

KRZYSZTOF KLIMONT <sup>1</sup>  
ZOFIA BULIŃSKA-RADOMSKA <sup>1</sup>  
JÓZEF GÓRKA <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych  
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie

<sup>2</sup> Kopalnia Siarki „Jeziórko” S.A. w Jeziórku

## Sukcesja zbiorowisk roślinnych na złożu wapna poflotacyjnego pokrywającego tereny po otworowej eksploatacji siarki\*

### Succession of flora communities on soilless deposit of post flotation lime on the post-mining area of sulfur mine

W latach 2010–2013 badano gatunki, które mogą spełniać rolę pionierską w sukcesji naturalnej na złożu wapna poflotacyjnego, którym zapełniono zawodnione niecki osiadania w Kopalni Siarki "Jeziórko". Oceniano również dynamikę zmian gatunkowych zachodzących w kolejnych latach badań. Badania prowadzono na dwóch doświadczeniach. Na pierwszym doświadczeniu założonym w łanie kostrzewy trzcinowej określano skład botaniczny roślin oraz ich skalę pokrycia i towarzyskości wg Braun-Blanqueta, a także przypisanie im wartości fitosocjologicznych celem określenia ich trwałości w runi oraz dynamiki zmian gatunkowych. Na drugim doświadczeniu porośniętym roślinnością zielną i drzewiastą obserwowano zmiany w składzie gatunkowym i liczebności osobników, a szczególnie te, jakie nastąpiły w następstwie pożaru badanych terenów jesienią 2006 roku. Wyniki prowadzonych badań wykazały, że w łanie kostrzewy trzcinowej porastającej wapno poflotacyjne rośnie udział traw: perzu właściwego (*Agropyron repens* (L.) P.B.), trzcinika piaskowego (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) i stokłosa miękkiej (*Bromus mollis* L.), a udział kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L.) maleje. Wzrasta również udział mlecza polnego (*Sonchus arvensis* L.), fiołka polnego (*Viola arvensis* Murr.), mniszka pospolitego (*Taraxacum officinale* Web.) i babki lancetowatej (*Plantago lanceolata* L.) oraz motylkowatych wieloletnich: koniczyny białej (*Trifolium repens* L.), koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) i komonicy różkowej (*Lotus corniculatus* L.). Na terenach podlegających sukcesji spontanicznej maleje udział trzcinika piaskowego, kostrzewy trzcinowej i perzu właściwego na korzyść wielu gatunków roślin dwuliściennych takich jak m.in.: nawłoc kanadyjska (*Solidago canadensis* L.), nawłoc pospolita (*Solidago virga-aurea* L.) i nawłoc późna (*Solidago serotina* Ait.), komonica różkowa (*Lotus corniculatus* L.) i ostrożeń polny (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). Wśród drzew dominują gatunki wierzb (*Salix* sp.) i topól (*Populus* sp.), maleje natomiast udział światłolubnych brzoź (*Betula* sp.), a osobniki kilku innych gatunków występują pojedynczo. Co roku wzrasta liczba taksonów

\* Praca przedstawiona na konferencji IHAR — PIB, Zakopane, 3 lutego 2015 roku

Redaktor prowadzący: Henryk J. Czembor

roślinności zielnej i liczba osobników wśród gatunków roślinności drzewiastej. Osady ściekowe wprowadzone do bezglebowego złoża zainicjowały życie biologiczne i aktywizowały procesy glebotwórcze, które wraz z porastającą spontanicznie roślinnością wpływają na tworzenie poziomu organiczno-próchnicznego gromadzącego przyswajalne składniki pokarmowe i wodę. Odnotowano zwiększenie zawartości przyswajalnych składników pokarmowych P, K i Mg oraz materii organicznej w złożu pobranym spod roślinności porastającej obydwu doświadczenia oraz niewielkie, ale wyraźne obniżenie pH podłoża zarówno w poziomie organiczno-próchnicznym jak też głębiej, co mogło skutkować zmianami składu gatunkowego roślinności w kolejnych latach badań.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, rekultywacja, sukcesja roślinna, tereny poeksploatacyjne kopalni siarki, wapno poflotacyjne

In the years 2010–2013 some species which can play a pioneering role in natural succession were investigated on soilless ground of post-flotation lime cowering the post-mining area of Jeziórko sulfur mine. Dynamics of species changes occurring in successive years was also evaluated. Research was carried out in two experiments. In the first one, established on the field of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.), we defined botanical composition of plants and the scale of covering and sociability according to Braun-Blanquet procedure and also their phytosociological value in order to determine their durability in green growth and dynamics of the species changes. In the second experiment, overgrown with herbaceous and ligneous plants, further changes were observed in species composition and the number of specimen resulting from a fire in the area under investigation in autumn 2006. The results of our research showed that in the field overgrown by tall fescue, post-flotation lime increases the share of grasses: couch grass (*Agropyron repens* (L.) P.B.), bush grass (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) and soft brome (*Bromus mollis* L.), but the share of orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) decreases. Increase of the share of the following species can be also noticed: field sowthistle (*Sonchus arvensis* L.), field pansy (*Viola arvensis* Murr.), common dandelion (*Taraxacum officinale* Web.), narrowleaf plantain (*Plantago lanceolata* L.) and perennial legume i.e. white clover (*Trifolium repens* L.), red clover (*Trifolium pratense* L.) and bird's-foot-trefoil (*Lotus corniculatus* L.). In the area which undergoes a spontaneous succession the share of bush grass, tall fescue and couch grass undergoes reduction in favor of many species of dicot plants such as: canadian goldenrod (*Solidago canadensis* L.), European goldenrod (*Solidago virga-aurea* L.) and tall goldenrod (*Solidago serotina* Ait.), bird's-foot-trefoil (*Lotus corniculatus* L.), creeping thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). Among trees willow (*Salix* sp.) and poplar (*Populus* sp.) species dominate and decreases the share of photophilic birch trees (*Betula* sp.). Some other species appear sporadically. Every year the number of taxa of herbal flora grows and the number of specimen among the species of ligneous plants. Waste sediments introduced to soilless ground initiated a biological life and activated soil-forming processes, which together with spontaneous germination of flora affected the creation of organic and humus level gathering water and available nutrients. We noted an increase of available P, K, Mg nutrients and organic matter in the ground taken from below the flora overgrowing both experimental fields and a small but distinct pH decrease both on organic and humus level and bedrock, that could have lead to specific changes of flora in successive years of the research.

**Key words:** land reclamation, post exploitation area of sulfur mine, post flotation lime, vegetal succession, waste sediments

## WSTĘP

Sukcesja naturalna roślinności zielnej i drzewiastej na terenach poeksploatacyjnych kopalni siarki wydobywanej metodą podziemnego wytopu (otworową) i pokrytych wapnem poflotacyjnym następuje dosyć wolno. Wkroczenie na takie bezglebowe złoża pojedynczych gatunków a następnie wykształcenie się nawet najmniej złożonych zbiorowisk roślinnych wymaga odpowiednio długiego czasu. Gruntowna analiza składu

florystycznego i kolejności wkraczania roślinności wskazuje na warunki ekologiczne występujące na rekultywowanych gruntach i może być przydatna przy doborze roślin do ich zagospodarowywania metodami biologicznymi.

Wapno poflotacyjne ze względu na brak gruzełkowatej struktury i skłonność do zaskorupiania, wysokie pH i brak życia biologicznego nie stanowi dobrego podłoża dla rozwoju roślin. Dopiero wprowadzenie do niego osadów ścieków komunalnych inicjuje i dynamizuje w nim procesy glebotwórcze (Siuta, Jońca, 1997; Jońca, 2000; Klimont i in., 2002; Martyn i in., 2001; Klimont i in., 2013). Na tereny przemysłowe najwcześniej samorzutnie wkraczają takie gatunki jak: przymiotno kanadyjskie, pieprzyca gruzowa, wiechlina roczna, bylica pospolita i lucerna siewna (Greszta, Morawski, 1980; Klimont, Bulińska-Radomska, 2009; Klimont i in., 2014) a na gruncie wapna poflotacyjnego pierwsze pojawiają się trawy m.in.: trzcinnik piaskowy, kostrzewa trzcinowa i perz właściwy, następnie rośliny dwuliścienne m.in. koniczyna biała i podbiał pospolity, a następnie roślinność drzewiasta, głównie wierzby, topole i brzozy (Podyma, 1999, materiały niepublikowane; Klimont, 2010). Na terenach zdegradowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną o szybkości i kierunku rozwoju sukcesji naturalnej decydują głównie: rodzaj złoża i jego właściwości fizyczne, chemiczne i mechaniczne, warunki klimatyczne a także skład gatunkowy roślin w obszarów sąsiadujących.

Celem prowadzonych badań było określenie gatunków roślin mogących spełniać rolę pionierską w sukcesji naturalnej na złożu wapna poflotacyjnego, a także ocena dynamiki zmian składu botanicznego zachodzących w kolejnych latach badań z uwzględnieniem chemicznych zmian właściwości złoża.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na terenie poeksploatacyjnym Kopalni Siarki „Jeziorko” niedaleko Tarnobrzega, który pokryto wapnem poflotacyjnym będącym odpadem poprodukcyjnym z pobliskiej odkrywkowej Kopalni Siarki „Machów”, gdzie siarkę elementarną otrzymywano z rudy siarkowej metodą flotacji. Wapno dostarczano na obszar poeksploatacyjny przy pomocy hydrotransportu i zdeponowano na powierzchni ok. 50 ha o miąższości średnio 1,5 m (od 1 do 6 m). Według danych literaturowych (Gołda, 2007; Klimont i in., 2002) wapno poflotacyjne można uznać za glinę średnią pylastą zawierającą następujące zawartości frakcji: piasek — 39%, pył — 27% i części splawialne — 34% w tym 7% iłu koloidalnego, o pH około 7,3.

Na wiosnę 1995 roku powierzchnię wapna poflotacyjnego nawieziono osadami ścieków komunalnych w dawce  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  i dokładnie je z nim wymieszano. Następnie zastosowano nawożenie mineralne w dawce  $70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $75 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$  i  $100 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Na przygotowanym gruncie założono dwa doświadczenia. Na pierwszym doświadczeniu (I) o powierzchni 0,25 ha wysiano nasiona kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.). Po zakończeniu wegetacji późną jesienią corocznie zeschniętą ruń kostrzewy ścinano i rozdrabniano. W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki czteroletnich badań prowadzonych w latach 2010–2013, których zakres obejmował rejestrowanie gatunków roślin naczyniowych oraz ich skalę pokrycia i towarzyskości powszechnie stosowaną metodą Braun-Blanqueta,

a także przypisanie im odpowiednich wartości fitosocjologicznych dla określenia trwałości w runi kostrzewy trzcinowej oraz dynamiki zmian w monokulturze tego taksonu w warunkach stresu abiotycznego. Na drugim doświadczeniu (II) nie wysiewano nasion i nie wysadzano żadnych roślin i pozostawiono je bez jakichkolwiek zabiegów agrotechnicznych, a w pracy przedstawiono wyniki z tego doświadczenia za lata 2010–2013 dotyczące składu gatunkowego roślinności zielnej i drzewiastej ze szczególnym uwzględnieniem zmian w składzie botanicznym roślin, jakie nastąpiły na skutek pożaru tych terenów wczesną jesienią 2006 roku. Sukcesję roślinności badano na powierzchni obsianej kostrzewą (doświadczenie I) i podlegającej sukcesji spontanicznej (doświadczenie II). Corocznie obserwacje prowadzono w pełni lata, czyli w okresie lipca i sierpnia. W obydwu doświadczeniach określono w podłożu: zawartość przyswajalnych P, K, Mg i materii organicznej oraz wartość pH, w materiale roślinnym (pędy roślin) zawartość P, K, Mg i Ca. Wariant kontrolny dla obydwu doświadczeń stanowiło podłoże wapna poflotacyjnego bez nawozów mineralnych i osadów ściekowych, nie porośnięte żadną roślinnością, pobrano z niego tylko próbki do analiz chemicznych złoża. Analizę statystyczną danych eksperymentalnych wykonano metodą analizy wariancji, istotność różnic między średnimi badanych cech oceniano testem Tukeya przy  $NIR\alpha = 0,05$ .

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki pogodowe w czasie prowadzenia badań były zróżnicowane (tab. 1) i wpływały na przebieg wegetacji ocenianych gatunków roślin. Pierwszy rok badań (2010) charakteryzował się ciepłą, obfitą w opady wiosną oraz wilgotnym i ciepłym latem, co sprzyjało wegetacji i bujności roślin. Również drugi rok badań (2011) był ciepły i obfity w opady, głównie w okresie letnim, okazał się on najkorzystniejszy dla wegetacji roślin. Trzeci rok (2012) był mniej korzystny od dwóch poprzednich ze względu na zdecydowanie niższe opady szczególnie w miesiącach wiosennych i letnich oraz upalne lato. Czwarty, ostatni rok badań charakteryzował się późną i w początkowym okresie chłodną wiosną, co opóźniło rozpoczęcie wegetacji roślin, również niedobory wilgoci w miesiącach letnich nie stwarzały korzystnych warunków dla wzrostu i rozwoju roślin.

Wyniki obserwacji za 2010 rok wykazały, że w łąnie kostrzewy trzcinowej pojawiły się nowe gatunki roślin. W pierwszym roku prowadzenia obserwacji (2010) odnotowano występowanie 25 gatunków roślin, z czego 7 stanowiły trawy, a 18 rośliny dwuliścienne, w tym 12 wieloletnich (tab. 2). W piętnastym roku od zasiewu, a pierwszym niniejszych badań nadal w łąnie dominuje kostrzewa trzcinowa i stanowi zwartą ruń. Ale obok niej odnotowano w znacznej ilości takie gatunki jak perz właściwy (*Agropyron repens* (L.) P.B.), trzcinnik piaskowy (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.), kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.) i mleczeń polny (*Sonchus arvensis* L.). W porównaniu do 2009 roku (Klimont, Bulińska-Radomska 2010) przybyły nowe gatunki roślin dwuliściennych, takie jak mleczeń kolczasty (*Sonchus asper* (L.) Hill.), koniczyna szwedzka (*Trifolium hybridum* L.), babka zwyczajna (*Plantago maior* L.) i traganek pęcherzykowaty (*Astragalus cicer* L.).

Tabela 1

**Suma miesięcznych opadów oraz średnia miesięczna temperatura powietrza w latach 2010–2013**  
**Sums of monthly rainfall and monthly average of air temperature in years 2010–2013**

| Miesiąc<br>Month       | Lata — Years                           |               |  |               |  |               |  |               |
|------------------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|
|                        | 2010                                   |               | 2011                                   |               | 2012                                   |               | 2013                                   |               |
|                        | suma opadów<br>sum of rainfall<br>(mm) | temp.<br>(°C) | suma opadów<br>sum of rainfall<br>(mm) | temp.<br>(°C) | suma opadów<br>sum of rainfall<br>(mm) | temp.<br>(°C) | suma opadów<br>sum of rainfall<br>(mm) | temp.<br>(°C) |
| Styczeń<br>January     | 23,8                                   | -7,6          | 25,6                                   | -1,0          | 34,2                                   | -1,8          | 48,1                                   | -3,4          |
| Luty<br>February       | 29,2                                   | -1,8          | 14,2                                   | -3,6          | 11,3                                   | -7,2          | 25,2                                   | -0,8          |
| Marzec<br>March        | 16,6                                   | 3,6           | 10,1                                   | 3,4           | 23,0                                   | 4,9           | 56,6                                   | -1,5          |
| Kwiecień<br>April      | 34,1                                   | 9,4           | 49,9                                   | 10,8          | 29,2                                   | 9,9           | 31,8                                   | 9,0           |
| Maj<br>May             | 168,4                                  | 14,0          | 30,7                                   | 14,3          | 41,2                                   | 16,2          | 88,6                                   | 15,1          |
| Czerwiec<br>June       | 44,8                                   | 17,8          | 55,5                                   | 18,5          | 76,5                                   | 17,9          | 111,2                                  | 18,3          |
| Lipiec<br>July         | 125,7                                  | 21,2          | 382,9                                  | 18,1          | 53,6                                   | 21,2          | 33,4                                   | 19,5          |
| Sierpień<br>August     | 106,1                                  | 19,5          | 17,8                                   | 19,0          | 38,8                                   | 19,1          | 14,9                                   | 19,5          |
| Wrzesień<br>September  | 88,9                                   | 12,3          | 5,9                                    | 15,5          | 39,6                                   | 14,9          | 73,6                                   | 12,2          |
| Październik<br>October | 9,2                                    | 5,6           | 23,8                                   | 8,0           | 124,0                                  | 8,2           | 5,4                                    | 10,3          |
| Listopad<br>November   | 48,2                                   | 6,5           | 0,0                                    | 2,4           | 21,7                                   | 5,4           | 73,7                                   | 5,3           |
| Grudzień<br>December   | 34,3                                   | -4,7          | 21,3                                   | 1,8           | 24,0                                   | -3,3          | 11,0                                   | 1,4           |
| RO                     | 729,3                                  | 8,0           | 637,7                                  | 8,9           | 517,1                                  | 8,7           | 573,5                                  | 8,7           |

RO — roczna suma opadów i średnia roczna temperatura powietrza; annual amount of rainfall and average temperature

W kolejnym roku badań, tj. 2011 odnotowano obecność następujących 3 gatunków roślin wieloletnich: bylicy pospolitej (*Artemisia vulgaris* L.), kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.) i krwawnika pospolitego (*Achillea millefolium* L.) a w 2012 również 3 dalsze: koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense* L.), lepnica biała (*Silene latifolia* Poir. ssp. *alba* (Mill.) Greuter&Burdet) i ostrożeń polny (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). W osiemnastym roku od wysiewu, a ostatnim (2013) roku prowadzenia niniejszego etapu badań dotyczących kolejności i liczby gatunków pojawiających się w łanie kostrzewy trzcinowej wykorzystanej do rekultywacji metodami biologicznymi wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ścieków komunalnych, odnotowano występowanie 36 gatunków roślin, z czego 10 stanowią formy krótkotrwałe a 26 wieloletnie. Występuje tam 8 gatunków traw i 9 gatunków roślin motylkowatych, w tym 8 wieloletnich. W odniesieniu do roku poprzedniego pojawiło się w składzie botanicznym 5 nowych taksonów: trzcina pospolita (*Phragmites communis* Trin.), marchew polna (*Daucus carota* L.), cykoria podróżnik (*Cichorium intybus* L.), nostryk żółty (*Melilotus officinalis* (L.) Lam. em.

Thuill) i wrotycz pospolity (*Tanacetum vulgare* L.). Z kolei w odniesieniu do ostatniego (2009) roku z poprzedniego, również czteroletniego, cyklu badań (Klimont, Bulińska-Radomska 2010), skład gatunkowy ładu kostrzewy wzbogacił się o 15 gatunków roślin.

Tabela 2

**Zdjęcia fitosocjologiczne wykonane w lipcu i sierpniu metodą Braun-Blanqueta roślinności porastającej złoża wapna poflotacyjnego w latach 2010–2013**  
**Phytosociological pictures of flora overgrowing soilless deposit of post-flotation lime in years 2010–2013 taken in July and August by the Braun-Blanquet procedure**

| Gatunek rośliny<br>Plant species                                | Lata — Years                |             |                             |             |                             |             |                             |             |
|---|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
|   | 2010                        |             | 2011                        |             | 2012                        |             | 2013                        |             |
|   | ilościowość<br>towarzyskość |             | ilościowość<br>towarzyskość |             | ilościowość<br>towarzyskość |             | ilościowość<br>towarzyskość |             |
|   | abundance                   | sociability | abundance                   | sociability | abundance                   | sociability | abundance                   | sociability |
| 1   | 2                           | 3           | 4                           | 5           | 6                           | 7           | 8                           | 9           |
|   | I                           | II          | I                           | II          | I                           | II          | I                           | II          |
| <i>Festuca arundinacea</i><br>Schreb.                           | 5.5                         | 3.3         | 5.5                         | 3.3         | 5.5                         | 2.2         | 5.4                         | 2.1         |
| <i>Dactylis glomerata</i> L.                                    | 2.1                         | --          | 1.1                         | --          | 1.1                         | --          | 1.1                         | --          |
| <i>Calamagrostis epigeios</i><br>(L.) Roth.                     | 2.2                         | 2.2         | 2.2                         | 1.2         | 2.2                         | 1.2         | 2.2                         | 1.2         |
| <i>Agropyron repens</i> (L.)<br>P.B.                            | 2.2                         | +1          | 2.2                         | +1          | 2.2                         | +1          | 2.3                         | +1          |
| <i>Sonchus arvensis</i> L.                                      | 2.1                         | 1.1         | 2.1                         | 1.1         | 2.2                         | +1          | 2.2                         | +1          |
| <i>Viola arvensis</i> Murr.                                     | 1.2                         | --          | 1.2                         | --          | 1.3                         | --          | 1.3                         | --          |
| <i>Poa pratensis</i> L.   | 1.2                         | --          | 1.2                         | --          | 1.2                         | --          | 1.2                         | --          |
| <i>Tripleurospermum</i><br><i>inodorum</i> (L.) Schulz-<br>Bip. | 1.1                         | --          | 1.1                         | --          | 1.1                         | --          | 1.1                         | --          |
| <i>Bromus mollis</i> L.   | 1.1                         | --          | 2.1                         | --          | 2.1                         | +1          | 2.2                         | +1          |
| <i>Taraxacum officinale</i><br>Web.                             | +1                          | 1.1         | 1.1                         | 1.1         | 1.2                         | 1.1         | 1.2                         | 1.2         |
| <i>Capsella bursa pastoris</i><br>(L.) Med.                     | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          |
| <i>Erigeron canadensis</i> L.                                   | +1                          | --          | +1                          | --          | 1.1                         | --          | 1.1                         | --          |
| <i>Linearia vulgaris</i> (L.)<br>Mill.                          | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          |
| <i>Lepidium ruderale</i> L.                                     | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          |
| <i>Tussilago farfara</i> L.                                     | +1                          | 2.1         | +1                          | 2.1         | +1                          | 2.1         | +1                          | 2.2         |
| <i>Trifolium repens</i> L.                                      | +1                          | 2.1         | 1.1                         | 1.1         | 1.2                         | 1.1         | 1.2                         | 2.2         |
| <i>Poa annua</i> L.   | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          |
| <i>Lotus corniculatus</i> L.                                    | +1                          | +1          | 1.1                         | 1.1         | 1.2                         | 1.1         | 1.2                         | 1.2         |
| <i>Anthyllis vulneraria</i> L.                                  | +1                          | +1          | +1                          | +1          | +1                          | +1          | +1                          | +1          |
| <i>Medicago falcata</i> L.                                      | +1                          | +1          | +1                          | +1          | +1                          | +1          | +1                          | +1          |
| <i>Plantago lanceolata</i> L.                                   | +1                          | +1          | +1                          | +1          | 1.2                         | +1          | 1.2                         | +1          |
| <i>Sonchus asper</i> (L.) Hill.                                 | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | +1          | +1                          | --          |
| <i>Trifolium hybridum</i> L.                                    | +1                          | --          | 1.1                         | --          | 1.2                         | --          | 1.2                         | --          |
| <i>Plantago maior</i> L.  | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          |
| <i>Astragalus cicer</i> L.                                      | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          | +1                          | --          |

| 1  | 2  | 3   | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|--|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Solidago virga-aurea</i> L.                                     | .- | +1  | .- | 1.1 | .-  | 1.1 | .-  | 1.1 |
| <i>Solidago canadensis</i> L.                                      | .- | +1  | .- | 1.1 | .-  | 1.1 | .-  | 1.1 |
| <i>Trifolium pratense</i> L.                                       | .- | +1  | .- | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 |
| <i>Trifolium arvense</i> L.  | .- | +1  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Silena latifolia</i><br>Poir.ssp.alba (Mill.)<br>Greuter&Burdet | .- | +1  | .- | +1  | +1  | +1  | +1  | +1  |
| <i>Oenothera biennis</i> L.  | .- | +1  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Aremisia absinthium</i> L.                                      | .- | +1  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Salix viminalis</i> L.  | .- | 2.2 | .- | 2.2 | .-  | 2.3 | .-  | 2.3 |
| <i>Salix caprea</i> L.   | .- | 2.1 | .- | 2.1 | .-  | 2.1 | .-  | 2.1 |
| <i>Salix pentandra</i> L.  | .- | 2.1 | .- | 2.1 | .-  | 2.1 | .-  | 2.2 |
| <i>Salix purpurea</i> L.   | .- | 2.2 | .- | 2.2 | .-  | 2.2 | .-  | 2.2 |
| <i>Salix acutifolia</i> Willd.                                     | .- | +1  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Populus alba</i> L.   | .- | 2.2 | .- | 2.2 | .-  | 2.3 | .-  | 2.3 |
| <i>Populus nigra</i> L.  | .- | 2.2 | .- | 2.2 | .-  | 2.2 | .-  | 3.3 |
| <i>Populus termula</i> L.  | .- | 2.3 | .- | 2.3 | .-  | 2.3 | .-  | 2.3 |
| <i>Betula pubescens</i> Ehrh.                                      | .- | 2.1 | .- | 2.1 | .-  | 2.1 | .-  | 1.1 |
| <i>Betula verrucosa</i> Ehrh.                                      | .- | 2.1 | .- | 2.1 | .-  | 1.1 | .-  | 1.1 |
| <i>Pinus silvestris</i> L.   | .- | +1  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Quercus rubra</i> L.  | .- | +1  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Quercus robur</i> L.  | .- | +1  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Artemisia vulgaris</i> L.                                       | .- | .-  | +1 | .-  | 1.1 | .-  | 1.1 | .-  |
| <i>Festuca pratensis</i> Huds.                                     | .- | .-  | +1 | .-  | +1  | .-  | +1  | .-  |
| <i>Achillea millefolium</i> L.                                     | .- | .-  | +1 | .-  | +1  | .-  | +1  | .-  |
| <i>Medicago lupulina</i> L.  | .- | .-  | .- | +1  | .-  | +1  | .-  | 1.1 |
| <i>Cirsium arvense</i> (L.)<br>Scop.                               | .- | .-  | .- | +1  | +1  | +1  | +1  | 1.1 |
| <i>Phragmites communis</i><br>Trin.                                | .- | .-  | .- | +1  | .-  | 1.1 | .-  | 1.1 |
| <i>Astragalus glycyphyllos</i><br>L.                               | .- | .-  | .- | .-  | .-  | +1  | +1  | +1  |
| <i>Vicia tetrasperma</i> (L.)<br>Schreb.                           | .- | .-  | .- | .-  | .-  | +1  | .-  | +1  |
| <i>Daucus carota</i> L.  | .- | .-  | .- | .-  | .-  | +1  | +1  | +1  |
| <i>Solidago serotina</i> Ait.                                      | .- | .-  | .- | .-  | .-  | +1  | .-  | 1.1 |
| <i>Cichorium intybus</i> L.  | .- | .-  | .- | .-  | .-  | .-  | +1  | .-  |
| <i>Melilotus officinalis</i> (L.)<br>Lam. em. Thuill.              | .- | .-  | .- | .-  | .-  | .-  | +1  | .-  |
| <i>Tanacetum vulgare</i> L.  | .- | .-  | .- | .-  | .-  | .-  | +1  | .-  |
| <i>Glechoma hederacea</i> L.                                       | .- | .-  | .- | .-  | .-  | .-  | .-  | +1  |
| <i>Oxalis acetosella</i> L.  | .- | .-  | .- | .-  | .-  | .-  | .-  | +1  |

I — doświadczenie I; experiment I

II — doświadczenie II; experiment II

Prowadzone badania wykazały, że kostrzewa trzcinowa najbardziej ze wszystkich traw nadaje się do biologicznej rekultywacji bezglebowych gruntów ze względu na bardzo silny system korzeniowy oraz wytrzymałość na suszę i zaskorupianie podłoża, co potwierdzają wyniki pracy Górala i Sybilskiej (2000). Także prace Klimonta (Klimont 2007; Klimont, Bulińska-Radomska, 2008, Klimont, 2012) wykazały, że gatunek ten znakomicie się rozwija na podłożu wapna poflotacyjnego wytwarzając liczne pędy generatywne, tworząc

zwartą ruń. Jest też stosowany najczęściej na tereny pogórnice kopalń węgla kamiennego (Olszewski, 2009). W miejsce niewielkich ubytków i wypadnięć zwartej runi kostrzewy wchodzi perzu właściwy, który ze względu na silne rozłogi mogące sięgać w głąb podłoża, dobrze znosi ekstremalne warunki siedliska, także trzcinnik piaskowy — roślina pionierska w sukcesji naturalnej w zasadzie rozwija się na każdym podłożu oraz z dwuliściennych mleczu polny. Udział kupkówki pospolitej powoli maleje w kolejnych latach badań na korzyść perzu właściwego, stokłosa miękkiej i mleczu polnego. Ten ostatni ma silny, rozgałęziony korzeń z odrostami do tworzenia nowych roślin. Obserwuje się wzrost liczby gatunków roślin motylkowatych z 6 w pierwszym roku badań do 9 w ostatnim czwartym roku. Ze względu na silny palowy system korzeniowy i możliwość wiązania wolnego azotu z powietrza długo utrzymują się w runi, co jest zgodne z doniesieniami Górala (2001). Mniej licznie występowały fiołek polny (*Viola arvensis* Murr.), wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.) i maruna bezwonna (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Schulz. Bip.), pozostałe gatunki występowały pojedynczo wykazując znikome pokrycie.

Na powierzchnię nie obsianą i nie obsadzoną żadnymi roślinami oraz pozostawioną bez jakichkolwiek zabiegów agrotechnicznych wkroczyła roślinność zielna oraz drzewiasta w procesie sukcesji naturalnej (tab. 2). Wyniki badań przeprowadzonych latem 2010 roku pokazały, że zasiedlało go 31 gatunków roślin, z czego 18 stanowiła roślinność zielna, a w niej 3 gatunki traw, wśród nich dominowała kostrzewa trzcinowa, mniejszy udział stanowił trzcinnik piaskowy, a rośliny perzu występowały pojedynczo. Wśród gatunków dwuliściennych obficie występowały rośliny koniczyny białej i podbiału pospolitego, a dość obficie mleczu polnego i mniszka pospolitego, stwierdzono również obecność pojedynczych roślin komonicy różkowej, przelotu pospolitego, lucerny sierpowatej, babki lancetowatej, nawłoci kanadyjskiej i pospolitej, koniczyny łąkowej i polnej, lepnicy białej, wiesiołka dwuletniego i bylicy piołunu. Wśród drzew dominowały wierzby, głównie wiciowa (*Salix viminalis* L.), iwa (*Salix caprea* L.), pięciopęcikowa (*Salix pentandra* L.), purpurowa (*Salix purpurea* L.) i pojedynczo ostrolistna (*Salix acutifolia* Willd.) a także topole: biała (*Populus alba* L.), czarna (*Populus nigra* L.), osika (*Populus tremula* L.) i brzozy: omszona (*Betula pubescens* Ehrh.) i brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), obserwowano także pojedyncze egzemplarze sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.), dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) i szypułkowego (*Quercus robur* L.). Pojedyncze osobniki topól i brzoź sięgały nawet do 10 m wysokości. W porównaniu do ostatniego (2009) roku poprzedniego etapu badań (Klimont, Bulińska-Radomska 2010) przybyło 5 gatunków roślin zielnych i 1 gatunek drzewa. W drugim roku prowadzenia doświadczenia obserwowano pojawienie się nowych wieloletnich gatunków roślinności zielnej: lucerny nerkowatej (*Medicago lupulina* L.), ostrożnia polnego (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) i trzciny pospolitej (*Phragmites communis* Trin.). Wiosną 2012 w trzecim roku badań znaleziono nowe pojedyncze gatunki roślinności zielnej: traganka szerokolistnego (*Astragodus glycyphyllos* L.), wyki czteronasiennej (*Vicia tetrasperma* (L.) Schreb.), marchwi polnej (*Daucus carota* L.) i nawłoci pospolitej (*Selidago serotina* Ait.). W czwartym (2013) roku prowadzenia obserwacji stwierdzono pojawienie się pojedynczych egzemplarzy 2 nowych gatunków roślin: bluszczyka kurdybanka (*Glechoma hederacea* L.) i szczawiku zajęczego (*Oxalis acetosella* L.). Odnotowano również dynamiczne zmiany w



liczebności osobników zasiedlających badaną powierzchnię. Wśród roślinności zielnej maleje udział w runi kostrzewy trzcinowej i trzcinika piaskowego, znikomy jest też udział perzu właściwego, na korzyść wieloletnich roślin dwuliściennych: mniszka lekarskiego (*Taraxacum officinale* Web.), podbiału pospolitego (*Tussilago farfara* L.), koniczyny białej (*Trifolium repens* L.), komonicy zwyczajnej (*Lotus corniculatus* L.), nawłoci pospolitej (*Solidago virga aurea* L.), kanadyjskiej (*Solidago canadensis* L.) i późnej (*Solidago serotina* Ait.), lucerny nerkowatej i trzciny pospolitej. Wśród drzew dominują wierzby i topole, maleje udział światłolubnych brzoź omszonej i brodawkowatej, a ich większe skupiska utrzymują się na obrzeżach doświadczenia, gdzie jest większy dostęp światła, natomiast osobniki sosny zwyczajnej, dębu czerwonego i szypułkowego występują pojedynczo. W ostatnim roku badań a osiemnastym od czasu pozostawienia go bez jakichkolwiek zabiegów pratotechnicznych zaobserwowano występowanie 41 gatunków roślin, w tym 28 gatunków roślinności zielnej i 13 gatunków drzew. Wśród roślinności zielnej zdecydowaną większość stanowiły rośliny wieloletnie, w tym 4 gatunki trwałych traw. W porównaniu do pierwszego roku niniejszych badań zaobserwowano wzbogacenie składu botanicznego doświadczenia o 10 nowych gatunków roślinności zielnej z 18 do 28 taksonów, natomiast liczba roślinności drzewiastej nie uległa zmianie. Natomiast porównując skład botaniczny obserwowany w ostatnim roku niniejszych badań (2013) do pierwszego (2006) roku poprzedniego cyklu badań, w ciągu ośmiu lat prowadzenia doświadczenia liczba gatunków występujących na doświadczeniu wzrosła prawie 2,5 krotnie z 17 do 41 (Klimont, Bulińska-Radomska, 2010), przy czym należy zaznaczyć, że był to zdecydowany wzrost liczby gatunków roślin zielnych z 7 do 28 taksonów a przybyły tylko 3 gatunki drzew. W okresie wiosny na doświadczeniu z kostrzewą trzcinową pojawiły się liczne gatunki typowych chwastów polnych: rogownica pospolita (*Cerastium vulgatum* L.), kurzyślad polny (*Anagallis arvensis* L.), przetacznik trójlistkowy (*Veronica triphyllos* L.), a na terenie podlegającym sukcesji naturalnej tobołki polne (*Thlaspi arvense* L.), przetacznik bluszczykowy (*Veronica hederifolia* L.), nawrot polny (*Lithospermum arvense* L.), których nie obserwowano już w lipcu i czerwcu, podobnie jak w poprzednim cyklu badań.

Porównując skład botaniczny i liczbę gatunków zasiedlających obydwie doświadczenia obserwuje się wyraźne różnice. Doświadczenie polegające na sukcesji naturalnej zasiedla 41 gatunków roślin, z czego 28 stanowią rośliny zielne a 13 roślinność drzewiasta. Natomiast doświadczenie obsiane kostrzewą trzcinową porasta 36 gatunków tylko roślinności zielnej, co wynika z corocznego jesiennego wykaszania pielęgnacyjnego ładu utrudniającego rozwój roślinności drzewiastej. Liczba gatunków zasiedlających tereny sukcesji naturalnej jest wyższa w porównaniu do terenów obsianych podobnie jak w poprzednim cyklu badań (Klimont, Bulińska-Radomska, 2010). O tempie sukcesji roślinnej, ale w odniesieniu do odłogów gruntów ornych donosi Kostuch (2003) wykazując, że jest ona szybsza w górach i tam w początkowym stadium dominują trawy, a na niżej trwa ona dłużej i dominują rośliny dwuliścienne. Natomiast Łabza i in. (2004) podają, że na odłogowanych gruntach z każdym rokiem stają się one bogatsze w gatunki i w tym czasie maleje liczba taksonów krótkotrwałych a rośnie wieloletnich podobnie jak w niniejszych badaniach prowadzonych na rekultywowanym podłożu. Także badania

Podstawki-Chmielewskiej i in. (2004) wykazały, że skład florystyczny zbiorowiska występującego na odłogowanym polu zmierza w kierunku przewagi gatunków wieloletnich i wraz z wiekiem odłogu pojawiają się większa liczba gatunków drzew, podobnie jak w niniejszym doświadczeniu na rekultywowanych terenach sukcesji spontanicznej. Tereny po otworowej eksploatacji siarki są bardziej zdewastowane i trudniejsze do rekultywacji niż te po kopalniach odkrywkowych (Levyk, Brzezińska, 2007). Prace Podymy (1995, materiały niepublikowane), Majtkowskiego i in. (1996), Górala (2001), Klimonta (2007), Klimonta i Bulińskiej-Radomskiej (2008) wykazały pionierską rolę trzcinnika piaskowego na gruntach bezglebowych wapna poflotacyjnego, dominuje on w łanie, szczególnie w miejscach usłonecznionych, a ustępuje, kiedy na obszar wkracza roślinność drzewiasta, podobnie jak w przedmiotowych badaniach. Z traw także kostrzewa trzinowa charakteryzowała się największym udziałem na terenie doświadczenia opisującego proces sukcesji naturalnej. Jest ona gatunkiem pionierskim w rekultywacji terenów przemysłowych osadników szlamów posodowych (Boroń i in., 2000), składowisk popiołów paleniskowych (Klimont, Bulińska-Radomska, 2009; Klimont i in., 2014; Góral, Rola, 2001), składowisk odpadów komunalnych (Klimont, Bulińska-Radomska, 2010; Klimont i in., 2013), a także do ochrony i rekultywacji gruntów (Góral, 2001). Z drzew dominowały wierzby — 5 gatunków i topole — 3 gatunki, w mniejszym stopniu brzozy.

Boroń i in. (2000) donosi, że na kompleks stawów osadowych posodowych o wysokim pH wkracza w procesie naturalnej sukcesji roślinność drzewiasta: brzozy, topole, wierzby, tworząc skupiska na tle innych pojedynczych gatunków drzew. Te same gatunki drzew, a dodatkowo z traw kostrzewa trzinowa i stokłosa bezostna stosowane są do rekultywacji terenów pokopalnianych węgla kamiennego (Olszewski, 2009). Również topole, wierzby i brzozy jako gatunki pionierskie pojawiły się na wierzchowinie składowiska popiołów paleniskowych, co pokazały prace Klimonta i Bulińskiej-Radomskiej (2009) i Klimonta i in. (2014). Inne badania pokazały, że wybrane gatunki i mieszańce wierzby bardzo dobrze rozwijają się na bezglebowym gruncie wapna poflotacyjnego użyźnionego osadem ściekowym a ich udatność przyjęć i przeżywalność w tak ekstremalnych warunkach zależy od doboru odpowiedniej formy tej rośliny (Klimont, 2007; Klimont, Bulińska-Radomska, 2010). Na podłożu, gdzie wysiano kostrzewę trzinową w pierwszych latach po siewie odnotowano pojawienie się roślinności trawiastej: wiechlina rocznej, stokłosa miękkiej i trzcinnika piaskowego, z kolei na gruncie podlegającym sukcesji spontanicznej: przymiotna kanadyjskiego, pieprzycy gruzowej, a w następnej kolejności traw: trzcinnika piaskowego, perzu właściwego i kostrzewy trzinowej (Podyma 1996–1998, materiały niepublikowane).

Wapno poflotacyjne (szlamy poflotacyjne), którym pokryte są tereny posiarkowe, jest odpadem przemysłowym pozbawionym życia biologicznego gwarantującego uruchomienie procesów glebotwórczych. Dlatego wprowadzenie do podłoża osadów ściekowych zainicjowało te procesy w martwym podłożu i wraz z porastającą roślinnością wpłynęło na utworzenie poziomu organiczno-próchnicznego gromadzącego przyswajalne formy składników pokarmowych P, K i Mg (Klimont i in., 2002; Klimont, 2011). Wyniki analiz próbek gruntu, na którym prowadzono doświadczenie pokazały, że zawiera on dostatecznie wysoką zawartość wszystkich makroelementów do wzrostu i rozwoju

porastających go roślin. Odnotowano zdecydowanie wyższą zawartość wszystkich badanych składników w podłożu pobranym spod roślinności porastającej doświadczenie, na którym wysiano kostrzewę trzcinową (tab. 3) w stosunku do podłoża podlegającego sukcesji naturalnej — doświadczenie II. Różnice te występowały w każdym roku badań, jak też przy porównaniu średnich wartości za czteroletni cykl badań. W porównaniu do poprzedniego cyklu badań (Klimont, Bulińska-Radomska, 2010) obserwuje się wzrost zawartości przyswajalnego P w podłożu na obydwu doświadczeniach i obydwu poziomach glebowych, spadek zawartości przyswajalnego K także na obydwu doświadczeniach i w każdym poziomie oraz wzrost zawartości Mg, ale tylko w poziomie organiczno-próchnicznym. Nastąpił również wzrost materii organicznej w poziomie organiczno-próchnicznym doświadczenia I i obydwu poziomach glebowych doświadczenia II. Wprowadzenie do wapiennego podłoża osadów ściekowych wraz z porastającą roślinnością wpłynęło na niewielkie, ale zauważalne obniżenie jego pH w obydwu poziomach glebowych na obydwu doświadczeniach, przy czym spadki te w poziomie organiczno-próchnicznym są większe niż głębiej (tab. 3). Zmiany pH podłoża skutkują zmianami flory w kolejnych latach badań (tab. 2, 3). Badania procesów glebotwórczych, które zachodzą w tworzących się glebach terenów poeksploatacyjnych mogą pozwolić na poznanie związków między stadium sukcesji pierwotnej szaty roślinnej a fizycznymi, fizyczno-chemicznymi właściwościami gleb powstających na terenach poeksploatacyjnych (Levyk, Brzezińska, 2007).

Tabela 3

**Zawartość składników pokarmowych i materii organicznej w złożu wapna poflotacyjnego oraz w materiale roślinnym pobranym z tego podłoża (2010–2013)**  
**Contents of nutrients and organic matter in the post-flotation lime and plant material (2010–2013)**

| Gatunek rośliny<br>Plant species | Głębokość pobierania<br>Depth (cm) | Cechy Traits                       |      |      |      |           |                          |      |      |      |           |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------|------|------|-----------|--------------------------|------|------|------|-----------|
|                                  |                                    | podłoże — substrate                |      |      |      |           | substrate                |      |      |      |           |
|                                  |                                    | pH [w 1n KCl]                      |      |      |      |           | P [mg·kg <sup>-1</sup> ] |      |      |      |           |
|                                  |                                    | 2010                               | 2011 | 2012 | 2013 | $\bar{x}$ | 2010                     | 2011 | 2012 | 2013 | $\bar{x}$ |
| Kontrola<br>Control              | OA                                 | 7,60                               | 7,50 | 7,40 | 7,30 | 7,40      | 12,3                     | 11,4 | 10,9 | 5,7  | 10,1      |
|                                  | C                                  | 7,60                               | 7,20 | 7,30 | 7,40 | 7,40      | 10,4                     | 6,3  | 7,2  | 4,8  | 7,2       |
| I                                | OA                                 | 7,00                               | 7,20 | 7,20 | 7,30 | 7,18      | 62,8                     | 61,0 | 84,1 | 22,2 | 57,5      |
|                                  | C                                  | 7,30                               | 7,30 | 7,30 | 7,40 | 7,32      | 18,7                     | 14,4 | 41,2 | 9,20 | 20,9      |
| II                               | OA                                 | 7,10                               | 7,10 | 7,10 | 7,20 | 7,12      | 57,9                     | 50,6 | 55,8 | 20,5 | 46,2      |
|                                  | C                                  | 7,30                               | 7,20 | 7,30 | 7,30 | 7,28      | 22,2                     | 14,8 | 18,7 | 13,9 | 17,4      |
| NIR $\alpha$ = 0,05              |                                    | r.n.                               | r.n. | r.n. | r.n. | r.n.      | 8,48                     | 8,48 | 8,48 | 8,48 | 5,98      |
| LSD $\alpha$ = 0,05              |                                    | n.s.                               | n.s. | n.s. | n.s. | n.s.      |                          |      |      |      |           |
| X                                |                                    | Materiał roślinny — Plant material |      |      |      |           |                          |      |      |      |           |
|                                  |                                    | Ca [g·kg <sup>-1</sup> ]           |      |      |      |           | P [g·kg <sup>-1</sup> ]  |      |      |      |           |
|                                  |                                    | 2010                               | 2011 | 2012 | 2013 | $\bar{x}$ | 2010                     | 2011 | 2012 | 2013 | $\bar{x}$ |
| I                                |                                    | 3,64                               | 4,06 | 4,54 | 4,60 | 4,21      | 2,76                     | 3,29 | 3,68 | 2,10 | 2,96      |
| II                               |                                    | 3,24                               | 6,73 | 5,59 | 3,68 | 4,81      | 2,19                     | 4,55 | 3,45 | 2,84 | 3,26      |
| NIR $\alpha$ = 0,05              |                                    | r.n.                               | 1,42 | r.n. | r.n. | r.n.      | r.n.                     | 1,05 | r.n. | r.n. | r.n.      |
| LSD $\alpha$ = 0,05              |                                    | n.s.                               |      | n.s. | n.s. | n.s.      | n.s.                     |      | n.s. | n.s. | n.s.      |

| Gatunek rośliny<br>Plant species | Głębokość pobierania<br>Depth (cm) | Cechy<br>Traits                     |       |       |       |           |                           |      |      |      |           |  |       |       |       |           |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-----------|---------------------------|------|------|------|-----------|--|-------|-------|-------|-----------|
|                                  |                                    | podłoże — substrate                 |       |       |       |           |                           |      |      |      |           |  |       |       |       |           |
|                                  |                                    | K [mg·kg <sup>-1</sup> ]            |       |       |       |           | Mg [mg·kg <sup>-1</sup> ] |      |      |      |           | materia organiczna<br>organic matter [g·kg <sup>-1</sup> ] |       |       |       |           |
|                                  |                                    | 2010                                | 2011  | 2012  | 2013  | $\bar{x}$ | 2010                      | 2011 | 2012 | 2013 | $\bar{x}$ | 2010   | 2011  | 2012  | 2013  | $\bar{x}$ |
| Kontrola<br>Control              | OA                                 | 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       |
|                                  | C                                  | 12,4                                | 15,7  | 5,2   | 8,3   | 10,4      | 14,0                      | 9,0  | 14,0 | 11,0 | 12,0      | 2,3  | 4,2   | 3,8   | 2,0   | 3,3       |
| I                                | OA                                 | 53,1                                | 84,7  | 78,0  | 68,1  | 71,0      | 30,0                      | 30,0 | 22,0 | 24,0 | 26,5      | 65,6   | 41,4  | 56,5  | 77,5  | 60,2      |
|                                  | C                                  | 33,2                                | 37,9  | 39,1  | 18,3  | 32,1      | 14,0                      | 20,0 | 12,0 | 11,0 | 14,2      | 12,6   | 9,2   | 7,8   | 8,7   | 9,6       |
| II                               | OA                                 | 49,8                                | 64,7  | 55,6  | 57,2  | 56,8      | 24,9                      | 20,0 | 21,0 | 14,1 | 20,0      | 56,1   | 33,6  | 23,7  | 57,9  | 42,8      |
|                                  | C                                  | 34,0                                | 29,9  | 28,7  | 27,4  | 30,0      | 14,9                      | 13,0 | 14,0 | 10,0 | 13,0      | 7,7  | 8,9   | 8,8   | 7,3   | 8,2       |
| NIR $\alpha$ = 0,05              |                                    | 7,50                                | 7,50  | 7,50  | 7,50  | 5,42      | 6,10                      | 6,10 | 6,10 | 6,10 | 4,51      | 10,28  | 10,28 | 10,28 | 10,28 | 6,94      |
| LSD $\alpha$ = 0,05              |                                    |                                     |       |       |       |           |                           |      |      |      |           |  |       |       |       |           |
|                                  |                                    | Materiał roślinny<br>Plant material |       |       |       |           |                           |      |      |      |           |  |       |       |       |           |
|                                  |                                    | K [g·kg <sup>-1</sup> ]             |       |       |       |           | Mg [g·kg <sup>-1</sup> ]  |      |      |      |           |  |       |       |       |           |
|                                  |                                    | 2010                                | 2011  | 2012  | 2013  | $\bar{x}$ | 2010                      | 2011 | 2012 | 2013 | $\bar{x}$ |  |       |       |       |           |
| I                                |                                    | 17,2                                | 15,69 | 31,70 | 14,90 | 19,87     | 1,30                      | 1,35 | 1,26 | 1,20 | 1,28      |  |       |       |       |           |
| II                               |                                    | 15,5                                | 17,81 | 32,56 | 13,60 | 19,87     | 1,56                      | 1,22 | 1,52 | 1,40 | 1,42      |  |       |       |       |           |
| NIR $\alpha$ = 0,05              |                                    | r.n.                                | r.n.  | r.n.  | r.n.  | r.n.      | r.n.                      | r.n. | r.n. | r.n. | r.n.      |  |       |       |       |           |
| LSD $\alpha$ = 0,05              |                                    | n.s.                                | n.s.  | n.s.  | n.s.  | n.s.      | n.s.                      | n.s. | n.s. | n.s. | n.s.      |  |       |       |       |           |

OA — poziom organiczno-próchniczny; organic humus level

C — poziom skały macierzystej; bedrock level

r.n. / n.s — różnica nieistotna; not significant difference

Mogą być one przydatne w czasie rekultywacji biologicznej z zastosowaniem wybranych gatunków roślin obszarów poeksploatacyjnych Kopalni Siarki „Jeziórko”.

#### WNIOSKI

1. Ukształtowana w wyniku osiemnastoletniej sukcesji szata roślinna charakteryzuje się dość dużą bioróżnorodnością, tereny obsiane kostrzewą trzcinową zasiedla 36 gatunków roślin zielnych a teren poddany sukcesji naturalnej 41 gatunków, w tym 13 drzew.
2. W łąnie kostrzewy trzcinowej rośnie udział traw: perzu właściwego, trzcinnika piaskowego i stokłosa miękkiej, a udział kupkówki pospolitej maleje, z dwuliściennych wzrasta udział mlecza polnego, fiołka polnego, mniszka pospolitego i babki lancetowatej oraz liczba gatunków roślin motylkowatych.
3. Na gruncie podlegającym sukcesji spontanicznej wśród roślinności zielnej maleje udział kostrzewy trzcinowej, trzcinnika piaskowego i perzu właściwego na korzyść wieloletnich roślin dwuliściennych m.in.: mniszka lekarskiego, podbiału pospolitego, koniczyny białej oraz nawłoci pospolitej, kanadyjskiej i późnej. Wśród drzew dominują gatunki wierzby i topoli, maleje natomiast udział światłolubnej brzozy omszonej i brodawkowatej a okazy dębu szypułkowatego i czerwonego oraz sosny zwyczajnej występują pojedynczo.
4. Osady ściekowe oraz system korzeniowy porastającej roślinności intensyfikują w złożu wapna poflotacyjnego procesy glebotwórcze. Odnotowano zdecydowany wzrost

zawartości materii organicznej oraz przyswajalnych P, K i Mg w próbkach pobranych spod roślinności porastającej powierzchnie obydwu doświadczeń w porównaniu do wariantu kontrolnego, jednocześnie zawartość tych składników jest istotnie wyższa w podłożu obsianym kostrzewą trzcinową w stosunku do tej, która podlega sukcesji spontanicznej.

#### LITERATURA

- Bajor P., Bulińska-Radomska Z., Klimont K., Osińska A. 2014. Ocena rozwoju roślinności na składowisku popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ściekowym. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2 (84): 51 — 61.
- Boroń K., Zając E., Klatka S. 2000. Rekultywacja terenu składowiska odpadów KZS „SOLVAY” w Krakowie. *Inżynieria Ekologiczna* nr 1, PTIE Baranów Sandomierski: 58 — 64.
- Gołda T. 2007. Wykorzystanie szlamów poflotacyjnych rudy siarkowej do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w górnictwie otworowym siarki. *Inżynieria Ekologiczna* nr 19, PTIE Warszawa: 79 — 88.
- 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 Bydgoszcz: 146 — 150.
- Góral S., Sybilska A. 2000. Przydatność polskich odmian hodowlanych (*Festuca arundinacea* Schreb.) do rekultywacji gruntów zdewastowanych. *Łąkarstwo w Polsce* 3, Poznań: 199 — 204.
- Greszta I., Morawski S. 1980. Zagospodarowanie popiołów dla renowacji środowiska naturalnego. PAN Oddz. Kraków: 56 ss.
- Jońca M. 2000. Zastosowanie osadów ściekowych do rekultywacji gruntów Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Inżynieria Ekologiczna* nr 1, PTIE Baranów Sandomierski: 27 — 36.
- Klimont K. 2007. Ocena przydatności wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2(56): 27 — 36.
- Klimont K. 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 51 — 61.
- Klimont K. 2012. Ocena przydatności topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.) i kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.) do rekultywacji bezglebowego podłoża wapna poflotacyjnego użyźnionego osadem ściekowym. *Biul. IHAR* 265: 89 — 97.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2009. Badanie rozwoju wybranych gatunków do umacniania składowisk popiołów paleniskowych z elektrociepłowni. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2/2009: 135 — 145.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2010. Ocena przydatności wybranych gatunków roślin miododajnych oraz różnych form *Salix* spp. do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł siarkowy. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* z. 555: 517 — 528.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2010. Sukcesja roślin na terenach poeksploatacyjnych Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Biul. IHAR* 257/258: 29 — 37.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013. Możliwość wykorzystania wybranych roślin miododajnych do rekultywacji terenów po eksploatacji siarki. *Polish Journal of Agronomy* 12, Puławy: 17 — 25.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Osińska A., Bajor P. 2013. Kształtowanie się składu gatunkowego roślin wprowadzonych i spontanicznie zasiedlających użyźnione składowisko odpadów komunalnych. *Biul. IHAR* 270: 109 — 121.
- Klimont K., Góral S., Jońca M. 2002. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na podłożu wapna poflotacyjnego. *Biul. IHAR* 223/224: 415 — 425.
- Kostuch R. 2003. Sukcesja roślinna na odłogowanych gruntach ornym. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* t. 3 z.2(8): 57 — 78.
- Levyk V., Brzezińska M. 2007. Stan środowiska glebowego na terenie byłej Kopalni Siarki „Jaworów” (Ukraina) i „Machów” (Polska) w świetle aktualnych badań. *Acta Agrophisica* 10(1): 149 — 157.

- Łabza T., Hochół E., Stupnicka-Rodzinkiewicz E. 2004. Zmiany sukcesyjne roślinności pól wyłączonych z uprawy. „Sukcesja wtórna roślinności na gruntach porolnych”. XXVIII Krajowa Konferencja Naukowa z cyklu „Rejonizacja chwastów segetalnych w Polsce”. UW-M Olsztyn 8-10.07.2004: 7.
- Majtkowski W., Podyma W., Góral S. 1996. Gatunki roślin do rekultywacji terenów zdegradowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną, w: Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródło energii. SGGW, Warszawa: 136 — 148.
- Martyn W., Buczek Z., Jońca M., Sowińska J. 2001. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji terenów pogórnicych w Kopalni Siarki „Jeziórko”. Inżynieria Ekologiczna nr 3, PTIE Bydgoszcz: 99 — 105.
- Olszewski P. 2009. Funkcje użytkowe szaty roślinnej na terenach likwidowanych kopalni węgla kamiennego w zagłębiu dąbrowskim i ich wykorzystanie w procesie rekultywacji. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i środowisko 3: 89 — 111.
- Podstawka-Chmielewska E., Pałys E., Kurus I. 2004. Sukcesja roślinna w czasie 10-letniego odłogowania gruntów ornych na glebie lekkiej. „Sukcesja wtórna roślinności na gruntach porolnych”. XXVIII Krajowa Konferencja Naukowa z cyklu „Rejonizacja chwastów segetalnych w Polsce”. UW-M Olsztyn 8-10.07.2004: 36.
- Siuta J., Jońca M. 1997. Rekultywacyjne działanie osadu ściekowego na wapnie poflotacyjnym w Kopalni Siarki „Jeziórko”. Mat. konf. „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”, IOŚ Puławy-Lublin-Jeziórko 26–28 V 1997: 39 — 48.
- Wiśniewska-Kielian B., Lipiński W. 2007. Ocena składu chemicznego roślin. Oddz. Krakowski PTIE, Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza — Kraków-Warszawa-Wrocław: 57 ss.