lech, len zwyczajny odm. Jantarol, rzepak jary, len odm. Oliwin i Szafir oraz gorczyca biała i lnianka siewna. Wszystkie wykazały się bujnością powyżej 8° w 9-stopniowej skali. Nie wykazano istotnych różnic bujności pomiędzy gatunkami roślin kapustowatych oraz odmianami słonecznika i lnu (tab. 2, 3). Analiza uzyskanych plonów nasion badanych gatunków i odmian roślin oleistych wykazała, że ich wysokość zależy od ilości i rozkładu opadów wpływających na zawartość wody w podłożu wapna poflotacyjnego (tab. 4).

Tabela 4

Plon nasion i niektóre cechy rolniczo-użytkowe gatunków roślin z rodziny kapustowatych, słonecznika zwyczajnego (oleistego) i lnu zwyczajnego (oleistego), rosnących na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego, użyźnionego osadem ściekowym w poszczególnych latach zbioru (2011–2013)
Yield of seeds and some agricultural traits of *Brassicaceae* family species, oilseed sunflower and oil flax, growing on soilless deposit of post-flotation lime fertilized with sewage sludge, in particular years of harvest (2011–2013)

Gatunek (odmiana) Species (cultivar)	Lata Years	Wschody polowe Emergence (%)	Plon nasion Seed yield (t·ha ⁻¹)	Wysokość roślin Height of plants (cm)	Wyleganie Lodging (1–9°)	Bujność roślin Plant vigour (0–9°)
Rzepak jary Spring rape (Heros)	2011	99,2	2,08	112,3	9,2	8,8
	2012	97,3	1,92	99,7	8,2	8,5
	2013	94,1	1,72	98,4	8,3	8,2
		$\bar{x} = 96,9$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		4,5	0,30	7,4	0,6	0,6
Gorczyca jasna White mustard (Borowska)	2011	99,8	1,85	105,8	8,4	8,4
	2012	97,2	1,68	100,4	8,5	8,2
	2013	93,5	1,50	96,2	8,5	8,1
		$\bar{x} = 96,8$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		4,5	0,30	7,4	0,6	0,6
Lnianka siewna False flax (Borowska)	2011	90,1	1,88	66,5	6,8	8,3
	2012	88,3	1,69	56,2	6,6	8,2
	2013	82,2	1,44	55,4	6,8	8,1
		$\bar{x} = 86,9$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	6,0	0,6	0,6
Słonecznik zwyczajny Oilseed sunflower (Wielkopolski)	2011	94,8	2,06	115,1	8,4	9,0
	2012	88,2	1,75	105,8	8,7	8,8
	2013	87,0	1,66	102,9	8,6	8,6
		$\bar{x} = 90,0$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	7,4	0,6	0,6
Słonecznik zwyczajny Oilseed sunflower (Lech)	2011	95,3	2,44	98,8	8,4	9,0
	2012	89,0	1,88	91,2	8,8	8,8
	2013	88,0	1,86	90,3	8,6	8,6
		$\bar{x} = 90,8$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	7,4	0,6	0,6
Len zwyczajny Oilseed flax (Oliwin)	2011	94,0	1,97	59,5	8,8	8,6
	2012	88,1	1,65	57,3	8,4	8,4
	2013	87,2	1,63	56,8	8,4	8,2
		$\bar{x} = 89,8$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	5,4	0,6	0,6
Len zwyczajny Oilseed flax (Szafir)	2011	94,2	1,94	62,2	8,0	8,4
	2012	88,3	1,62	56,3	7,8	8,3
	2013	87,1	1,58	55,8	7,8	8,3
		$\bar{x} = 89,9$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	5,4	0,6	0,6
Len zwyczajny Oilseed flax (Jantarol)	2011	95,5	2,56	57,4	7,5	9,0
	2012	88,3	1,92	51,2	7,7	8,6
	2013	88,4	1,88	51,8	7,5	8,7
		$\bar{x} = 90,7$				
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	5,4	0,6	0,6
NIR $\alpha = 0,05$; średnie obiektowe (wschody polowe)		5,8	—	—	—	—
LSD $\alpha = 0,05$; mean object (emergence)						

Najwyższe plony nasion wszystkich badanych taksonów uzyskano w obfitym w opady i ciepłym roku 2011, a najniższe w ostatnim trzecim (2013) roku z zimną i późną wiosną oraz dużym niedostatkim wody i upałami w miesiącach letnich. Różnice uzyskanego plonu nasion w wymienionych latach badań były udowodnione statystycznie (tab. 4). Pierwszy (2011) rok badań okazał się najbardziej korzystny dla wzrostu i rozwoju omawianych roślin, a trzeci rok (2013) najmniej korzystny (tab. 4). Wschody polowe wszystkich gatunków i odmian były w tym roku istotnie lepsze, a rośliny istotnie wyższe niż w ostatnim (2013) roku badań, za wyjątkiem lnu odm. Oliwin, gdzie różnice statystyczne okazały się nieistotne. Przebieg warunków pogodowych w latach nie wpłynął istotnie na wyleganie i bujność roślin ocenianych taksonów. Rośliny miododajne z rodziny kapustowatych (*Brassicaceae*) oraz lnu zwyczajnego (oleistego) i słonecznika zwyczajnego (oleistego) kiełkowały dobrze i rozwijały się prawidłowo. Niezależnie od lat nasiona rzepaku jarego i gorzycy białej kiełkowały istotnie lepiej (wschody polowe) niż nasiona lnianki oraz odmian słonecznika i lnu (tab. 4). Plony nasion były niższe o ok. 25–30% niż na glebach odpowiednich dla danego gatunku (Klimont, Bulińska-Radomska, 2011; Klimont i in., 2012; Klimont i in., 2013 b), a ich rozwój jest ściśle związany z zasobnością gruntu w wodę. Trudne warunki wegetacji na bezglebowym złożu wapna pomimo użyczenia osadem ściekowym, wpłynęły na obniżenie wysokości roślin, stały się one również bardziej podatne na wyleganie. Plonowały niżej w stosunku do danych literaturowych (Budzyński, 2010; COBORU, 2011, 2012, 2013; Oleksy, 2010; Tobała, 2010 a,b; Woś, 2010; Zajac, 2004). Plony nasion roślin oleistych uzyskane z roślin zastosowanych do rekultywacji terenów przemysłowych są na tyle zadowalające, że mogą z powodzeniem być wykorzystywane jako surowiec do produkcji biopaliw ciekłych do silników wysokoprężnych (Woś, 2002; Wójcicki, 2007), a szczególnie tam, gdzie występują niedobory wody, polecane są takie gatunki jak: katroń abisyński (*Crambe abyssinica* Hochst.) i lnianka siewna (*Camelina sativa* Crantz) (Nalborczyk, 1999). W wielu krajach UE zapotrzebowanie na biopaliwa systematycznie rośnie, dlatego grunty marginalne przemysłowe mogą być przeznaczone pod uprawę roślin alternatywnych z wykorzystaniem na cele nieżywniowe (Walski, 2010).

Tabela 5

Zawartość przyswajalnego P, K, Mg i materii organicznej w złożu wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ścieków komunalnych (2011–2013)
Contents of available P, K, Mg and organic matter in post-flotation lime deposit fertilized with municipal sewage sludge (2011–2013)

Rodzaj roślinności Vegetation type	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Warstwa gleby Level of soil	pH w ln KCl in ln KCl	Zawartość — Content			substancja organiczna organic matter (g·kg ⁻¹)
				P	K	Mg	
Kontrola Control	0	OA	7,37	7,0	20,8	12,0	8,7
Rośliny oleiste Oil crops	500	OA	7,23	96,6	153,4	40,2	58,9
NIR _α = 0,05 LSD _α = 0,05			0,20	12,7	18,4	6,7	8,2

Wprowadzenie do złoża wapna poflotacyjnego osadów ściekowych i uprawa roślin zainicjowało w nim życie biologiczne. Zawartość materii organicznej wzrosła istotnie z 8,7 g·kg⁻¹ do 58,9 g·kg⁻¹, przyswajalnego P z 7,0 do 96,6 mg·kg⁻¹, K z 20,8 do 153,4 mg·kg⁻¹ i Mg z 12,0 do 40,2 mg·kg⁻¹ (tab. 5). Podobne ale mniejsze wzrosty makroelementów w złożu wapiennym, na którym uprawiano rośliny miododajne i oleiste zaobserwował Klimont i in. (2012, 2013 a).

Zawartość wszystkich 10. metali ciężkich w gruncie doświadczalnym nie przekroczyła dopuszczalnych stężeń, ale wzrosła istotnie w stosunku do wariantu kontrolnego, za wyjątkiem Mn i Pb, gdzie odnotowano niewielki, ale istotny spadek tych pierwiastków w stosunku do kontroli (tab. 6). Koresponduje to z wynikami uzyskanymi przez Majtkowskiego i Majtkowską (2012), Klimonta i in. (2013 c) oraz Bajora i in. (2014) w badaniach na składowisku popiołów paleniskowych i składowisku odpadów komunalnych oraz wynikami Grzywnowicza i Strutyńskiego (2000) na glebie mineralnej.

Tabela 6

Zawartość metali ciężkich w podłożu wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ścieków komunalnych oraz w materiale roślinnym (2011–2013)
Contents of heavy metals in post-flotation lime ground fertilized with municipal sewage sludge and plant material (2011–2013)

Grupa roślin Group of plants	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Warstwa gleby Level of soil	Zawartość składników — Content of elements (mg·kg ⁻¹)									
			Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cr	Hg
			Podłoże — Substrate									
Kontrola Control	0	OA	0,120	8,32	1728,2	528,22	9,47	8,18	15,84	2,50	4,21	0,009
Rośliny oleiste Oil crops	500	OA	0,308	14,07	3765,9	503,00	10,82	7,26	66,55	2,60	5,91	0,071
NIR α =0,05 — LSD α =0,05			0,020	0,512	102,3	22,23	0,52	0,43	2,32	0,10	0,21	0,003
			Materiał roślinny — Plant material									
Rośliny oleiste — Oil crops			0,125	9,50	74,48	57,91	3,90	0,85	40,69	0,03	0,61	0,011
Wartość dopuszczalnych stężeń w glebie lub ziemi ¹⁾ Threshold limit value in soil or earth ¹⁾			4	150	5700 ^{*)}	1500	100	100	300	20	150	2
Wartość dopuszczalnych stężeń w roślinach jako paszy dla zwierząt ²⁾ Threshold limit value in plants as fodder for animals ²⁾			—	—	20–50	20–60	—	—	—	1	3–12	0,03
Wartości krytyczne metali śladowych przyjęte do oceny roślin pod względem ich przydatności paszowej ³⁾ Critical values of trace metals assumed for plant evaluation with regard to fodder suitability ³⁾			≤0,5	25–50	—	—	≤50,0	≤10,0	≤100,0	—	—	—

^{*)} — średnia zawartość w glebie piaszczystej; average content in sandy soil

¹⁾ — zał. do rozp. Ministra Środowiska z dn. 9.09.2002r.; assumptions of Ministry of Environment of 9.09.2002 (Dz.U.Nr 165, poz.1359)

²⁾ — Baran S., Turski R. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Wyd. AR Lublin 1996: 223 ss.

³⁾ — Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M. Terelak H., Witek T. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. IUNG Puławy 1993: 20 ss.

Analiza chemiczna materiału roślinnego wykazała przekroczenie dopuszczalnych stężeń tylko w przypadku Fe — 74,48 mg·kg⁻¹ wobec normy 20–50 mg·kg⁻¹, co może wynikać z dużej zawartości tego składnika w gruncie (choć mieszcząca się w normie) (tab. 6). Zawartość pozostałych metali ciężkich nie przekroczyła dopuszczalnych stężeń w roślinach jako paszy dla zwierząt, podobnie jak w innych badaniach prowadzonych na składowisku odpadów komunalnych pokrytych popiołem i użyzionym osadem ściekowym (Klimont i in., 2013) i na hałdzie popiołów paleniskowych (Bajor i in., 2014), ale inaczej niż w badaniach Majtkowskiego i Majtkowskiej (2012), gdzie stwierdzono przekroczenie zawartości kilku metali ciężkich w pędach drzew i krzewów użytych do rekultywacji składowiska popiołów. Także wyższą zawartość metali ciężkich zanotował Siuta (2004) w roślinach porastających podłoża lagun osadowych. Badania Gorlacha i Gambusia (1999) wykazały, że ilości metali ciężkich pobrane przez rośliny nie korelują z ich zawartością w osadach ściekowych, dotyczy to: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn.

WNIOSKI

1. Obydwie odmiany słonecznika zwyczajnego oleistego (*Helianthus annuus* L.) najlepiej ze wszystkich badanych gatunków i odmian rozwijały się na złożu wapna poflotacyjnego, dzięki silnemu systemowi korzeniowemu bardzo dobrze wykorzystywały wodę i składniki pokarmowe, dobrze znosiły suszę i zaskorupienie.
2. Wszystkie odmiany lnu zwyczajnego oleistego (*Linum usitatissimum* L.) również dobrze rozwijały się, wykazując corocznie dobre wschody, tworząc wyrównany łan, mało podatny na wyleganie, wydając przy tym zadowalający plon nasion. Wystąpiły różnice w bujności i plonie odmian.
3. Z roślin kapustowatych (*Brassicaceae*) najbardziej przydatny okazał się rzepak jary (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg) ze względu na bardzo dobre i wyrównane wschody, małe skłonności do wylegania, wysoki wskaźnik bujności i znaczny plon. Gorczyca biała (*Sinapis alba* L.) i lnianka siewna (*Camelina sativa* Crantz) wykazały nieco mniejszą przydatność do rekultywacji tych terenów i pod względem ocenianych cech rozwijały się podobnie.
4. Osady ściekowe wraz z porastającą roślinnością wpłynęły na gromadzenie materii organicznej i składników pokarmowych, zwiększanie wodochłonności i obniżenie odczynu w podłożu.
5. Osadowe użyźnienie wapiennego złoża różnicowało w nim zawartość metali ciężkich, ale nie przekroczyła ona dopuszczalnych stężeń i nie miała znaczącego wpływu na zawartość tych pierwiastków w roślinach zebranych z rekultywowanych gruntów.

LITERATURA

- Bajor P., Bulińska-Radomska Z., Klimont K., Osińska A. 2014. Ocena rozwoju roślinności na składowisku popiołów paleniskowych użyzionych osadem ściekowym. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 51 — 61.
- Budzyński W. 2000. Kapusta rzepak. W: *Rośliny oleiste – uprawa i zastosowanie*. Poznań PWRiL: 15 — 107.
- COBORU 2011. Lista opisowa odmian. *Rośliny rolnicze*. Cz. 2. Słupia Wielka: 154ss.
- COBORU 2012. Lista opisowa odmian. *Rośliny rolnicze*. Cz. 2. Słupia Wielka: 158ss.

- COBORU 2013. Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze. Cz. 2. Słupia Wielka: 202ss.
- Gołda T. 2007. Wykorzystanie szlamów poflotacyjnych rudy siarkowej do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w górnictwie otworkowym siarki. Inżynieria Ekologiczna 19. PTIE Warszawa: 79 — 88.
- Gorlach E., Gambuś F. 1999. Wpływ osadów ściekowych na zawartość metali ciężkich w glebie i roślinach oraz ich przemieszczanie w profilu glebowym. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 467: 505 — 511.
- Góral S. 2001. Roślinność zielna w ochronie i rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Bydgoszcz: 161 — 178.
- Góral S., Rola S. 2001. Trawy na popiołach elektrociepłowni nawożonych osadami ściekowymi. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Warszawa: 146 — 150.
- Grzywnowicz I., Strutyński J. 2000. Rolnicze zagospodarowanie osadów ściekowych jako źródło zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 472: 297 — 304.
- Klimont K. 2007. Ocena przydatności wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. Problemy Inżynierii Rolniczej 2: 27 — 36.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2011. Wpływ wybranych gatunków roślin na procesy glebotwórcze i ich przydatność do rekultywacji bezglebowych utworów wapna poflotacyjnego na powierzchni po otworowej eksploatacji siarki. Roczniki Gleboznawcze. Tom LXII (2) Warszawa: 204 — 211.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013a. Możliwość wykorzystania wybranych roślin miododajnych do rekultywacji terenów po eksploatacji siarki. Polish Journal of Agronomy 12. Puławy: 17 — 25.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013b. Ocena przydatności różnych form wierzby (*Salix* sp.) do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki. Biul. IHAR 269: 161 — 168.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Osińska A., Bajor P. 2013c. Kształtowanie się składu gatunkowego roślin wprowadzonych i spontanicznie zasiedlających użyźnione składowisko odpadów komunalnych. Biul. IHAR 270: 109 — 121.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Woś H. 2012. Możliwość wykorzystania jarych roślin oleistych w procesie rekultywacji terenów kopalnianych. Problemy Inżynierii Rolniczej 2: 63 — 73.
- Majtkowski W., Majtkowska G. 2012. Fitosanitarna rola szaty roślinnej na zrehabilitowanej hałdzie popiołów w Sowlanach k. Białegostoku. Biul. IHAR 263: 55 — 63.
- Nalborczyk E. 1999. Rośliny alternatywne rolnictwa XXI wieku i perspektywy ich wykorzystania. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 468: 17 — 30.
- Oleksy A. 2010. Len oleisty. W: Rośliny oleiste — uprawa i zastosowanie. Poznań PWRiL: 125 — 141.
- Rocznik statystyczny. 2012. Rolnictwo (www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/rs_rocznik_rolnictwa_2012.pdf): 94.
- Siuta J. 2001. Rekultywacja gruntów w górnictwie siarkowym. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Bydgoszcz: 192 — 198.
- Siuta J. 2004. Rekultywacja terenu lagun osadowych w oczyszczalni „Hajdów”. Inżynieria Ekologiczna 9. PTIE Warszawa: 43 — 54.
- Siuta J., Jońca M. 1997. Rekultywacyjne działanie osadu ściekowego na wapnie poflotacyjnym w Kopalni Siarki „Jeziórko”. Mat. Konf. „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych” IOS, Puławy-Lublin-Jeziórko, 26-28 V 1997: 39 — 48.
- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Kazimierzczuk M., Jońca M., Mamełka D., Sułek S. 1996. Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Synteza wyników programu KBN. Warszawa. Inżynieria Ochrony Środowiska: 60ss.
- Toboła P. 2010 a. Gorczyce – biała, sarepska, czarna. W: Rośliny oleiste – uprawa i zastosowanie. Poznań PWRiL: 109 — 124.
- Toboła P. 2010 b. Słonecznik oleisty W: Rośliny oleiste – uprawa i zastosowanie. Poznań PWRiL: 205 — 217.
- Walski A. 2010. Uwarunkowania zewnętrzne produkcji rzepaku w Polsce. Wyzwania na rok 2010. Nasz Rzepak 1: 5 — 7.
- Warzybok W. 2000. Rekultywacja terenów górniczych Kopalni Siarki „Jeziórko”. Inżynieria Ekologiczna 1. PTIE Baranów Sandomierski: 23 — 26.
- Woś H. 2002. Na olej i biopaliwo. Biopaliwa 1: 12 — 13.

- Woś H. 2010. Lnianka siewna W: Rośliny oleiste — uprawa i zastosowanie. Poznań, PWRiL: 169 — 179.
- Wójcicki Z. 2007. Energia odnawialna, biopaliwa i ekologia. Problemy Inżynierii Rolniczej 2: 5 — 18.
- Zajac T. 2004. Współczesne uwarunkowania uprawy i wykorzystania lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.). Postępy Nauk Rolniczych 2: 77 — 91.