

# 16

## WYKORZYSTANIE NAWŁOCI (*SOLIDAGO SP.*) Z SIEDLISK TRUDNYCH DLA CELÓW ENERGETYCZNYCH

### 16.1 WPROWADZENIE

W świetle aktualnych rozwiązań prawnych i stanu technologii wywiązanie się ze zobowiązań w zakresie produkcji „zielonej energii” w 2020 roku będzie trudne, z uwagi na ograniczoną ilość biomasy [3]. Osiągnięcie zakładanych wskaźników zastępowania konwencjonalnych źródeł energii paliwami z biomasy będzie również utrudnione, ze względu na wypieranie upraw surowców żywnościowych, powodujące spadek produkcji i wzrost ich cen [8]. Dlatego, żeby sprostać stawianym wymogom należałoby rozpatrzyć możliwość pozyskiwania biomasy z siedlisk trudnych.

Siedliskami trudnymi nazwano takie, w których na skutek działań antropogenicznych, gleby utraciły żyzność lub zostały zdewastowane. Są to także tereny bezglebowe i rekultywowane zwałowiska odpadów górniczych ze słabo wykształconym profilem glebowym.

Rozwój przemysłu, zwłaszcza wydobywczego i przetwórczego oraz urbanizacja, postępująca od ubiegłego stulecia na Górnym Śląsku, wpłynęły na przekształcenia powierzchni ziemi. Związane są one przede wszystkim z najważniejszymi zmianami degradującymi tereny, na skutek:

- zajmowania dużych obszarów pod składowanie odpadów górniczych i komunalnych,
- przekształceń powierzchni ziemi spowodowanych podziemną i powierzchniową eksploatacją zasobów naturalnych,
- zanieczyszczenia gleby emisjami przemysłowymi.

Tereny te były wcześniej użytkowane rolniczo lub leśnie. Wymusiło to potrzebę poszukiwania metod ograniczających niekorzystny wpływ składowanej skały płonnej z przemysłu górniczego na środowisko przyrodnicze, ale także odbudowę terenów leśnych zniszczonych przez przemysł. Dlatego, w ubiegłym stuleciu za główny kierunek rekultywacji zwałowisk odpadów górniczych, przyjęto zadrzewienie. Po latach nie dał on spodziewanych efektów. W zamierające

drzewostany wchodzi bujna roślinność zielna głównie takie gatunki jak trzcinnik piaskowy *Calamagrostis epigejos* i liczne gatunki nawłoci *Solidago* sp. [12].

Powstałe zbiorowiska roślinne spełniają wymogi ogólnie przyrodnicze, chronią powierzchnię, tworzą równocześnie dużą ilość biomasy zielonej. Przy braku odbioru biomasy, stanowi ona zagrożenie pożarowe, jednocześnie duże jej nagromadzenie ogranicza proces sukcesji przyrodniczej powstałego zbiorowiska roślinnego. Dlatego odbiór produkowanej biomasy nadziemnej z terenów trudnych, może być uzupełnieniem dla biomas energetycznych pozyskiwanych z upraw rolnych.

Udział energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym Polski (w odniesieniu do energii elektrycznej brutto zużywanej w kraju) wzrósł w latach 2008-2013 z 7,7% do 11,3% przy czym cel wyznaczony na rok 2020 to 15% [19].

Najważniejszym, ze źródeł odnawialnych, pozostaje w Polsce spalanie biomas. Ich udział w energii odnawialnej spadł jednak z poziomu 87,7% w roku 2008 do 80,3% w roku 2013. Do źródeł odnawialnych zalicza się także wykorzystanie biogazu. Udział biogazu w energii odnawialnej rośnie w Polsce nieznacznie od 1,8% w roku 2008 do 2,1% w roku 2013, przy czym w liczbach bezwzględnych jego produkcja wzrosła od 96,2 tys. toe (równoważnika olejowego) w roku 2008 do 181,4 tys. toe w roku 2013 [19].

Dyrektywy UE oraz prawodawstwo polskie jednoznacznie wskazują na potrzeby rozwoju rynku w zakresie biopaliw stałych (biomas), ciekłych i gazowych [3]. Dlatego pozyskiwanie, z terenów poprzemysłowych, biomasy roślin dzikorosnących bez dodatkowych nakładów na zabiegi agrotechniczne, może być niewątpliwie opłacalne i korzystne dla energetyki [4].

## 16.2 CHARAKTERYSTYKA BOTANICZNA *SOLIDAGO* SP.

Znanych jest kilka gatunków tej byliny. Najbardziej rozpowszechnione są trzy: nawłoc późna, kanadyjska i pospolita. Rośliny te zostały introdukowane z Ameryki Północnej. Krajowym gatunkiem jest *Solidago virgaurea*. Gatunki nawłoci występują powszechnie na terenie całego kraju. Szczególnie masowo rosną wzdłuż szlaków komunikacyjnych, rowów na przydrożach, odłogowanych polach i nieużytkach. Wymagania siedliskowe tego gatunku są niewielkie. Rosną nawet na skrajnie ubogich glebach klasy V i VI, osiągają wysokość około 1m. Charakteryzują się dużą plennością oraz intensywnym rozmnażaniem wegetatywnym przez cały sezon wegetacyjny. Charakteryzuje je także duży potencjał allelopatyczny [4]. Rośliny tworzą zwarte łany, ocieniając inne rośliny. Jako rośliny miododajne są ważnym źródłem pożytku pszczelego od sierpnia do października.

## 16.3 CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem podjętych badań było określenie: wpływu siedlisk trudnych na rozprzestrzenienie się, wielkość produkowanej biomasy nadziemnej z jednostki powierzchni oraz wartości energetycznej *Solidago* sp. Wielkość produkowanej biomasy oraz wartość energetyczna *Solidago* sp. są podstawą do określenia

kierunku gospodarczego wykorzystania tej rośliny.

Na podstawie badań fitosocjologicznych, gleboznawczych i chemicznych, przeanalizowano zbiorowiska roślinne z udziałem *Solidago* sp. na różnych zrehabilitowanych zwałowiskach odpadów górniczych oraz zdegradowanym użytku zielonym, pod względem możliwości wykorzystania ich dla celów energetycznych (spalania lub zgazowania).

Badaniami objęto zbiorowiska roślinne z *Solidago* sp., kształtujące się po różnych okresach od rozpoczęcia rekultywacji, na zwałowiskach odpadów po górnictwie węgla kamiennego, osadniku po flotacji rud Zn-Pb oraz zdegradowanym użytku zielonym. Na wyżej wymienionych terenach określono: skład florystyczny i pokrycie gruntu, wielkość produkowanej biomasy nadziemnej, właściwości fizyczne i chemiczne biotopu – ważnego elementu produktywnego siedliska, wartość energetyczną biomasy.

#### 16.4 TEREN BADAŃ

Zwałowiska odpadów górniczych tworzą skały karbońskie, głównie iłowce, łupki węglowe, mułowce i piaskowce. Jest to specyficzne podłoże, które w stosunkowo krótkich odstępach czasu zmienia swe właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne. Charakterystyczną cechą tworzącej się gleby inicjalnej jest niskie przewodnictwo elektrolityczne, duża kwasowość, przy odczynie zmieniającym się w szerokim zakresie pH (w KCl) 2,5-7,0 oraz brak składników odżywczych dla roślin takich jak fosfor i azot [11]. Zgromadzoną na zwałowiskach masę skalną zabezpiecza się przed negatywnym wpływem na środowisko, przez jej rekultywację techniczną (kształtowanie bryły zwałowiska) i biologiczną, głównie przez poprawianie troficzności gruntu oraz wprowadzenie roślinności przez siew (mieszanki traw) lub sadzenie (drzewa lub krzewy). Troficzność gruntu najczęściej poprawia się przez przykrycie go warstwą ziemi mineralnej lub odpowiednie jednorazowe przedsięwzięcie (fosforowe) i pogłównie (azotowe) nawożenie mineralne. Na tak zrehabilitowanych zwałowiskach po kilku dekadach oceniono rozwój zainicjowanych zbiorowisk roślinnych. Były to:

- Skarpa zwałowiska Sośnica w Zabrze o wystawie południowo-zachodniej,
- Skarpa zwałowiska Mikulczyce o wystawie południowej,
- Wierzchowina zwałowiska w Rudzie Śląskiej,
- Wierzchowina zwałowiska w Łaziskach,
- Osadnik po flotacji rud Zn-Pb w Bytomiu.

Zasadniczą masę odpadów sektora górniczego Zn-Pb stanowią odpady poflotacyjne, składowane sposobem hydraulicznym. Powierzchnię stawów osadowych, tworzyła drobne frakcje pylaste i ilaste, które wysychając, były intensywnie wywiewane, zapylając aglomerację miejską. Rekultywację biologiczną jednego z osadników, którą rozpoczęto 35 lat temu, zapoczątkowano przez przykrycie gruntu warstwą ziemi mineralnej, zastosowaniu nawożenia NPK, wysadzeniu różnych gatunków drzew i krzewów i obsianiu mieszanką traw.

Badane grunty porolne stanowi zdewastowany użytek zielony w zlewni rzeki Bytomki na jej 14 km. Zmiany w gospodarce rolniczej jak i opłacalność hodowli spowodowały, że przed około 25 laty zaniechano użytkowania rolniczego tego terenu. Teren został zdegradowany oraz zdewastowany przez wylewy rzeki, która prowadzi wody poprzemysłowe. Obszar ten obecnie pokryty jest zbiorowiskiem roślinnym, w którym główny udział ma nawłóć oraz trzcinnik piaskowy.

## **16.5 METODYKA BADAŃ**

### **16.5.1 Badania gleboznawcze**

Jednym z ważnych elementów siedliska na zwałowisku, wpływającym na jego produktywność, jest kształtująca się gleba. Dlatego ten element siedliska, na wyżej wymienionych powierzchniach, objęto badaniami metodami stosowanymi w gleboznawstwie.

Spośród właściwości fizykochemicznych i chemicznych badano pH (w 1M KCl), przewodnictwo elektrolityczne oraz zawartość pierwiastków N, P, K. Próbkę gruntu pobierano krótką łaską gleboznawczą z poziomu 0-25 cm w 5 powtórzeniach, tworząc przez ich wymieszanie jedną próbkę zbiorczą.

### **16.5.2 Badania florystyczne**

Podstawowym kryterium oceny roślinności były płaty roślinne W trzeciej dekadzie września, na wytypowanych nieużytkach, przeprowadzono porównawcze badania florystyczne metodą Webera oraz określono wielkość wyprodukowanej biomasy zielonej. Biomasa w stanie zielonym rozdzielono na trzy grupy: nawłóć, trzcinnik i inne zielne. Powietrznie suchy materiał zważono, określając udział, każdego z wymienionych gatunków, w ogólnej biomacie.

Pokrycie gruntu zbiorowiskami roślinnymi zostało określone wizualnie i szacunkowo przy wykorzystaniu kratownicy. W każdym kwadracie szacunkowo określono procent powierzchni pokrytej nawłocią, przyjmując za najmniejszą wartość 10%.

### **16.5.3 Oznaczenie wartości energetycznej biomasy nawłoci**

Ciepło spalania oraz wartość opałowa próbek nawłoci zostały oznaczone metodą kalorymetryczną z zastosowaniem kalorymetru komputerowego KL-12. Metoda pomiaru jest całkowicie zgodna z wymogami PN-81/G-04513 – Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.

### **16.5.4 Oznaczenie ilości biogazu**

Ilość biogazu, jaką można otrzymać z nawłoci została oznaczona w oparciu o fermentację metanową. Jest to proces wielofazowy i przebiega w czterech etapach:

- Hydroliza – rozkład polimerycznych, nierozpuszczalnych związków organicznych (białka, tłuszcze, węglowodany) do prostych związków, rozpuszczalnych w wodzie (monocukry, aminokwasy i kwasy tłuszczowe) przy

udziale enzymów (amylazy, proteazy, lipazy) wytwarzanych przez bakterie hydrolityczne.

- Acidogeneza (kwasogeneza) – rozkład zhydrolizowanych substancji do substancji prostszych przez bakterie beztlenowe. Jako produkty tego etapu powstają: krótkołańcuchowe kwasy organiczne (mrówkowy, octowy, propionowy, masłowy, walerianowy, heksanowy), alkohole (metanol, etanol), aldehydy, ketony oraz dwutlenek węgla i wodór. Część z nich stanowi źródło węgla i energii dla bakterii octanogennych.
- Octanogeneza – przemiana kwasów organicznych i alkoholi do kwasu octowego, dwutlenku węgla i wodoru. W procesie tym biorą udział bakterie nieselektywne, tj. redukujące jon siarczanowy do H<sub>2</sub>S oraz utleniające wodór do H<sub>2</sub>O.
- Metanogeneza – tworzenie metanu z kwasu octowego lub dwutlenku węgla i wodoru przy udziale bakterii metanogennych [18].

#### 16.5.5 Oznaczenie zawartości metali

Oznaczenie zawartości metali (Pb, Zn, Fe, Hg) wykonano metodą atomowej spektrometrii emisyjnej przy użyciu spektrometru ICP-AES.

### 16.6 OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

#### 16.6.1 Właściwości fizyko-chemiczne i chemiczne gleb

W procesie rekultywacji nieużytków powstałych ze składowanych odpadów górniczych zainicjowano proces glebotwórczy. Jego przebieg był ściśle uzależniony od właściwości składowanych odpadów, ziemi stosowanej do ich przykrywania oraz nawożenia mineralnego i wprowadzanej roślinności. Podłoże oraz roślina, na którym rośnie, tworzą układ współzależny. Dlatego właściwości gleby inicjalnej na poszczególnych typach nieużytków różniły się. Na zwałowiskach odpadów po górnictwie węgla po około 30-45 latach powstawała gleba o odczynie silnie kwaśnym do lekko kwaśnego. Na wyższy odczyn gleby na zwałowiskach po górnictwie odpadów węglowych wpływało wapnowanie, które stosowano w celu likwidacji powstających ognisk zapalnych (zapożarowania). Na osadniku poflotacyjnym skład mineralny odpadów ma decydujący wpływ na odczyn gleby. Na zdegradowanym użytku zielonym gleba miała odczyn kwaśny. Na wszystkich badanych terenach gleby cechuje niska zawartość łatwo rozpuszczalnych soli mineralnych, wyrażona przewodnictwem właściwym roztworu glebowego od 102,7 do 240,1  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Ilość przyswajalnego fosforu i przyswajalnego potasu zaliczono do niskich. Ilość przyswajalnego azotu w powstających glebach była bardzo niska do jej braku. Większą ilością tego składnika cechował się zdegradowany użytek zielony. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że biotopy powstające na składowanych odpadach górniczych po kilkudziesięcioletnim procesie ich rekultywacji biologicznej uznać należy za bardzo ubogie (tabela 16.1.).

**Tabela 16.1 Porównawcze wyniki z badań florystycznych na różnych typach terenów trudnych. Skład florystyczny i pokrycie gruntu, wielkość produkowanej biomasy nadziemnej**

<b>Roślinność rozpoczynająca proces rekultywacji, sposób użyczenia gruntu, wystawa powierzchni</b>	<b>Czas od rozpoczęcia rekultywacji [lata]</b>	<b><i>Solidago Sp.</i> Rozmieszczenie roślin w zbiorowisku</b>	<b>Żywność roślin</b>	<b>Wielkość biomasy Nawłoci [Mg·ha<sup>-1</sup>]</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Zwałowiska odpadów po górnictwie węgla kamiennego</b>				
Nasadzenia topoli, nawożenie, mineralne, zaprawienie dołeków teren płaski	35-40	Średnio duże skupienia, kolonie, do 70 % pokrycia.	Końcowa faza zamierania drzew	20,7
Zadarnienie, zakrzewienie, warstwa 0,10-0,15 m, ziemi mineralnej, skarpa południowo-wschodnia	30-35	Rozproszone, średnio duże skupienia, do 50% pokrycia	Krzewy z nasadzeń o zdeformowanym pokroju, słabym wzroście, w zbiorowisku roślin zielnych dominuje trzcinnik i nawłóć	16,9
Zadarnienie mieszanką traw, warstwie ziemi mineralnej 0,1-0,25m hydroobsiew,(mieszanka nasion i nawozów) skarpa wschodnia	10	Występuje pojedynczo	Drzewa o bardzo słabym wzroście i słabo wykształconych koronach. Trzcinnik piaskowy w dużych skupieniach.	0,1
<b>Zwałowisko w Łaziskach</b>				
Zadarnienie, zadrzewienie skarpa południowa. Pokrycie 0,05-0,1 m ziemią	20-25	Skupinowy 30-40% pokrycia	Drzewa z nasadzeń o słabym wzroście, największe skupiny tworzą trzcinnik i nawłóć	14,1
<b>Osadnik po flotacji rud Zn-Pb</b>				
Drzewa i krzewy w zaprawianych ziemi dołkach, w międzyrzędziach mieszanka traw. Warstwa do 0,20 m ziemi mineralnej i nawożenie NPK	35	W małych kępach lub występujące pojedynczo przy 25% pokryciu	Zamierające pojedyncze drzewa. Zbiorowiska roślinne tworzyły trawy. Część powierzchni bez roślinności	12,9
<b>Zdegradowany użytek zielony</b>				
Trawy łąkowe i zielne dwuliścienne	20-25	Duże skupienia przy pokryciu 40-50% niższe bliżej koryta rzeki	Intensywny wzrost nawłoci i trzcinnika przy małych grupach innej roślinności zielnej	20,1

Na podstawie przeprowadzonych badań określających cechy wyróżniające różne zbiorowiska roślinne na zrehabilitowanych zwałowiskach [11], jak również wykonanych analiz botanicznych stwierdzono, że ekspansywnym gatunkiem, który w pierwszej kolejności wchodzi na zrehabilitowane nieużytki, jest trzcinnik piaskowy. Nawłóć uczestniczy w tworzeniu zbiorowiska roślinnego po wielu latach (tabela 16.1). Może to wynikać z większego zapotrzebowania tej rośliny na azot. Łączna ilość form azotu na badanych stanowiskach, na których nawłóć tworzy duże skupienia przy średnim pokryciu 50 do 70%, jest niska, przy czym zawartość formy amonowej azotu jest wyższa od formy azotanowej (tabela 16.2). Na takich powierzchniach zbiorowiska roślinne tworzy nawłóć z ustępującym trzcinnikiem. Trzcinnik piaskowy jest rośliną światłolubną. Nawłóć tworzy wysokie rozgałęziające się pędy, które mogą ograniczać dostęp światła dla trzcinnika i eliminować go ze zbiorowiska roślinnego. Potwierdzają to wieloletnie obserwacje występowania tych dwóch gatunków na zwałowiskach.

**Tabela 16.2 Właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb inicjalnych na nieużytkach przemysłowych**

pH		Przewodnictwo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
H <sub>2</sub> O	KCl				wyciąg 1:10 0,03 NCH <sub>3</sub> COOH	
		[μScm <sup>-1</sup> ]	mg/100g	(-)cmol·kg <sup>-1</sup>		
<b>Zwałowisko Sośnica</b>						
3,4	3,1	164,7	1,5	7,4	0,08	-
<b>Zwałowisko Mikulczyce</b>						
6,3	6,1	102,7	2,5	7,0	0,06	-
<b>Zwałowisko Ruda Śląska</b>						
4,5	4,4	240,1	3,0	5,2	0,07	-
<b>Zwałowisko Łaziska</b>						
5,1	4,9	220,3	5,2	7,0	0,01	0,08
<b>Osadnik poflotacyjny Zn-Pb</b>						
7,7	7,5	152,7	0,01	śląd	0,003	-
<b>Zdegradowana łąka</b>						
5,69	5,35	169,7	1,22	8,13	0,051	0,002

Niskie zawartości w glebie fosforu dostępnego, azotu azotanowego N-NO<sub>3</sub> stwierdzono również na obszarach objętych inwazją nawłoci. Jednocześnie zanotowano wzrost zawartości węgla organicznego, zawartości azotu amonowego oraz wartości pH. Wzrosła także gęstość objętościowa gleby.

Plonowanie nawłoci przy około 20 Mg·ha<sup>-1</sup> biomasy na wymienionych terenach bez nakładów na zabiegi agrotechniczne uznać należy za wysokie.

### 16.6.2 Wartość energetyczna biomasy nawłoci

Wartość energetyczną paliw określa się na podstawie ich ciepła spalania i wartości opałowej.

Przeprowadzone badania kalorymetryczne wykazały, że wartość średnia ciepła spalania i średnia wartość opałowa nawłoci są porównywalne z wartościami dla węgla brunatnego i wynoszą odpowiednio: 16,56 MJ/kg i 18,18 Mg/kg [9], przy

zawartości popiołu średnio 1,7%. Przydatność nawłoci do współspalania opatentowano [10].

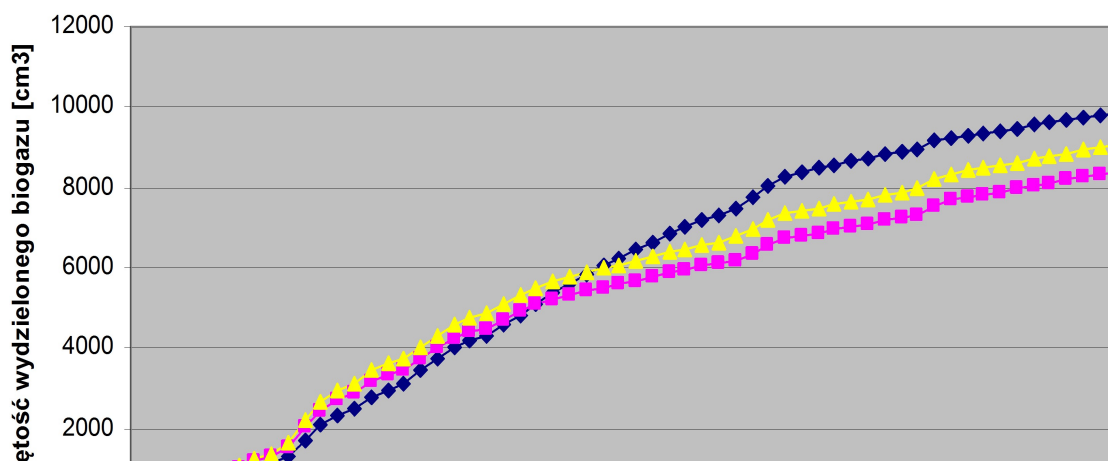
### 16.6.3 Uzyskiwana ilość biogazu z biomasy nawłoci

Przeprowadzona fermentacja metanowa wykazała, że po 818 godzinach fermentacji z 50,00 g masy świeżych roślin nawłoci wydzielono się: 8691 cm<sup>3</sup> biogazu z łodyg nawłoci oraz 9403 cm<sup>3</sup> biogazu z liści tej rośliny.

Oznacza to, że z 1000 kg świeżych łodyg nawłoci można otrzymać 173,8 m<sup>3</sup> biogazu (metanu), a z tej samej ilości świeżych liści nawłoci można otrzymać 188,1 m<sup>3</sup> biogazu (metanu).

Ilość uzyskanego biogazu z nawłoci porównano z ilością biogazu uzyskiwanego z trzcinnika piaskowego z tych samych siedlisk (rys. 16.1).

#### Fermentacja metanowa nawłoci i trzcinnika



Rys. 16.1 Fermentacja metanowa liści i łodyg nawłoci oraz trzcinnika

Podczas fermentacji świeżych roślin trzcinnika piaskowego uzyskano o 16% więcej biogazu niż z nawłoci. Ilość biogazu uzyskana z nawłoci jest porównywalna z ilością pozyskiwaną z innych roślin uprawnych, takich jak rozdrobniona kolba kukurydzy, ziarna zbóż [2]. Jednocześnie pod względem ekonomicznym bardziej opłacalne niewątpliwie jest pozyskiwanie biogazu z nawłoci.

### 16.6.4 Metale ciężkie w nawłoci

Zawartość metali ciężkich: cynku, ołowiu i żelaza zarówno w łodygach jak i liściach nawłoci zebranych ze zwałowiska odpadów pogórnich oraz z osadnika po flotacji rud Zn-Pb uznać należy za niską. Zawartość Fe nie przekracza 580 ppm u roślin nawłoci z osadnika oraz 700 ppm u roślin nawłoci ze zwałowiska odpadów górniczych. Zawartość Pb nie przekracza 2 ppm u roślin ze zwałowiska, natomiast zawartość Zn nie przekracza 21 ppm dla roślin z osadnika oraz 2 ppm dla roślin ze zwałowiska. Nie stwierdzono obecności Pb w liściach i łodygach nawłoci zebranej z



osadnika poflotacyjnego oraz Hg zarówno w nawłoci zebranej ze zwałowiska, jak i z osadnika [9].

W Polsce jak dotąd nie opracowano normy dotyczącej dopuszczalnych zawartości metali ciężkich w biomacie roślinnej wykorzystywanej do spalania lub współspalania. Porównując koncentracje metali ciężkich w nawłoci z niemiecką normą DIN 51731, można stwierdzić, że zawartości Zn, Pb, Hg nie przekraczają dopuszczalnych wartości. Dopuszczalne zawartości wg wyżej wymienionej normy wynoszą: < 10 mg/kg dla Pb, < 100 mg/kg dla Zn oraz < 0,05 mg/kg dla Hg [14].

## 16.7 PODSUMOWANIE

Idealna roślina energetyczna powinna cechować się: wysokim plonem suchej masy z hektara, niskimi nakładami energii przy jej produkcji, niską zawartością zanieczyszczeń, niskim zapotrzebowaniem na substancje pokarmowe.

Wymogi te w pełni spełniają gatunki nawłoci rosnące na terenach tak zwanych trudnych, marginalnych.

Nawłoc skolonizowała większość terenów zwałowisk po górnictwie węgla kamiennego, na których przed laty przeprowadzono rekultywację biologiczną w formie jednorazowego zabiegu agrotechnicznego [12].

Nawłoc, jako jedna z kilku roślin pionierskich, zasiedliła także wysypiska popiołów wielkopieczowych Nowej Huty [7].

Badania prowadzone przez Vanderhoeven i wsp. [15] wykazały, że wpływ nawłoci na chemizm wierzchnich poziomów glebowych był umiarkowany i przejawiał się jedynie niewielkim wzrostem zawartości składników mineralnych: K, Mg, Zn, P, przy czym statystycznie istotny był jedynie wzrost zawartości przyswajalnego fosforu. Można to także odnieść do zwałowisk odpadów po górnictwie węgla kamiennego, które charakteryzują się brakiem azotu i fosforu.

W badaniach prowadzonych na zanieczyszczonych metalami Cu, Pb i Zn glebach Północnej Florydy Yun i wsp. [16] wykazali brak przydatności *Solidago altissima* do celów fitekstrakcji ze względu na brak zdolności do hiperakumulacji w/w metali. Brak kumulacji tych metali w nawłoci został potwierdzony badaniami przeprowadzonymi na osadnikach poflotacyjnych Zn-Pb.

Bardziej złożony jest obraz wpływu nawłoci na zawartość azotu w glebie. Część autorów stwierdza wzrost całkowitej zawartości azotu w glebach pod inwazją nawłoci [5] wynikający z jej zdolności do mikoryzy [6] część obserwowała spadek zawartości azotu całkowitego [17], a niektórzy nie stwierdzili istotnego wpływu na zawartość N ogólnego [13]. Z kolei Dessonville i wsp. [1] kompromisowo sugerują, że wzrost lub spadek zawartości azotu ogólnego w glebach pod inwazją nawłoci zależy od początkowej zasobności gleby w ten pierwiastek. Wzrost występuje w glebach o niskiej początkowej zasobności, a spadek o wysokiej zasobności początkowej. Na rekultywowanych zwałowiskach nawłoc wchodzi po trzcinniku, kiedy nagromadza się pewna ilość substancji organicznej w powierzchniowej warstwie gleby inicjalnej. Ziemia, która używana była najczęściej do użyźniania gruntu

pochodziła z wykopów, dlatego nie wnoszono z nią substancji organicznej.

Rozbieżne są poglądy na temat zawartości azotu amonowego w glebach porośniętych przez nawłóć. Przyrost zawartości azotu amonowego związany z inwazją nawłoci stwierdzili Zhang i wsp. [17] natomiast spadek Jianzhong i wsp. [5].

Pozyskiwanie nawłoci, dla celów energetycznych, z terenów trudnych jest zasadne z uwagi na:

- znaczne powierzchnie terenów opanowanych przez tę roślinę. Są to zazwyczaj tereny nieużytków poprzemysłowych nie tylko na terenie Śląska, które nie są włączane do gospodarki rolnej ani leśnej.
- długotrwałość takiego gatunku na ubogich siedliskach.
- uzyskiwanie corocznie wysokich plonów biomasy zielonej bez większych nakładów.
- wysoką wartość energetyczną: ciepło spalania i wartość opałową pozyskiwanej biomasy.
- znaczną ilość pozyskiwanego biogazu z tej rośliny.
- tworzenie nowych miejsc pracy związanych ze zbiorem magazynowaniem i przetwarzaniem biomasy ze zbiorowisk roślinnych, w których dominuje nawłóć.

#### LITERATURA

- [1] N. Dassonville, S. Vanderhoeven, V. Vanparys, M. Hayez, W. Gruber, P. Meerts. "Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe". *Oecologia*, vol. 157, iss. 1, 2008, pp. 131-140.
- [2] M. Fugol, J. Szlachta. „Zasadność używania kiszonki z kukurydzy i gnojowicy świńskiej do produkcji biogazu”. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 2010, pp. 169-174.
- [3] A. Grzybek. „Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania”, *Studia i raporty IUNG-PIB*, Puławy 2008, pp. 7-25.
- [4] A. Jezierska, A. Domaradzka, K. Domaradzki. „Solidago Canadensis L. jako potencjalny gatunek energetyczny – zagrożenia dla środowiska przyrodniczego oraz ocena naturalnych zasobów surowców na przykładzie wybranych odłogów pól w powiecie wołowskim na Dolnym Śląsku”. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, Seria: Rolnictwo, 584, 2012, pp. 43-52.
- [5] L. Jianzhong, Q. Wei, C. Jiakuan, L. Bo. "Impact of invasive species on soil properties: Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*) as a case study". *Chinese Biodiversity*, 13 (4), 2015, pp. 347-356.
- [6] L. Jin, Y.J. Gu, M. Xiao. "The history of *Solidago canadensis* invasion and the development of its mycorrhizal associations in newly-reclaimed land". *Functional Plant Biology*, 31, 2004, pp. 979-986.
- [7] R. Kostuch, S. Twardy. „Roślinność zasiedlająca hutnicze wysypiska wielkopiecowe Nowej Huty”. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, Seria: Rolnictwo, nr 545, 2006, pp. 147-157.
- [8] B. Lapillonne. *Energy efficiency: Striking the Balance The energy Future in an Interdependent World*, Roma, 2007.

- [9] K. Nowińska, M. Kokowska-Pawłowska, A. Patrzalek. „Metale w Calamagrostis Epigejos i Solidago Sp. ze zrehabilitowanych nieużytków przemysłowych”, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3, 2012, pp. 91-100.
- [10] Patent nr 212631. Sposób wytwarzania paliwa stałego z biomasy roślin dziko rosnących, 2012.
- [11] A. Patrzalek. „Ocena zbiorowisk roślinnych na zrehabilitowanych zwaliskach w Zabrze w celu określenia ich dalszych funkcji w planie zagospodarowania przestrzennego”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo*, z. 267, 2005, pp. 207-219.
- [12] A. Patrzalek, K. Nowińska. „Rozwój zbiorowisk roślinnych na zwaliskach odpadów górniczych zrehabilitowanych różnymi metodami”. W: P. P. Zagożdżona, M. Madziarza (red.). *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*. T. 5, Wrocław: Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, 2013, pp. 297-306.
- [13] D. Scharfy, S. Güsewell, M.O. Gessner, H.O. Venterink. “Invasion of Solidago gigantea in contrasting experimental plant communities: effects on soil microbes, nutrients and plant-soil feedbacks”. *Journal of Ecology*, vol. 98, iss. 6, 2010, pp. 1379-1388.
- [14] J. Szyszlak-Bargłowicz, W. Piekarski. „Zawartość wybranych pierwiastków metali ciężkich w biomacie ślazu pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby)”. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, nr 40, 2010, pp. 357-364.
- [15] S. Vanderhoeven, N. Dassonville, L. Chapuis-Lardy, M. Hayez, P. Meerts. “Impact of the invasive alien plant Solidago gigantea on primary productivity, plant nutrient content and soil mineral nutrient concentrations”, *Plant Soil*, nr 286, Springer, 2006, pp. 259-268.
- [16] L. Yun-Guo, Z. Hui-Zhi, Z. Guang-Ming, H. Bao-Rong, L. Xin. “Heavy metal accumulation in plants on Mn mine tailings”. *Pedosphere* 16(1), 2006, pp. 131-136.
- [17] Ch. B. Zhang, J. Wang, B.Y. Quin, W. Li. “Effects of the invader Solidago canadensis on soil properties”. *Applied Soil Ecology*, 43, 2009, pp.163-169.
- [18] <http://www.biopowersa.pl/fermentacja-metanowa.html>
- [19] [ec.europa.eu/Eurostat](http://ec.europa.eu/Eurostat)

**WYKORZYSTANIE NAWŁOCI (*SOLIDAGO SP.*)  
Z SIEDLISK TRUDNYCH DLA CELÓW ENERGETYCZNYCH**

**Streszczenie:** Nawłóć (*Solidago Sp.*) skolonizowała większość nieużytków przemysłowych, będącymi siedliskami trudnymi. Pozyskiwanie nawłoci z siedlisk trudnych dla celów energetycznych jest zasadne z uwagi na: znaczne powierzchnie nieużytków przemysłowych opanowanych przez tę roślinę, jej długotrwałość na tego typu terenach, uzyskiwanie wysokich plonów biomasy zielonej bez większych nakładów, niską zawartość metali ciężkich w łodygach i liściach tej rośliny, wysoką wartość energetyczną *Solidago Sp.* oraz ilość pozyskiwanego z niej biogazu.

**Słowa kluczowe:** nawłóć, *Solidago Sp.*, siedliska trudne, biomasa, wartość energetyczna, biogaz

**USE OF GOLDENROD (*SOLIDAGO SP.*)  
FROM DIFFICULT HABITATS FOR ENERGY PURPOSE**

**Abstract:** Goldenrod (*Solidago sp.*) colonized most of the wasteland, which are difficult habitats. Acquisition of goldenrod from difficult habitats for energy purposes is justified for: large areas of wasteland dominated by this plant, its duration for such areas, getting high yields of green biomass without large expenditures, a low content of heavy metals in the stems and leaves of this plant, high energy value of *Solidago Sp.* and the amount of obtained biogas.

**Key words:** goldenrod, *Solidago sp.*, difficult habitats, biomass, energy value, biogas

dr hab. Anna Patrzalek  
Politechnika Śląska,  
Wydział Górnictwa i Geologii  
Instytut Geologii Stosowanej  
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

dr inż. Katarzyna Nowińska  
Politechnika Śląska,  
Wydział Górnictwa i Geologii  
Instytut Geologii Stosowanej  
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice  
e-mail: katarzyna.nowinska@polsl.pl

prof. dr hab. inż. Jarosław Kaszubkiewicz  
Uniwersytet Przyrodniczy  
Wydział Przyrodniczo-Technologiczny  
Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska  
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław  
e-mail: jaroslaw.kaszubkiewicz@up.wroc.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 06.2016  
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 09.2016