

Badanie przydatności roznika przerośniętego (*Silphium perfoliatum* L.) do rekultywacji terenów po otworowej eksploatacji złóż siarki

Wpłynęło 15.04.2015 r.
Zrecenzowano 14.05.2015 r.
Zaakceptowano 24.06.2015 r.

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

Krzysztof KLIMONT¹⁾ ABDF, Zofia BULIŃSKA-
-RADOMSKA¹⁾ ACDF, Józef GÓRKA²⁾ BCF, Agnieszka
OSIŃSKA¹⁾ BCE

¹⁾ Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB w Radzikowie

²⁾ Kopalnia Siarki „Jeziórko” S.A. w Jeziorku

Do cytowania For citation: Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J., Osińska A. 2015. Badanie przydatności roznika przerośniętego (*Silphium perfoliatum* L.) do rekultywacji terenów po otworowej eksploatacji złóż siarki. Problemy Inżynierii Rolniczej. Z. 2(88) s. 61–73.

Streszczenie

W latach 2010–2013 badano glebotwórcze działanie oraz przydatność roznika przerośniętego (*Silphium perfoliatum* L.) do rekultywacji terenów po otworowej eksploatacji siarki, pokrytych wapnem poflotacyjnym użyźnionym osadem ścieków komunalnych. Oceniano plon suchej masy, liczbę pędów na roślinie, ich wysokość i średnicę. Stwierdzono, że rośliny roznika przerośniętego bardzo dobrze rozwijały się na badanym podłożu, tworząc corocznie bardzo trwałe bujny łąn. Plon suchej masy wynosił średnio 13,05 t·ha⁻¹ i zależał od wartości cech plonotwórczych, tj. liczby pędów na roślinie, ich wysokości i przekroju. Warunki pogodowe w latach badań istotnie wpływały na wartość wszystkich parametrów, a głównym czynnikiem wpływającym na vegetację były ilość i rozkład opadów, które zapewniały odpowiednie uwilgotnienie wapiennego bezglebowego podłoża. Wykorzystanie roznika przerośniętego do rekultywacji wapna poflotacyjnego użyźnionego osadem ściekowym pozytywnie wpłynęło na gromadzenie się w nim materii organicznej i składników pokarmowych oraz obniżenie pH. Osadowe użyźnienie wapiennego podłoża wpłynęło różnicująco na zawartość metali ciężkich, tak w samym gruncie, jak i w wyrosłych na nim roślinach roznika.

Słowa kluczowe: wapno poflotacyjne, osady ściekowe, roznik przerośnięty, metale ciężkie, proces glebotwórczy, rekultywacja

Wstęp

Pozyskiwanie siarki metodą podziemnego wytopu w Kopalni Siarki „Jeziórko” koło Tarnobrzega przyczyniło się do dewastacji gruntów przez zniszczenie struktury geologicznej, deformację rzeźby terenu i degradację pokrywy glebowej [SIUTA 2001]. Proces rekultywacji technicznej tych gruntów polegał na neutralizacji ich zakwaszenia przez pokrycie ich wapnem poflotacyjnym, użyźnionym osadem ścieków komunalnych, i wprowadzeniu wybranych gatunków roślin celem odtworzenia szaty roślinnej [KLIMONT, BULIŃSKA-RADOMSKA 2011; KLIMONT i in. 2002; 2013a; SIUTA 2004]. Rożnik przerośnięty jest szczególnie polecany jako roślina pionierska do rekultywacji terenów zdegradowanych ze względu na małe wymagania pokarmowe oraz silny system korzeniowy, który stanowi nierównej grubości kłaczce, wytwarzające liczne korzenie przybyszowe [KLIMONT 2007; WERYSZKO-CHMIELEWSKA i in. 1999; WOŹNIAK, GÓRAL 1998]. O przydatności rożnika przerośniętego jako gatunku do rekultywacji decyduje jego glebotwórcze oddziaływanie na podłoże, trwałość oraz zdolności do wynoszenia niektórych metali ciężkich z plonem łądyg [KLIMONT 2007; MAJTKOWSKI i in. 2010].

Celem badań była ocena przydatności rożnika przerośniętego do rekultywacji bezglebowego podłoża z wapna poflotacyjnego, użyźnionego osadem ściekowym, na powierzchni po otworowej eksploatacji siarki.

Materiał i metody badań

Doświadczenie z rożnikiem przerośniętym prowadzono na terenie poeksploatacyjnym Kopalni Siarki „Jeziórko” niedaleko Tarnobrzega, gdzie stosowano metodę podziemnego jej wytopu (otworową). Obszary te pokryto wapnem poflotacyjnym, o średniej miąższości ok. 6 m, w celu likwidacji zakwaszenia i wyrównania zapadliśka osiadającego gruntu. Wapno poflotacyjne (szlam poflotacyjny), które jest odpadem poprodukcyjnym Kopalni Siarki „Machów” w procesie wzbogacania rudy siarkowej wydobywanej systemem odkrywkowym, przemieszczono na niecki osiadania o wysokim poziomie silnie zmineralizowanych wód gruntowych, z zastosowaniem hydrotransportu. Według danych literaturowych [GOŁDA 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 1992 r. na gruntach tych zastosowano uprawę ciężką broną talerzową, a następnie nawożenie mineralne (w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): N – 85, P – 62 oraz K – 83 i bronowanie broną średnią. Na przygotowane pole wysiano mieszankę traw z takimi roślinami bobowatymi, jak: kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), życica trwała (*Lolium perenne* L.), tymotka łąkowa (*Dactylis glomerata* L.), koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense* L.) i lucerna mieszańcowa (*Medicago media* Pers.). Każdego roku, w czasie wegetacji, wielokrotnie koszone przyrosty roślin, za pomocą rozdrabniacza, i pozostawiano je na miejscu. Jesienią 1995 r., po uprzednim rozdrobnieniu runi, zastosowano glebogryzarkę (głębokość 17 cm) w celu likwidacji zadarnienia, a następnie kultywator o łapach sztywnych – gruber (głębokość pracy ok. 15 cm). Wiosną 1996 r. wapno poflotacyjne nawieziono równomiernie, powierzchniowo, osadem ścieków komunalnych w dawce $250 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, następnie ciężką broną talerzową wymieszano dokładnie z podłożem na głębokość 25 cm. Skład chemiczny i sanitarny osadów ście-

kowych przedstawiono w tabeli 1. [KLIMONT i in. 2002]. Zastosowano również nawożenie mineralne fosforem ($62 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$) i potasem ($44 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$), a po ukorzeniu się sadzonek – azotem ($70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Nawożenie takie stosowano każdego roku w okresie wiosennym, ze względu na małą zawartość materii organicznej i przyswajalnych składników pokarmowych w podłożu. Następnie, na tak przygotowanym podłożu, założono doświadczenie w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletek doświadczalnych wynosiła 6 m^2 . Wyszadzono na nie rozsadę rożnika przerośniętego w rozstawie $75 \times 40 \text{ cm}$, zapewniając obsadę 24 roślin na poletku. W czasie wegetacji roślin, szczególnie w pierwszym roku, poletka kilkakrotnie (w miarę potrzeby) odchwaszczano ręcznie i spulchniano międzyrzędzia za pomocą pielnika.

Tabela 1. Skład chemiczny i sanitarny osadów ściekowych¹⁾ z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli

Table 1. Chemical composition and sanitary condition of sewage sludge¹⁾ from Stalowa Wola City treatment plant

Wyszczególnienie Specification	Zawartość Content
Sucha masa Dry matter	291,00 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
pH	7,10
Zawartość w s.m. [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$] Content in DM [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]	
Azot ogólny (N) Total nitrogen (N)	34,00
Azot amonowy (NH_4^+) Ammonium nitrogen (NH_4^+)	4,00
Fosfor ogólny (P_2O_5) Total phosphorus (P_2O_5)	16,90
Wapń (CaO) Calcium (CaO)	6,40
Magnez (MgO) Magnesium (MgO)	1,60
Substancja organiczna Organic matter	725,80
Zawartość w s.m. [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] Content in DM [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]	
Cynk (Zn) Zincum (Zn)	1 257,73
Ołów (Pb) Lead (Pb)	68,73
Kadm (Cd) Cadmium (Cd)	<6,87
Miedź (Cu) Copper (Cu)	30,93
Chrom ogólny (Cr) Total chromium (Cr)	<20,62
Nikiel (Ni) Nickel (Ni)	68,73
Rtęć (Hg) Mercury (Hg)	0,06
Badania bakteriologiczne i parazytologiczne Bacteriological and parasitological tests	
Obecność Salmonelli Presence of Salmonella	nie stwierdzono not detected
Liczba żyjących jaj <i>Ascaris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp., <i>Trichuris</i> sp.	2
Number of live eggs of <i>Ascaris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp., <i>Trichuris</i> sp.	

¹⁾ Według opinii wydanej przez Sanepid, przebadane partie osadów ściekowych pod względem chemicznym, bakteriologicznym i parazytologicznym są zgodne z obowiązującymi przepisami prawa i mogą być wykorzystywane rolniczo.

¹⁾ According to the statement of Sanitary-Epidemiological Station, the sewage sludge tested for chemical compositions as well as bacteriologically and parasitologically were in agreement with the current standards and were allowed to be utilized in agriculture.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Pierwszy etap badań prowadzono w latach 1996–2009. Dotyczyły one oceny możliwości wykorzystania rożnika przerośniętego do rekultywacji terenów posesiarskich w porównaniu z zastosowaniem innych roślin rekultywacyjnych, a ich wyniki wykorzystano w dyskusji w niniejszej pracy [KLIMONT 2004; 2007; KLIMONT, BULIŃSKA-RADOMSKA 2011].

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki 4-letnich badań prowadzonych w latach 2010–2013. Są one kontynuacją badań rozpoczętych w 1996 r. Oceniano w nich plon powietrznie suchej masy ($t \cdot ha^{-1}$) pędów roznika przerośniętego zebranych z poletek doświadczalnych. Rośliny zbierano w każdym roku późną jesienią, po zaschnięciu pędów, zwykle w końcu października. Przed zbiorem dokonywano pomiarów biometrycznych wszystkich roślin na obiekcie. Pomiarów obejmowały liczbę pędów rośliny, ich wysokość i średnicę mierzoną u podstawy. Badano też wpływ nawożenia rekultywowanego gruntu osadem ze ścieków komunalnych i uprawy roślin na gromadzenie w nim składników pokarmowych i jego odczyn.

Analizy chemiczne wykonywano 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) i zawartość Mg (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej). W materiale roślinnym oznaczano: zawartość P (metodą spektrofotometryczną), zawartość K (metodą fotometrii płomieniowej) oraz zawartość Mg i Ca (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej). Zawartość metali ciężkich Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn i As, tak w podłożu, jak i w materiale roślinnym, określano metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (FAAS), natomiast Hg – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z amalgamacją par rtęci. Wariant kontrolny stanowiło wapno bez użyczenia osadem i nawozami mineralnymi, nieporośnięte żadną roślinnością.

Wyniki opracowano metodą analizy wariancji, a różnice między średnimi oceniono testem Tukeya na poziomie $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań i dyskusja

Warunki pogodowe w latach badań były zmienne i wywierały wpływ na przebieg wegetacji oraz wartości cech ocenianego gatunku (tab. 2). Pierwszy rok badań (2010) charakteryzował się ciepłą i obfitującą w opady wiosną, a także wilgotnym i ciepłym latem, co sprzyjało wegetacji i bujności roślin. Również drugi rok prowadzenia badań (2011) był ciepły i obfitował w opady, głównie w okresie letnim – okazał się najkorzystniejszy dla wegetacji roślin. Z kolei trzeci rok (2012) był mniej korzystny od dwóch poprzednich ze względu na zdecydowanie niższe opady, szczególnie w miesiącach wiosennych, oraz upalne i suche lato. Czwarty (2013), ostatni rok badań, charakteryzował się późną i początkowo chłodną wiosną, co opóźniło wegetację roślin, a także niedoborami wilgoci w miesiącach letnich, które nie sprzyjały wzrostowi i rozwojowi roślin.

Plon suchej masy roznika przerośniętego, oceniany w drugim etapie badań (2010–2013), wynosił średnio $13,05 t \cdot ha^{-1}$ i był zróżnicowany w latach badań. Najwyższe plony suchej masy uzyskano w ciepłym i obfitującym w opady, przeważnie w okresie letnim, 2011 r., nieco gorsze – w ciepłym i wilgotnym 2010 r., a istotnie gorsze – w pozostałych latach badań, tj. 2012 i 2013. Liczba pędów na roślinie wynosiła średnio 15,9 szt., wysokość roślin – 143,6 cm, a średnica łodyg – 11,6 mm. Wartości tych parametrów ulegały zmianom w latach badań i miały wpływ na plon suchej masy.

Tabela 2. Suma opadów miesięcznych ΣP oraz średnia miesięczna temperatura powietrza T w latach 2010–2013Table 2. Monthly precipitation (ΣP) and average monthly air temperature (T) in the years 2010–2013

Miesiąc Month	Lata Years							
	2010		2011		2012		2013	
	ΣP [mm]	T [°C]	ΣP [mm]	T [°C]	ΣP [mm]	T [°C]	ΣP [mm]	T [°C]
Styczeń January	23,8	-7,6	25,6	-1,0	34,2	-1,8	48,1	-3,4
Luty February	29,2	-1,8	14,2	-3,6	11,3	-7,2	25,2	-0,8
Marzec March	16,6	3,6	10,1	3,4	23,0	4,9	56,6	-1,5
Kwiecień April	34,1	9,4	49,9	10,8	29,2	9,9	31,8	9,0
Maj May	168,4	14,0	30,7	14,3	41,2	15,2	88,6	15,1
Czerwiec June	44,8	17,8	55,5	18,5	76,5	17,9	111,2	18,3
Lipiec July	125,7	21,2	382,9	18,1	53,6	21,2	33,4	19,5
Sierpień August	106,1	19,5	17,8	19,0	38,8	19,1	14,9	19,5
Wrzesień September	88,9	12,3	5,9	15,5	39,6	14,9	73,6	12,2
Październik October	9,2	5,6	23,8	8,0	124,0	8,2	5,4	10,3
Listopad November	48,2	6,5	0,0	2,4	21,7	5,4	73,7	5,3
Grudzień December	34,3	-4,7	21,3	1,8	24,0	-3,3	11,0	1,4
Suma/średnio Amount/average	729,3	8,0	637,7	8,9	517,1	8,7	573,5	8,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMiGW-PIB [2010–2013].

Source: own elaboration based on Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute [IMiGW 2010–2013].

Największą liczbę pędów (17,1 szt.), o największej średnicy (12,6 mm) i wysokości (158,8 cm), wytworzyły rośliny roznika w 2011 r., nieco mniej – w 2010 r., a istotnie mniej – w latach 2012 i 2013 (tab. 3). Świadczy to o tym, że wysokość i rozkład opadów w okresie wegetacyjnym, wpływając na stopień wilgotności wapiennego podłoża, determinują wzrost i rozwój badanego gatunku. Potwierdzają to doniesienia PILMIENIEWA [1985] i PODBIELKOWSKIEGO [1995], wskazujących że rodzaj *Silphium* sp. preferuje stanowiska wilgotne, a poza tym jest rośliną mało wymagającą pod względem zapotrzebowania na składniki pokarmowe i dlatego może być z powodzeniem zastosowany do rekultywacji terenów zdewastowanych [WOŹNIAK, GÓRAL 1998]. Średnie plony suchej masy roznika przerośniętego uzyskane w czteroletnich badaniach na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego były niższe o ok. 37% od uzyskanych na glebach kompleksu pszennego bardzo dobrego [WOŹNIAK, GÓRAL 1998] i o ok. 48% od uzyskanych na glebach o składzie mechanicznym gliny lekkiej pylastej, ale użyźnionej osadem ściekowym [KOŁODZIEJ i in. 2010].

Tabela 3. Plon powietrznie suchej masy oraz charakterystyki biometryczne roznika przerośniętego (*Silphium perfoliatum* L.) na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego użyźnionego osadem ściekowym w dawce $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$

Table 3. Yield of dry matter and biometrical characteristics of cup plants (*Silphium perfoliatum* L.) growing on soil-less ground of post-flotation lime fertilized with $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ sewage sludge

Lata Years	Plon suchej masy Dry matter yield [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Liczba pędów [szt.·rośl. ⁻¹] Number of sprouts [pcs·plant ⁻¹]	Wysokość roślin Height of plants [cm]	Średnica łodyg Diameter of stems [mm]
2010	14,11	16,3	156,6	12,5
2011	15,32	17,1	158,8	12,6
2012	11,48	15,2	130,2	10,8
2013	11,29	15,1	128,8	10,6
Średnio Average	13,05	15,9	143,6	11,6
NIR _{0,05} ; efekt lat LSD _{0,05} ; years effect	0,81	1,8	10,2	1,1

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rośliny roznika przerośniętego oceniane piętnaście lat po posadzeniu i użyźnieniu bezglebowego podłoża osadem ściekowym były niższe, wytwarzały mniejszą liczbę pędów, o mniejszym przekroju, niż opisywane w publikacjach innych autorów [KOŁODZIEJ i in. 2010; KOWALSKI, WOLSKI 1999; WERYSZKO-CHMIELEWSKA i in. 1999; WOŹNIAK, GÓRAL 1998], ale ich wysokość w zasadzie nie uległa większym zmianom w całym okresie badań, o czym świadczą wyniki wcześniejszych obserwacji [KLIMONT 2004; 2007; KLIMONT, BULIŃSKA-RADOMSKA 2011]. Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że roznik przerośnięty może być wykorzystany do rekultywacji terenów po otworowym wydobywaniu siarki, użyźnionych osadem ściekowym, ze względu na trwałość roślin oraz zadowalający plon ich suchej masy uzyskiwany w tych warunkach. Potwierdzają to wyniki badań KOŁODZIEJA i in. [2010], dotyczące uprawy roznika na glebie mineralnej, które wykazały istotny przyrost plonu suchej masy roślin po zastosowaniu komunalnego osadu ściekowego. Gatunek ten może być również wykorzystany jako roślina lecznicza, miododajna, ozdobna i paszowa [KOWALSKI, WOLSKI 1999; WERYSZKO-CHMIELEWSKA i in. 1999; WOŹNIAK, GÓRAL 1998].

Dawki osadów ściekowych, wprowadzone do bezglebowego podłoża wapna poflotacyjnego w 1996 r., zainicjowały w nim życie biologiczne i procesy glebotwórcze sprzyjające tworzeniu się zaczątków poziomu próchnicznego w jego wierzchniej warstwie. Wykorzystanie roznika przerośniętego do rekultywacji wapna poflotacyjnego wymieszanego z osadem ściekowym wpłynęło korzystnie na skład chemiczny tego podłoża przez zwiększenie w jego wierzchniej warstwie zawartości materii organicznej średnio do $39,0 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (kontrola $8,1 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$). Powstała substancja organiczna stworzyła warunki do gromadzenia składników pokarmowych i wody. Średnia zawartość przyswajalnego fosforu w wierzchniej warstwie podłoża wynosiła $114,8$, potasu – do $59,9$, a magnezu – do $16,8 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$, podczas gdy zawartości tych składników w podłożu kontrolnym wynosiły odpowiednio: $10,1$; $19,1$ i $11,8 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 4). W przypadku fosforu i potasu były to różnice istotne. Zawartość przyswa-

jalnego fosforu, potasu i magnezu w poziomie próchnicznym podłoża była istotnie większa niż w poziomie skały macierzystej, co wynika z istotnie większej zawartości materii organicznej w poziomie próchnicznym. Odnotowano również malejącą zawartość fosforu w skale macierzystej w kolejnych latach badań. Wprowadzenie do wapiennego podłoża osadów ściekowych wraz z porastającą roślinnością wpłynęło na niewielkie, ale zauważalne, obniżenie jego pH w obydwu poziomach glebowych. Podobny wzrost zawartości materii organicznej oraz makroelementów w wapiennym podłożu obserwowano w przypadku zastosowania do jego rekultywacji topinamburu, kostrzewy trzcinowej, wierzb, roślin oleistych i miododajnych [KLIMONT 2007; KLIMONT i in. 2013a, b; 2014].

Stwierdzono zbyt wysoką zawartość wapnia i potasu w materiale roślinnym (pędy) pobranym z roślin rożnika w porównaniu do granicznych zawartości makroelementów w runi [WIŚNIEWSKA-KIELIAN, LIPIŃSKI 2007], ale jest to zrozumiałe, ponieważ doświadczenie założono na podłożu wapiennym i nawieziono osadem ściekowym zasobnym w potas. Zawartość fosforu w zasadzie nie przekraczała górnej wartości granicznej, a zawartość magnezu była mała (tab. 4).

Zawartość wszystkich badanych metali ciężkich w gruncie doświadczalnym nie przekroczyła wartości dopuszczalnych, ale była większa niż w wariancie kontrolnym, z wyjątkiem Mn, w przypadku którego stwierdzono niewielkie zmniejszenie zawartości w odniesieniu do kontroli (tab. 5). Podobne wyniki uzyskali MAJTKOWSKI i MAJTKOWSKA [2012], KLIMONT i in. [2013c] oraz BAJOR i in. [2014] w badaniach na składowisku popiołów paleniskowych i składowisku odpadów komunalnych, a także KLIMONT i in. [2014] na wapnie poflotacyjnym oraz GRZYWNOWICZ i STRUTYŃSKI [2000] na glebie mineralnej. Z kolei NIEMYSKA-ŁUKASZUK [1995] dowodzi, że zawartość przyswajalnych form cynku i kadmu w glebie mineralnej zależy od jej odczynu i składu granulometrycznego, głównie zawartości frakcji części spławialnych.

Laboratoryjna ocena materiału roślinnego wykazała tylko niewielkie przekroczenie dopuszczalnych stężeń Fe – $80,17 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (norma $20\text{--}50 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) i minimalne Mn – $61,49 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (norma $20\text{--}60 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Wynika to zapewne z dużej (choć mieszczącej się w normie) zawartości tych pierwiastków w podłożu (tab. 5). Zawartość pozostałych metali ciężkich w materiale roślinnym nie przekroczyła wartości dopuszczalnych dla roślin jako paszy dla zwierząt ani też wartości krytycznych metali śladowych przyjętych do oceny roślin pod względem przydatności paszowej. Wyniki badań prowadzonych przez KLIMONTA i in. [2013c] na składowisku odpadów komunalnych pokrytych popiołem i użyźnionych osadem ściekowym oraz prac BAJORA i in. [2014] na hałdzie popiołów paleniskowych, a także KLIMONTA i in. [2014] na terenach posiarkowych, dotyczące roślinności trawiastej i roślin oleistych były podobne.

Inne były natomiast wyniki badań MAJTKOWSKIEGO i MAJTKOWSKIEJ [2012], w których stwierdzono przekroczenie zawartości kilku metali ciężkich w pędach drzew i krzewów zastosowanych do rekultywacji składowiska popiołów. Wyższą zawartość metali ciężkich zanotował również SIUTA [2004] w roślinach porastających podłoża lagun osadowych. Inne badania MAJTKOWSKIEGO i in. [2010] wykazały, że rożnik przerośnięty może być wykorzystywany do fitoremediacji gleb o małej zawartości ołowiu, ale jest mało przydatny do usuwania z gleb kadmu. Badania GORLACHA i GAMBUSIA [1999]

Tabela 4. Zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu oraz materii organicznej w gruncie wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ścieków komunalnych oraz w materiale roślinnym w latach 2010–2013

			Cechy										
			Bezglebowe podłoże										
Gatunek rośliny Species of plant	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge [m ³ ·ha ⁻¹]	Poziom glebowy Soil level	pH w 1n KCl pH in 1n KCl					P [mg·kg ⁻¹]					
			2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	
Kontrola Control	0	OA C	7,6 7,6	7,4 7,5	7,4 7,3	7,3 7,4	7,4 7,4	12,3 10,4	11,4 6,3	10,9 7,2	5,7 4,8	10,1 7,2	
<i>Siphium perfoliatum</i> L.	250	OA C	7,1 7,2	7,2 7,1	7,1 7,4	7,2 7,4	7,2 7,3	133,4 106,8	124,3 73,3	128,6 49,7	72,8 10,0	114,8 59,9	
NIR $\alpha = 0,05$ LSD $\alpha = 0,05$			0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	
X			Materiał roślinny										
			Ca [g·kg ⁻¹]					P [g·kg ⁻¹]					
			2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	
<i>Siphium perfoliatum</i> L.			15,1	23,1	17,3	28,4	21,0	3,2	4,4	3,8	3,5	3,7	

Objaśnienia: graniczna zawartość makroelementów w materiale roślinnym w g·kg⁻¹ według WIŚNIEWSKIEJ-KIELIAN i LIPIŃSKIEGO [2007]: Ca = 4,5–9,0; P = 2,6–3,5; K = 10,0–20,0; Mg = 3,0–3,2; OA = poziom organiczno-próchniczny.

Źródło: wyniki własne.

wykazały, że ilość metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn) pobrana przez rośliny nie koreluje z ich zawartością w osadach ściekowych, z kolei KICIŃSKA i HELIOS-RYBICKA [1995] donoszą, że zawartość metali śladowych w trawach zależy od ich koncentracji w glebie i wzrasta wraz z wiekiem roślin.

Wnioski

1. Rośliny roznika przerośniętego (*Siphium perfoliatum* L.) bardzo dobrze rozwijają się na bezglebowym gruncie wapna poflotacyjnego, które użyżniono osadem ścieków komunalnych, tworząc bardzo trwałe bujny łąn.
2. Plon suchej masy roznika przerośniętego wyniósł średnio 13,05 t·ha⁻¹ i zależał od wartości cech plonotwórczych, tj. liczby pędów, ich wysokości i średnicy.

Table 4. Contents of assimilable phosphorus, potassium, magnesium and organic matter in post-flotation lime ground fertilized with municipal sewage sludge and plant material in the years 2010–2013

Characteristics														
Soil-less substrate														
K [mg·kg ⁻¹]					Mg [mg·kg ⁻¹]					substancja organiczna organic matter [g·kg ⁻¹]				
2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}
14,9	20,8	10,0	30,7	19,1	12,0	11,0	14,0	10,0	11,8	6,1	6,7	9,1	10,5	8,1
12,4	15,7	5,2	8,3	10,4	14,0	9,0	14,0	11,0	12,0	3,3	4,2	3,8	2,0	3,3
56,4	45,7	95,4	42,3	59,9	18,0	18,0	20,0	11,0	16,8	47,2	35,5	42,3	31,2	39,0
33,2	38,8	42,3	13,3	31,9	14,0	10,0	17,0	10,0	12,8	30,3	23,5	16,7	8,7	19,8
8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
Plant material														
K [g·kg ⁻¹]					Mg [g·kg ⁻¹]					substancja organiczna organic matter [g·kg ⁻¹]				
2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}	2010	2011	2012	2013	\bar{x}
3,6	27,7	36,1	25,0	23,1	2,1	2,2	2,6	1,4	2,1	–	–	–	–	–

Explanations: limiting contents (g·kg⁻¹) of macroelement in plant material [WIŚNIEWSKA-KIELIAN, LIPIŃSKI 2007]: Ca = 4.5–9.0; P = 2.6–3.5; K = 10.0–20.0; Mg = 3.0–3.2; OA = organic humus level.

Source: own study.

- Warunki pogodowe w latach badań istotnie wpływały na wartość wszystkich parametrów ocenianego gatunku, a głównym czynnikiem wpływającym na wegetację były ilość i rozkład opadów, które zapewniały odpowiednie uwilgotnienie bezglebowego, łatwo zaskorupiającego się, wapiennego podłoża.
- Wykorzystanie rożnika przerośniętego do rekultywacji wapna poflotacyjnego użyźnionego osadem ściekowym pozytywnie wpłynęło na gromadzenie się w nim materii organicznej i składników pokarmowych oraz obniżenie pH.
- Użyźnienie wapiennego podłoża osadami ścieków komunalnych wpłynęło różnicująco na zawartość w nim metali ciężkich, która jednak nie przekroczyła wartości dopuszczalnych. Nie miało to również znaczącego wpływu na zawartość tych składników w roślinach zebranych z tego podłoża, z wyjątkiem niewielkich przekroczeń stężenia Fe i Mn.

Tabela 5. Zawartość metali ciężkich w podłożu wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ścieków komunalnych oraz w materiale roślinnym (2010–2012)

Grupa roślin Species of plants	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge [t·ha ⁻¹]	Poziom glebowy Soil level	Zawartość	
			Cd	Cu
			Podłoże	
Kontrola Control	0	OA	0,150	8,75
		C	0,140	7,65
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	250	OA	0,438	17,03
		C	0,223	14,17
			Materiał	
<i>Silphium perfoliatum</i> L.			0,227	11,87
Wartość dopuszczalnych stężeń w glebie lub ziemi ¹⁾ Value of permissible concentrations in soil or earth ¹⁾			4	150
Wartość dopuszczalnych stężeń w roślinach jako paszy dla zwierząt ²⁾ Value of allowed concentrations in fodder plants for animals ²⁾			–	–
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

1) Wg: Załącznik do rozporządzenia Ministra Środowiska [Rozporządzenie... 2002] z dnia 9 września 2002 r.

2) Wg: BARAN, TURSKI [1996].

3) Wg: KABATA-PENDIAS i in. [1993].

4) Średnia zawartość w glebie piaszczystej.

Źródło: wyniki własne.

Bibliografia

BAJOR P., BULIŃSKA-RADOMSKA Z., KLIMONT K., OSIŃSKA A. 2014. Ocena rozwoju roślinności na składowisku popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ściekowym. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2(84) s. 51–61.

BARAN S., TURSKI R. 1996. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Lublin. Wydaw. AR. ISBN 83-86761-48-2 ss. 223.

GOŁDA T. 2007. Wykorzystanie szlamów poflotacyjnych rudy siarkowej do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w górnictwie otworkowym siarki. Inżynieria Ekologiczna. Nr 19 s. 79-88.

GORLACH E., GAMBUŚ F. 1999. Wpływ osadów ściekowych na zawartość metali ciężkich w glebie i roślinach oraz ich przemieszczanie w profilu glebowym. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Nr 467 s. 505–511.

GRZYWNOWICZ I., STRUTYŃSKI J. 2000. Rolnicze zagospodarowanie osadów ściekowych jako źródło zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Nr 472 s. 297–304.

IMIĞW 2010–2013. Zapiski Agrometeorologiczne Stacji Meteorologicznej w Sandomierzu. Sandomierz ss. 120.

KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M. TERELAK H., WITEK T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Puławy. IUNG ss. 20.

Table 5. Content of heavy metals in post-flotation lime substrate and thickened municipal sludge and plant material (2010–2012)

składników Content of elements [mg·kg ⁻¹]							
Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cr	Hg
Substrate							
2 544,1	526,9	9,02	7,47	15,83	2,35	3,92	0,009
1 681,9	466,4	7,34	4,20	12,32	2,09	3,61	0,008
3 440,4	486,8	40,93	9,94	68,94	2,63	6,93	0,082
3 004,5	339,4	7,74	8,48	44,18	1,98	4,88	0,068
roślinny Plant material							
80,17	61,49	6,41	0,85	64,09	0,045	1,309	0,020
5 700 ⁴⁾	1500	100	100	300	20	150	2
20–50	20–60	–	–	–	1	3–12	0,03
–	–	≤50,0	≤10,0	≤100,0	–	–	–

¹⁾ Acc. to: Assumptions of the order of the Minister of Environment of 9.09.2002 [Order... 2002].

²⁾ Acc. to: BARAN, TURSKI [1996].

³⁾ Acc. to: KABATA-PENDIAS et al. [1993].

⁴⁾ Average content in sandy soil.

Source: own study.

KIĆIŃSKA A., HELIOS-RYBICKA E. 1995. Metale ciężkie w układzie gleba – rośliny na obszarze oddziaływania huty cynku. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 418 s. 751–759.

KLIMONT K. 2004. Przydatność wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 497 s. 673–684.

KLIMONT K. 2007. Ocena przydatności wybranych roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2(56) s. 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. Vol. 62. No. 2 s. 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. Nr 12 s. 17–25.

KLIMONT K., BULIŃSKA-RADOMSKA Z., GÓRKA J. 2013b. Ocena przydatności różnych form wierzby (*Salix* sp.) do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki. Biuletyn IHAR. Nr 269 s. 161–168.

KLIMONT K., BULIŃSKA-RADOMSKA Z., OSIŃSKA A., BAJOR P. 2013c. Uprawa i spontaniczna roślinność na składowisku odpadów komunalnych pokrytych odpadem paleniskowym użyźnionym osadem ściekowym. Biuletyn IHAR. Nr 270 s. 109–121.

- KLIMONT K., BULIŃSKA-RADOMSKA Z., GÓRKA J., WOŚ H. 2014. Ocena przydatności wybranych gatunków jarych roślin oleistych do uprawy na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego. Biuletyn IHAR. Nr 274 s. 153–164.
- KLIMONT K., GÓRAL S., JOŃCA M. 2002. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na podłożu wapna poflotacyjnego. Biuletyn IHAR. Nr 223/224 s. 415–425.
- KOŁODZIEJ B., WIŚNIEWSKI J., SUGIER D., STACHYRA M. 2010. Wpływ metody zakładania plantacji i nawożenia osadem ściekowym na plonowanie roznika przerośniętego (*Silphium perfoliatum* L.) uprawianego na cele energetyczne. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 556 s. 143–150.
- KOWALSKI R., WOLSKI T. 1999. Rożnik przerośnięty *Silphium perfoliatum* L. nowa roślina o wielokierunkowych właściwościach użytkowych. W: Hodowla roślin ogrodniczych u progu XXI wieku. Materiały VIII Ogólnopolskiego Zjazdu Naukowego Hodowców Roślin Ogrodniczych. Lublin, 4–5 lutego 1999. Lublin. Wydaw. AR s. 149–152.
- MAJTKOWSKI W., MAJTKOWSKA G. 2012. Fitosanitarna rola szaty roślinnej na zrehabilitowanej hałdzie popiołów w Sowlanach k. Białegostoku. Biuletyn IHAR. Nr 263 s. 55–63.
- MAJTKOWSKI W., SZULC P.M., GACA J., MIKOŁAJCZAK J. 2010. Ocena wykorzystania *Silphium perfoliatum* L. do fitoremediacji terenów zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Biuletyn IHAR. Nr 256 s. 163–169.
- NIEMYSKA-ŁUKASZUK J. 1995. Wpływ składu granulometrycznego i odczynu gleby na zawartość przyswajalnych form metali ciężkich. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 418 s. 459–464.
- PILMENEV V.K. 1985. Novye kormovye kul'tury. Medonosnye rastenija. Moskva. Rosseľ'chozizdat s. 121–122.
- PODBIELKOWSKI Z. 1995. Fitogeografia części świata. T. 2. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN s. 90–91.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9.09.2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. Nr 165 poz. 1359.
- SIUTA J. 2001. Rekultywacja gruntów w górnictwie siarkowym. Inżynieria Ekologiczna. Nr 3 s. 192–197.
- SIUTA J. 2004. Rekultywacja terenu lagun osadowych w oczyszczalni „Hajdów”. Inżynieria Ekologiczna. Nr 9 s. 43–54.
- WERYSZKO-CHMIELEWSKA E., KOWALSKI R., WOLSKI T. 1999. Rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum* L.) nowa roślina alternatywna. Cz. I. Badania morfologiczne i anatomiczne. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 468 s. 497–505.
- WIŚNIEWSKA-KIELIAN B., LIPIŃSKI W. 2007. Ocena składu chemicznego roślin. Kraków–Warszawa–Wrocław. Oddz. Krakowski PTIE, Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza. ISBN 978-83-92644-11-8 ss. 57.
- WOŹNIAK M., GÓRAL S. 1998. Sylfia – rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum* L.). Potencjalny gatunek do rekultywacji terenów zdegradowanych i gruntów bezglebowych oraz do produkcji pasz. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 463 s. 661–668.

**Krzysztof Klimont, Zofia Bulińska-Radomska,
Józef Górka, Agnieszka Osińska**

**USABILITY EXAMINATION OF CUP PLANT (*SILPHIUM PERFOLIATUM* L.)
FOR LAND RECLAMATION AFTER BORE-HOLE SULFUR EXPLOITATION**

Summary

In the years 2010–2013 an examination was conducted concerning the usability of cup plant (*Sylphium perfoliatum* L.) for land reclamation after bore-hole sulfur exploitation covered with post flotation lime and enriched with sewage sediments and also determined it's soil-forming effect. Dry mass crop, number of shoots of a plant, its height and diameter were evaluated. It was noted that cup plants developed very well on soil-less ground of post flotation lime forming a very resistant field of lush plants. The crop of dry mass reached an average level of $13.05 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ and depended on the values of crop forming features i.e. numbers of shoots on plant, their height and diameter. Weather conditions in research years significantly influenced the value of all parameters and the main factor influencing the plants growth and their evolution was the quantity of precipitation and its distribution assuring adequate humidity of limestone soil-less ground. Making use of cup plant for the reclamation of post-flotation lime enriched with sewage sediment positively influenced the gathering of organic matter and nutrients in it and soil pH reduction. Sediment enrichment of limestone ground affected in a differentiating manner the content of heavy metals in the ground itself, as well as the cup plants grown on it.

Key words: post-flotation lime, sewage sediments, cup plant, heavy metals, soil-forming process, land reclamation

Adres do korespondencji

dr inż. Krzysztof Klimont
ul. Słowackiego 19, 27-600 Sandomierz
tel. 15 833-23-27; e-mail: k.klimont@op.pl

