

**KRZYSZTOF KLIMONT**<sup>1</sup>**STANISŁAW GÓRAL**<sup>1</sup>**MAREK JOŃCA**<sup>2</sup><sup>1</sup> Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Radzików

<sup>2</sup> Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych, Jeziorko

## Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na podłożu wapna poflotacyjnego

### The effectiveness of sewage sludge in soil recovery on flotation tilling tips

Badano wpływ stosowania zróżnicowanych dawek osadu ścieków komunalnych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego Kopalni Siarki „Jeziorko” w zależności od gatunku roślin rekultywacyjnych, a także wzrost wierzby wiciowej na tym podłożu. Bezglebowe grunty (wapno poflotacyjne) nawieziono osadami ścieków komunalnych w ilościach 250, 500 i 750 m<sup>3</sup>/ha i nawożono nawozami mineralnymi. Na podłożu tym wysadzono bulwy topinamburu i wysiano nasiona kostrzewy trzcinowej. Na podłożu wzbogaconym dawką 250 m<sup>3</sup>/ha osadu wysiano ponadto kostrzewę łąkową w mieszance z życią trwałą, koniczyną łąkową i lucerną mieszańcową. Corocznie ruń kostrzewy trzcinowej, mieszanki traw oraz traw z roślinami motylkowymi wykaszano, lub wypasano bydłem, a zeschnięte pędy topinamburu wiosną wykaszano i rozdrabniano. Również na wapnie poflotacyjnym wzbogaconym 100 m<sup>3</sup>/ha osadów oraz resztkami pożywnymi i słomą z żyta (przedplon) założono plantację wierzby wiciowej. W pobranych próbkach podłoża określono skład granulometryczny, zawartość przyswajalnego P, K i Mg, pH oraz zawartość materii organicznej. Stwierdzono, że wszystkie dawki osadów ściekowych wniesione do podłoża wapiennego powodują widoczny przyrost materii organicznej oraz wzrost zawartości przyswajalnych związków P, K i Mg. Wysokie dawki osadu ściekowego w połączeniu z masą organiczną topinamburu wpływają najsilniej na procesy glebotwórcze podłoża wapiennego, poprzez tworzenie się znacznego poziomu organiczno-próchnicznego i zwiększenie zawartości składników mineralnych P, K i Mg. Wolniej ten proces przebiega w przypadku kostrzewy trzcinowej, a najwolniej gdy wzbogacone osadem ściekowym wapno porasta mieszanka traw i trawy z roślinami motylkowymi. Wierzba wiciowa bardzo dobrze rośnie na pokładach wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ściekowym oraz resztkami pożywnymi przedplonu i rozdrobnioną słomą. Stan słabo rosnących i wypadających roślin wikliny na części plantacji wydaje się, że nie zależy od niskiej zawartości podłoża w składniki mineralne ale od innych czynników. Skład mechaniczny podłoża jest mocno zróżnicowany, ale minimalnie wpływa na zasobność podłoża w materię organiczną i przyswajalne P, K i Mg. W wierzchniej warstwie podłoża wapiennego procesy glebotwórcze przebiegają intensywniej i zawiera ona kilkakrotnie więcej materii organicznej i składników mineralnych w porównaniu z poziomem podpróchnicznym.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, podłoże bezglebowe, proces glebotwórczy, rekultywacja terenów pogórniczych, skład mechaniczny gleby, wapno poflotacyjne

The effect of different doses of thickened municipal sludge fertilization on initiation and intensity of soil formation process on a tip of flotation tilling from sulphur mine at Jeziórko (south-east of Poland was studied) in relation to a species of reclamation plant. The growth of *Salix viminalis* was a separate aspect of the research. The tip of flotation tilling was fertilized with sewage sludge at the amount of 250; 500 and 750 m<sup>3</sup>/ha together with mineral NKP fertilization. Next tubers of *Helianthus tuberosus* or seed of *Festuca arundinacea* were planted. On flotation tilling enriched additionally with 250 m<sup>3</sup>/ha of thickened municipal sludge, *Festuca pratensis* was planted in mixture with *Lolium perenne*, *Trifolium pratense*, and *Medicago varia*. The canopy of *Festuca arundinacea* and mixtures of grasses were cut or fed to cattle, however dried shoots of *Helianthus tuberosus*, were cut and crushed and left over early in spring. Prior to setting up the plantation of *Salix viminalis* the tip of flotation tilling was fertilized with 100 m<sup>3</sup>/ha of municipal sludge together with post-harvest residues of preceding crop (rye). In the collected soil samples soil texture, pH and content of P, K, Mg and organic matter were determined. It was found that all doses of municipal sludge applied to flotation tilling caused clear increase of organic matter content and concentration of P, K, Mg. The highest doses of municipal sludge together with organic matter from *Helianthus tuberosus* influenced most efficiently the soil formation process, formation of humus layer and accumulation of the mineral ingredients was most intense. *Salix viminalis* grew well on flotation tilling fertilized with municipal sludge together with post harvest residues of rye straw. Weak or dead basket willow plants found on a part of the plantation seem to be caused by other factors than the lack of nutrients in soil. Mechanical composition of ground was much differentiated, but it had almost no effect on organic matter and P, K, Mg contents. In the surface layer of the flotation tilling the process of soil recovery was more intensive and this layer contained more organic matter and minerals than the lower one.

**Key words:** flotation tilling, post-mining reclamation, sewage sludge, soil forming process, soil texture

#### WSTĘP

Eksploatacja złóż siarki w kopalniach okolic Tarnobrzega spowodowała zniekształcenia budowy geologicznej, urzeźbienia terenu oraz zmianę warunków hydrogeologicznych, przyczyniają się do degradacji dużych obszarów gruntów wcześniej użytkowanych rolniczo. Silne zasiarczenie terenu zniszczyło szatę roślinną i życie biologiczne gleby, a zakwaszenie gleb kształtowało się poniżej pH 4,0. Na tych terenach występują również obszary, gdzie zakwaszenie sięga nawet pH 2,5 (obszar górniczy, będącej w likwidacji Kopalni Siarki „Grzybów”). Także wapno poflotacyjne, wykorzystywane w pracach neutralizacyjnych i niwelacyjnych terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki jest pozbawione życia biologicznego. Zainicjowanie procesów glebotwórczych na niwelowanych terenach z użyciem odpadów pokopalnianych jest największym problemem, ponieważ wapno poflotacyjne jest tylko martwym podłożem, na którym wskutek odpowiednich zabiegów mogą być zainicjowane procesy glebotwórcze, umożliwiające wegetację roślinności.

Rekultywacja terenów pokopalnianych, po otworowej eksploatacji siarki, jest zagadnieniem trudnym i złożonym. W procesie eksploatacji siarki zachodzą przekształcenia chemiczne, geomechaniczne i hydrologiczne (Puka, 1991). Rekultywacja gruntów po otworowej eksploatacji siarki (wg Łackiej-Pilaszek i Siuty, 1991) polega na: likwidacji otworów eksploatacyjnych, technicznej rekultywacji gruntu, uregulowaniu warunków gruntowo-wodnych, zneutralizowaniu kwasowości gruntów, użyznieniu mineralnym i organicznym rekultywowanych gruntów, i w końcowej fazie, wprowadzenia odpowiednich

roślin pionierskich. Rozpoczęty w 1995 roku program pilotażowo-wdrożeniowy przewidywał zastosowanie osadu ściekowego z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli do rekultywacji biologicznej wapna poflotacyjnego zdeponowanego na polu poeksploatacyjnym siarki kopalni „Jeziórko” (Jońca, 2000). Już po roku badań przydatność osadów ściekowych oczyszczalni komunalnych do celów rekultywacyjnych i zagospodarowania gruntów poeksploatacyjnych oceniono jednoznacznie pozytywnie (Jońca, 1996). Badania Siuty i wsp. (Siuta i in., 1996) oraz Klimonta i Górala (2001) wykazały że lucerna, topinambur i kostrzewa trzcinowa oraz kupkówka pospolita są najlepszymi roślinami rekultywacyjnymi na bezglebowe podłoże wapna poflotacyjnego nawiezione osadami ścieków komunalnych. Osady te, powstałe w procesie mechanicznego i biologicznego oczyszczania ścieków komunalnych, zawierają dużo masy organicznej i azotu, mogą więc spełniać rolę nawozu naturalnego, jak obornik. Muszą one jednak odpowiadać określonym wymaganiom pod względem chemicznym, biologicznym, jak również technicznym (Piotrowska, 1989).

Prezentowane badania miały na celu określenie wpływu stosowania zróżnicowanych dawek osadu ścieków komunalnych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego Kopalni Siarki „Jeziórko” w zależności od gatunku roślin rekultywacyjnych.

#### MATERIAŁ I METODY

Wapno poflotacyjne jest odpadem, który powstaje w procesie wzbogacania siarki rodzimej, wydobywanej metodą odkrywkową, przez oddzielenie nadmiaru skały płonnej. Zdeponowane na terenie kopalni odkrywkowej osady poflotacyjne przerzucono na pola poeksploatacyjne Kopalni Siarki „Jeziórko” (otworowa metoda pozyskiwania siarki) przy pomocy hydrotransportu. Zdeponowano je na powierzchni około 50 ha, a średnia miąższość wynosiła 1,5 m (od 1 do 6 m). Według doniesień literaturowych (Gołda, 1993) wapno poflotacyjne, można uznać za gliny lekkie pylaste, zawierające następujące frakcje:

- piasek (1,0–0,1 mm) — 35%,
- pył (0,1–0,02 mm) — 29%,
- cząstki spławialne < 0,02 mm — 36%, przy zawartości 6% iłu koloidalnego (<0,002 mm).

Osady ściekowe zastosowane do rekultywacji biologicznej pochodziły z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli, a ich skład chemiczny i właściwości przedstawiono w tabeli 1.

Wiosną 1995 roku grunt bezglebowy nawieziono powierzchniowo osadem ściekowym w ilościach 250, 500 i 750 m<sup>3</sup> /ha i wymieszano z podłożem broną talerzową ciężką na głębokość 25 cm (Jońca, 1996). We wszystkich wariantach doświadczenia zastosowano także nawożenie mineralne N, P, K w ilościach 68,39,39 kg/ha, które w podanej wielkości wnoszono corocznie wiosną. Wariant kontrolny stanowił obiekt nie nawożony osadami ściekowymi i nie porośnięty roślinnością.

Na przygotowanym podłożu wysadzono bulwy topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.) na powierzchni 0,25 ha oraz wysiano nasiona kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea*

Scherb.) na powierzchni ok. 1,0 ha. Poza tym prowadzono obserwacje na obiektach, obsianych kostrzewą łąkową w mieszance z życicą trwałą, koniczyną czerwoną i lucerną mieszańcową, które były położone również na podłożu wapna poflotacyjnego, nawiezonego dawką 250 m<sup>3</sup> osadu.

Każdego roku wyrosłą ruń kostrzewy trzcinowej i mieszanki traw zbierano poprzez wykaszanie oraz okresowo wypasano bydłem, natomiast pędy topinamburu pozostawiano nie skoszone na zimę, a wczesną wiosną ścinano, rozdrabniano łodygi i mieszano z podłożem za pomocą brony talerzowej.

Wiosną 1998 roku (III dekada kwietnia) na podłożu szlamów poflotacyjnych, wzbogaconych uprzednio dawką 100 m<sup>3</sup> osadów ściekowych założono plantację wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.). Powierzchnia doświadczenia wynosiła 0,80 ha. Przedplonem dla wierzby było żyto, a po jego zbiorze, słomę rozdrobniono i przyorano. Osady ściekowe wniesiono pod orkę zimową. Wiosną zastosowano wieloskładnikowe nawożenie mineralne i bronowanie. Następnie ręcznie posadzono zrazy w rozstawie 70 x 50 cm (17 tys. sadzonek na 1 ha), które pielęgnowano poprzez opielanie.

Na początku sierpnia 2001 roku pobrano próbki podłoża, na którym rosną rośliny rekultywacyjne z dwóch poziomów: organiczno-próchnicznego (OA) do 3–6 cm (zależnie od miąższości) i poziomu podpróchnicznego (C) znajdującego się bezpośrednio pod poziomem materii organicznej do głębokości około 12–15 cm. Celem znalezienia przyczyn słabego wzrostu bądź zasychania wierzby wiciowej (wikliny) na części plantacji, pobrano średnie próbki podłoża z dwóch miejsc (wiklina bujnie rosnąca i słabo rosnąca).

Analizy próbek podłoża wykonano w SChR w Kielcach, skład granulometryczny metodą sedymentacyjną wg BN-78/9181-11, zawartość przyswajalnego P i K (metodą Egnera-Riehma), Mg (kolorymetrycznie), materię organiczną (metodą Tiurina) oraz pH w 1 n KCl. Otrzymane wyniki analiz chemicznych (K i Mg) porównywano do wielkości podanych przez IUNG dla kategorii agronomicznej gleb lekkich i średnich (IUNG, 1989).

## WYNIKI

Jak wynika z danych tabeli 1 osady ściekowe zawierają w suchej masie pokaźne ilości składników pokarmowych w postaci azotu, fosforu i wapnia oraz niewielkie magnezu. Zawartość azotu ogólnego jest w osadzie 1,7 razy większa niż w oborniku dobrej jakości (azot amonowy stanowi 0,40%), fosforu 1,4 razy, ale jednocześnie ma w swoim składzie ponad trzy razy mniej wapnia i pięciokrotnie mniej magnezu w porównaniu z obornikiem. Ilość substancji organicznej w osadach jest bardzo wysoka i niewiele niższa niż w oborniku.

Stosując dawkę 250 m<sup>3</sup> osadu ściekowego w przeliczeniu na 1 ha, wnosi się wraz z nim ok. 2,5 t azotu (w tym 300 kg łatwo przyswajalnego NH<sub>4</sub>), 1,3 t fosforu, a także ok. pół tony wapnia i 120 kg magnezu oraz prawie 53 t substancji organicznej. Wraz z dawką podwójną (500 m<sup>3</sup> osadów na 1 ha) wniesiono odpowiednio prawie 5,0 t azotu ogólnego (w tym 600 kg w formie amonowej), 2,5 t fosforu ogólnego oraz znaczące ilości wapnia i magnezu (odpowiednio 950 kg i 250 kg). Dawka potrójna (750 m<sup>3</sup> osadu na 1 ha) to wprowadzenie do podłoża 7,5 t N ogólnego (w tym NH<sub>4</sub><sup>+</sup> — 870 kg), około 3,7 t fosforu

(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) oraz 1420 kg CaO i 380 kg MgO. Zawartości potasu w osadach nie oznaczano, ale zwykle jest ona niewielka, ponieważ jako pierwiastek dobrze rozpuszczalny, przechodzi do wody w procesie oczyszczenia ścieków (tab. 2).

Tabela 1

**Skład chemiczny i sanitarny osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli**  
**Chemical composition and sanitary status of sewage sludge from Stalowa Wola City cleaning system**

| Składniki<br>Components                                                                                                                                                       | Zawartość<br>Content            |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                                               | osady ściekowe<br>sewage sludge | obornik*<br>manure |
| Sucha masa %<br>Dry matter %                                                                                                                                                  | 29,100                          | 25,0               |
| pH                                                                                                                                                                            | 7,130                           |                    |
| Zawartość w % suchej masy<br>Content of dry matter (%)                                                                                                                        |                                 |                    |
| Azot ogólny (N)                                                                                                                                                               | 3,400                           | 2,0                |
| Azot amonowy (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )                                                                                                                                  | 0,400                           | —                  |
| Fosfor ogólny (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )                                                                                                                                | 1,690                           | 1,2                |
| Wapń (CaO)                                                                                                                                                                    | 0,640                           | 2,0                |
| Magnez (MgO)                                                                                                                                                                  | 0,160                           | 0,8                |
| Substancja organiczna<br>Organic matter                                                                                                                                       | 72,580                          | 88,0               |
| Zawartość w mg/kg suchej masy<br>Content in mg/kg of dry matter                                                                                                               |                                 |                    |
| Cynk (Zn)                                                                                                                                                                     | 1257,730                        |                    |
| Ołów (Pb)                                                                                                                                                                     | 68,730                          |                    |
| Kadm (Cd)                                                                                                                                                                     | <6,870                          |                    |
| Miedź (Cu)                                                                                                                                                                    | 30,930                          |                    |
| Chrom ogólny (Cr)                                                                                                                                                             | <20,620                         |                    |
| Nikiel (Ni)                                                                                                                                                                   | 68,730                          |                    |
| Rtęć (Hg)                                                                                                                                                                     | 0,060                           |                    |
| Badania bakteriologiczne i parazytologiczne<br>Bacteriological and parazytological test                                                                                       |                                 |                    |
| Obecność Salmonelli<br>Presence of Salmonella                                                                                                                                 | Nie stwierdzono<br>Not detected |                    |
| Liczba żyjących jaj <i>Ascaris sp.</i> , <i>Toxocara sp.</i> , <i>Trichuris sp.</i><br>Number of live eggs of <i>Ascaris sp.</i> , <i>Toxocara sp.</i> , <i>Trichuris sp.</i> |                                 |                    |
|                                                                                                                                                                               | 2                               |                    |

\* Skład chemiczny obornika wg Maćkowiaka, 1996

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

\* Chemical composition of manure acc. Maćkowiak, 1996

According to the statement of SANEPID, the sewage sludge tested for chemical compositions well as bacteriologically and parazytologically were in agreement with the current standards and were allowed to be utilized in agriculture.

Tabela 2

**Ilość składników pokarmowych i materii organicznej wnoszona wraz z osadem ściekowym do bezglebowego podłoża poflotacyjnego**

**The amount of nutrients and organic matter carried in with sewage sludge into the flotation tilling**

| Dawka osadu ściekowego<br>m <sup>3</sup> /ha<br>Dose of sewage sludge m <sup>3</sup> /ha | Ilość składników pokarmowych (t)<br>Amount of nutrients (t) |                                                                         |                                                                       |                       |                           |                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                                          | azot ogólny<br>(N)<br>total nitrogen                        | azot amonowy<br>(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )<br>ammonium<br>nitrogen | Fosfor ogólny<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )<br>total phosphorus | wapń (CaO)<br>calcium | magnez (MgO)<br>magnesium | substancja organiczna<br>organic matter |
| 100                                                                                      | 0,998                                                       | 0,116                                                                   | 0,492                                                                 | 0,190                 | 0,050                     | 21,121                                  |
| 250                                                                                      | 2,495                                                       | 0,290                                                                   | 1,229                                                                 | 0,475                 | 0,120                     | 52,800                                  |
| 500                                                                                      | 4,990                                                       | 0,580                                                                   | 2,458                                                                 | 0,950                 | 0,250                     | 105,605                                 |
| 750                                                                                      | 7,485                                                       | 0,870                                                                   | 3,687                                                                 | 1,420                 | 0,380                     | 158,408                                 |

\* — m<sup>3</sup> osadu badanego osadu ściekowego (c. wł. 1,02 g/cm<sup>3</sup>) waży ok. 1,0 t

\* — m<sup>3</sup> of sewage sludge (1,02 g/cm<sup>3</sup>) weighs about 1,0 t

Tabela 3

**Wpływ zróżnicowanych dawek osadów ściekowych na zawartość przyswajalnego P, K, Mg i materii organicznej w podłożu wapna poflotacyjnego w zależności od gatunku rośliny rekultywacyjnej (topinambur, kostrzewa trzcinowa)**

**The effect of different doses of sewage sludge on organic matter and P and K, Mg content in relation to species of reclamation plant (Jerusalem artichoke, tall fescue)**

| Gatunek<br>rośliny<br>Species          | Dawki osadów<br>ściekowych<br>(m <sup>3</sup> /ha)<br>Dose of sewage<br>sludge | Poziom<br>glebowy<br>Soil horizon | Cechy<br>Traitse                |                                                              |                                                 |                                   |                                                    |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                        |                                                                                |                                   | pH<br>w 1n<br>KCl<br>in 1 N KCl | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>mg/100g<br>gleby<br>of soil | K <sub>2</sub> O<br>mg/100g<br>gleby<br>of soil | Mg<br>mg/100g<br>gleby<br>of soil | Substancja<br>organiczna<br>Organic<br>matter<br>% |
| Kontrola<br>Control                    | 0                                                                              | OA                                | 7,44                            | 1,5                                                          | 7,3                                             | 1,7                               | 0,54                                               |
|                                        | 0                                                                              | C                                 | 7,64                            | 1,4                                                          | 4,5                                             | 1,4                               | 0,22                                               |
| Topinambur<br>Jerusalem<br>artichoke   | 250                                                                            | OA                                | 7,93                            | 50,0                                                         | 5,9                                             | 26,0                              | 8,34                                               |
|                                        |                                                                                | C                                 | 7,91                            | 5,2                                                          | 1,3                                             | 3,3                               | 0,70                                               |
|                                        | 500                                                                            | OA                                | 7,49                            | 49,5                                                         | 12,8                                            | 20,8                              | 10,67                                              |
|                                        |                                                                                | C                                 | 7,63                            | 5,7                                                          | 2,0                                             | 3,7                               | 1,03                                               |
|                                        |                                                                                | OA                                | 7,68                            | 56,0                                                         | 15,2                                            | 23,1                              | 10,55                                              |
|                                        |                                                                                | C                                 | 7,63                            | 5,3                                                          | 2,0                                             | 4,2                               | 0,97                                               |
| Kostrzewa<br>trzciniowa<br>Tall fescue | 250                                                                            | OA                                | 7,54                            | 4,9                                                          | 8,7                                             | 2,5                               | 2,31                                               |
|                                        |                                                                                | C                                 | 7,75                            | 1,3                                                          | 3,4                                             | 1,5                               | 2,26                                               |
|                                        | 500                                                                            | OA                                | 7,23                            | 14,5                                                         | 8,5                                             | 2,7                               | 3,88                                               |
|                                        |                                                                                | C                                 | 7,63                            | 2,4                                                          | 3,1                                             | 1,7                               | 1,50                                               |
|                                        |                                                                                | OA                                | 7,50                            | 9,4                                                          | 11,5                                            | 4,7                               | 2,32                                               |
|                                        |                                                                                | C                                 | 7,72                            | 2,5                                                          | 4,4                                             | 1,9                               | 2,70                                               |

Pięcioletnie badania wykazały, że pod wpływem każdej z użytych dawek osadu wzrosła zawartość substancji organicznej w podłożu. Najwyższe przyrosty masy organicznej obserwowano na obiektach porośniętych topinamburem (tab. 3, 4).

Wnoszone osady ściekowe zawierające wyraźne ilości azotu, fosforu oraz pokaźne wapnia i magnezu, a zapewne i potasu (nie oznaczano) mają wpływ na wzrost ich zawartości w podłożu. Pod wpływem pojedynczej i podwójnej dawki osadu na doświad-

czeniu z topinamburem zawartość fosforu ( $P_2O_5$ ) wzrosła 33 razy, a potasu tylko dwukrotnie (dawka podwójna). Zawartość magnezu natomiast wzrosła kilkanaście razy w stosunku do kontroli. Tak ogromny przyrost zawartości przyswajalnych form podstawowych składników pokarmowych warunkował wytworzenie się z wyrosłej i rozdrobnionej masy organicznej poziomu organiczno-próchnicznego i kompleksu sorpcyjnego, „magazynującego” jony oznaczanych pierwiastków.

Tabela 4

**Wpływ osadów ściekowych na zawartość przyswajalnego P, K, Mg i materii organicznej w podłożu wapna poflotacyjnego w zależności od gatunku rośliny rekultywacyjnej (mieszanki traw, traw z roślinami motylkowymi, wierzba wiciowa)**  
**The effect of sewage sludge on organic matter and P, K, Mg content, in relation to species of reclamation plant (mixture of grasses, grasses with *papilionaceous* plants, basket willow)**

| Gatunek rośliny<br>Species                                                                    | Dawki<br>osadów<br>ściekowych<br>(m³/ha)<br>Dose of<br>sewage<br>sludge | Poziom<br>glebowy<br>Soil<br>horizont | Cechy<br>Traits                  |                                                               |                                                 |                                   |                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                                                               |                                                                         |                                       | pH w 1 N<br>KCl<br>in 1 N<br>KCL | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>mg/100<br>g gleby<br>of soil | K <sub>2</sub> O<br>mg/100g<br>gleby<br>of soil | Mg<br>mg/100g<br>gleby<br>of soil | Substancja<br>organiczna<br>Organic<br>matter<br>% |
| Kontrola<br>Control                                                                           | 0                                                                       | OA<br>C                               | 7,44<br>7,64                     | 1,5<br>1,4                                                    | 7,3<br>4,5                                      | 1,7<br>1,4                        | 0,54<br>0,22                                       |
| Kostrzewa łąkowa + życica trwała<br><i>Festuca pratensis</i> + <i>Lolium perenne</i>          | 250                                                                     | OA<br>C                               | 7,60<br>7,68                     | 2,5<br>1,4                                                    | 7,0<br>2,3                                      | 1,7<br>2,2                        | 2,05<br>0,97                                       |
| Kostrzewa łąkowa + Koniczyna czerwona<br><i>Festuca pratensis</i> + <i>Trifolium pratense</i> | 250                                                                     | OA<br>C                               | 7,36<br>7,65                     | 2,4<br>2,0                                                    | 5,4<br>1,5                                      | 2,7<br>1,9                        | 3,66<br>1,29                                       |
| Kostrzewa łąkowa + lucerna mieszańcowa<br><i>Festuca pratensis</i> + <i>Medicago varia</i>    | 250                                                                     | OA<br>C                               | 7,54<br>7,53                     | 1,7<br>1,2                                                    | 4,5<br>2,2                                      | 2,0<br>4,3                        | 2,64<br>0,27                                       |
| Wierzba wiciowa (bujna)<br><i>Salix viminalis</i> (abundant)                                  | 100                                                                     | OA<br>C                               | 7,33<br>7,66                     | 10,4<br>4,2                                                   | 8,5<br>2,0                                      | 2,3<br>1,3                        | 4,12<br>0,84                                       |
| Wierzba wiciowa (słabo rosnąca)<br><i>Salix viminalis</i> (weak growing)                      | 100                                                                     | OA<br>C                               | 7,53<br>7,66                     | 5,5<br>1,4                                                    | 5,4<br>1,9                                      | 1,9<br>1,5                        | 3,75<br>0,87                                       |

Osady zastosowane na doświadczeniu z kostrzewą trzcinową spowodowały, że wytworzył się poziom organiczno-próchniczny (OA) na podłożu wapiennym, który zawierał ponad 3 razy więcej fosforu (dawka pojedyncza), potas wzrósł nieznacznie, a magnez 1,6 razy. Dawka podwójna (500 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) powodowała najwyższy ponad 10-krotny wzrost zawartości przyswajalnego fosforu i tak jak w poprzedniej dawce, wzrost K i Mg. Dawka najwyższa (potrójna) oddziaływała pośrednio w przypadku fosforu powodowała najwyższy przyrost potasu (1,5 razy), zwiększając prawie 3-krotnie zawartość magnezu (tab. 3).

Zróżnicowane wysokości dawek osadów ściekowych powodowały niewielki przyrost zasobności podłoża w przyswajalny fosfor i magnez w porównaniu do wariantu kontrolnego. Najwyższy przyrost fosforu w podłożu stwierdzono na obiekcie, który porastała kostrzewa łąkowa w mieszance z życicą trwałą, a magnezu przy poroście kostrzewy łąkowej z koniczyną czerwoną. Odnotowano natomiast zmniejszenie zawartości potasu w podłożu, co można wytłumaczyć dużym zapotrzebowaniem roślinności trawiastej na ten pierwiastek (tab. 4).

Plantacja wierzby wiciowej (wikliny) została posadzona na podłożu wapiennym wzbogaconym 100 m<sup>3</sup> osadów na 1 ha z przeznaczeniem na materiał szkółkarski. Po posadzeniu udatność nasadzeń oceniono na ok. 90%, co jest wynikiem dobrym, zważywszy na jakość podłoża. Pomiary pędów wykonane w drugim roku po posadzeniu wykazały średnicę ok. 8–12 mm, wysokość 100–120 cm, a obecnie ich średnica wynosi 20–25 mm, a wysokość ponad 2,5 m.

Tabela 5

**Skład granulometryczny osadów wapna poflotacyjnego, jako podłoża roślin rekultywacyjnych (topinambur, kostrzewa trzcinowa)**  
**Soil texture of flotation tilling used as soil for various reclamation plant (Jerusalem artichoke, tall fescue)**

| Dawki osadów ściekowych (m <sup>3</sup> /ha)<br>Dose of sawage sludge | Gatunek rośliny<br>Species         | Poziom glebowy<br>Soil horizon | Podgrupy granulometryczne (symbol)<br>Granulometric subgroups (symbols) | Zasobność frakcji w %<br>Fraction content |                         |                                                               |                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                       |                                    |                                |                                                                         | piasek sand<br>1,0–0,1 mm                 | pył dust<br>0,1–0,02 mm | cząstki spławialne (łłowe)<br>Floatable fraction<br>< 0,02 mm | w tym ił koloidalny<br>colloidal clay<br>< 0,002 mm |
| 250                                                                   | topinambur<br>Jerusalem artichoke  | OA                             | piasek luźny (pl)<br>loose sand                                         | 58                                        | 37                      | 5                                                             | 0                                                   |
|                                                                       |                                    | C                              | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                        | 65                                        | 23                      | 12                                                            | 1                                                   |
|                                                                       | kostrzewa trzcinowa<br>tall fescue | OA                             | pył piaszczysty (płp)<br>sandy silt                                     | 38                                        | 45                      | 17                                                            | 0                                                   |
|                                                                       |                                    | C                              | piasek gliniasty mocny (pgm)<br>strong loamy sand                       | 46                                        | 37                      | 17                                                            | 0                                                   |
| 500                                                                   | topinambur<br>Jerusalem artichoke  | OA                             | piasek słabo gliniasty (ps)<br>Weak-loamy sand                          | 71                                        | 24                      | 5                                                             | 0                                                   |
|                                                                       |                                    | C                              | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                        | 74                                        | 15                      | 11                                                            | 0                                                   |
|                                                                       | kostrzewa trzcinowa<br>tall fescue | OA                             | piasek słabo gliniasty (ps)<br>weak-loamy sand                          | 63                                        | 31                      | 6                                                             | 0                                                   |
|                                                                       |                                    | C                              | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                        | 64                                        | 22                      | 14                                                            | 1                                                   |
| 750                                                                   | topinambur<br>Jerusalem artichoke  | OA                             | piasek słabo gliniasty (ps)<br>weak-loamy sand                          | 69                                        | 24                      | 7                                                             | 0                                                   |
|                                                                       |                                    | C                              | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                        | 54                                        | 21                      | 25                                                            | 0                                                   |
|                                                                       | kostrzewa trzcinowa<br>tall fescue | OA                             | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                        | 53                                        | 33                      | 14                                                            | 0                                                   |
|                                                                       |                                    | C                              | pył piaszczysty (płp)<br>sandy silt                                     | 40                                        | 46                      | 14                                                            | 1                                                   |
| Kontrola<br>Control                                                   |                                    | OA                             | pył piaszczysty (płp)<br>sandy silt                                     | 48                                        | 45                      | 7                                                             | 1                                                   |
|                                                                       |                                    | C                              | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                        | 66                                        | 23                      | 11                                                            | 1                                                   |

Wapno poflotacyjne, na którym w przedplonie uprawiano żyto i wzbogacono rozdrobnioną słomą po zbiorze, a następnie osadami ściekowymi i nawozami mineralnymi stało się

doskonałym podłożem do wzrostu i rozwoju wierzby wiciowej. Masa organiczna resztek poźniwnych żyta i rozdrobniona słoma w połączeniu z osadami i nawozami pozwoliła na wzrost materii organicznej ponad 7,5 razy, na stanowisku gdzie rośnie bujna wiklina i prawie 7 razy na polu ze słabymi roślinami.

Tabela 6

**Skład granulometryczny osadów wapna poflotacyjnego jako podłoża roślin rekultywacyjnych (mieszanek traw, trawy z roślinami motylkowymi, wierzba wiciowa)**  
**Soil texture of flotation tilling used as a soil for various reclamation plant (mixture of grasses, grasses with papilionaceous plants, basket willow)**

| Gatunek rośliny<br>Species                                                     | Poziom<br>glebowy<br>Soil<br>horizon | Podgrupy<br>granulometryczne<br>(symbol)<br>Granulometric subgroups<br>(symbols) | Zawartość frakcji w %<br>Fraction content |                            |                                                                               |                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                                                |                                      |                                                                                  | piasek<br>1,0–0,1 mm<br>sand              | pył<br>0,1–0,02 mm<br>dust | cząstki<br>spławialne<br>(iłowe)<br>< 0,02 mm<br>floatable<br>fraction (clay) | w tym ił<br>koloidalny<br>< 0,002 mm<br>colloidal clay |
| Kostrzewa łąkowa +<br>życica trwała<br><i>Festuca pratensis</i> +              | OA                                   | pył piaszczysty (płp)<br>sandy silt                                              | 43                                        | 46                         | 11                                                                            | 1                                                      |
| <i>Lolium perenne</i>                                                          | C                                    | pył piaszczysty (płp)<br>sandy silt                                              | 52                                        | 41                         | 7                                                                             | 1                                                      |
| Kostrzewa łąkowa +<br>koniczyna czerwona<br><i>Festuca pratensis</i> +         | OA                                   | pył piaszczysty (płp)<br>Sandy silt                                              | 43                                        | 41                         | 16                                                                            | 1                                                      |
| <i>Trifolium pratense</i>                                                      | C                                    | piasek luźny (pl)<br>loose sand                                                  | 68                                        | 28                         | 4                                                                             | 0                                                      |
| Kostrzewa łąkowa +<br>lucerna mieszańcowa<br><i>Festuca pratensis</i> +        | OA                                   | piasek luźny (pl)<br>loose sand                                                  | 64                                        | 31                         | 5                                                                             | 0                                                      |
| <i>Medicago varia</i>                                                          | C                                    | piasek słabo gliniasty (ps)<br>weak-loamy sand                                   | 50                                        | 40                         | 10                                                                            | 0                                                      |
| Wierzba wiciowa<br>(bujna)<br><i>Salix viminalis</i>                           | OA                                   | piasek słabo gliniasty (ps)<br>weak-loamy sand                                   | 64                                        | 30                         | 6                                                                             | 0                                                      |
| (abundant)                                                                     | C                                    | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                                 | 64                                        | 24                         | 12                                                                            | 0                                                      |
| Wierzba wiciowa<br>(słabo rosnąca)<br><i>Salix viminalis</i> (weak<br>growing) | OA                                   | piasek słabo gliniasty (ps)<br>weak-loamy sand                                   | 63                                        | 29                         | 8                                                                             | 1                                                      |
|                                                                                | C                                    | piasek słabo gliniasty (ps)<br>weak-loamy sand                                   | 65                                        | 28                         | 7                                                                             | 1                                                      |
| Kontrola<br>Control                                                            | OA                                   | pył piaszczysty (płp)<br>sandy silt                                              | 48                                        | 45                         | 7                                                                             | 1                                                      |
|                                                                                | C                                    | piasek gliniasty lekki (pgl)<br>light loamy sand                                 | 66                                        | 23                         | 11                                                                            | 1                                                      |

Zawartość przyswajalnego fosforu na części plantacji, gdzie bujnie rośnie wiklina jest średnia, a potasu i magnezu niska, natomiast na miejscu gdzie ta wierzba rośnie słabo lub wręcz zamiera zawartość fosforu i potasu jest niska, a magnezu bardzo niska. Odczyn podłoża na obydwu połaciach plantacji jest lekko zasadowy (pH odpowiednio 7,33 i 7,53). Nie wydaje się, aby niska i bardzo niska zawartość P, K i Mg w podłożu wpłynęła na zamieranie wikliny. Również skład chemiczny obydwu omawianych podłoży jest podobny (tab. 4). Przyczyny zamierania wikliny mogą być inne. Skład granulometryczny podłoża, na którym założono doświadczenia jest bardzo zróżnicowany. W większości próbek przeważa frakcja piasku, następną wielkość stanowią pyły, a najmniej jest cząstek

spławialnych. Il koloidalny natomiast występuje śladowo w 10 na 24 badanych próbkach. Odczyn podłoża, na którym prowadzone są badania jest zasadowy i mało zróżnicowany od 7,23–7,93 pH (tab. 3 i 4).

Skład chemiczny podłoża i zawartość gromadzonej substancji organicznej w zasadzie w małym stopniu zależy od składu granulometrycznego (tab. 5 i 6).

#### PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki badań wykazały, że pokłady wapna poflotacyjnego użyte do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki wydobywanej metodą otworową, wzbogacone substancjami i mikroorganizmami zawartymi w osadach ściekowych razem z porastającą je roślinnością, tworzą odpowiednie podłoże do procesów glebotwórczych. Czynnikiem inicjującym ten proces jest więc wprowadzona w postaci osadu ściekowego materia organiczna i przyswajalne podstawowe składniki pokarmowe dla roślin oraz mikroflora, które to czynniki przywracają życie biologiczne bezglebowego podłoża, a pojawiająca się odpowiednio dobrana roślinność, wzbogaca nadal podłoże w materię organiczną, tworząc poziom organiczno-próchniczny z rozwiniętym kompleksem sorpcyjnym, dając zaczątki gleby. O przebiegu intensywnych procesów glebotwórczych w wierzchniej warstwie podłoża wapiennego świadczy fakt, że zawartość substancji organicznej i przyswajalnych pierwiastków N, P, K, Mg w poziomie organiczno-próchnicznym (OA) jest kilka, a nawet kilkakrotnie razy wyższa niż w poziomie podpróchnicznym (C).

#### WNIOSKI

1. Dawki osadów ściekowych wniesione do podłoża wapiennego w ilości 250, 500 i 750 cm<sup>3</sup>/ha powodują istotny przyrost substancji organicznej oraz wzrost zawartości przyswajalnych związków N, P, K i Mg.
2. Wysokie dawki osadu ściekowego w połączeniu z masą organiczną topinamburu wpływają najsilniej na procesy glebotwórcze podłoża wapiennego, poprzez tworzenie się znaczącego poziomu organiczno — próchnicznego i zwiększenie zawartości składników pokarmowych N, P, K i Mg.
3. Podłoże wapienne porośnięte kostrzewą trzcinową i wzbogacone osadem ściekowym wolniej w porównaniu z topinamburem, przekształca się w glebę i zawiera mniej przyswajalnych związków N, P, K i Mg.
4. Pod wpływem osadów i mieszanki traw oraz traw z motylkowymi proces glebotwórczy w podłożu wapna poflotacyjnego przebiega najwolniej, w porównaniu ze stanowiskiem porośniętym topinamburem i kostrzewą trzcinową, co wiąże się z częściowym wyprowadzeniem masy roślinnej podczas wykaszania i wypasania traw i traw z roślinami motylkowymi.
5. Wierzba wiciowa (wiklina) bardzo dobrze rośnie na pokładach wapna poflotacyjnego, wzbogaconego osadem ściekowym oraz resztkami poźniowymi przedplonu i rozdrobnioną słomą.

6. Wydaje się, że stan słabo rosnących i wypadających roślin wikliny na części plantacji nie zależy od niskiej zasobności podłoża w N, P, K i Mg, ale od innych czynników (choroby, wody stojące).

#### LITERATURA

- Gołda T. 1993. Przemiany siarki elementarnej zawartej w szlamach poflotacyjnych pod wpływem rekultywacyjnych zabiegów uprawowych. Zesz. Nauk. AGH Nr 1496, Sozologia i Socjotechnika z. 37: 67 — 75.
- Jońca M. 1996. Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego w Kopalni Siarki „Jeziórko”. Materiały Terenowej Konferencji Naukowo-Technicznej. Przyrodnicze Użytkowanie Osadów Ściekowych, Lublin: 73 — 76.
- Jońca M. 2000. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji gruntów kopalni siarki „Jeziórko” Inżynieria Ekologiczna nr 1 Ochrona i Rekultywacja Gruntów PTIE. Baranów Sandomierski: 14–16 czerwca 2000: 27 — 30.
- Klimont K., Góral S. 2001. Glebotwórcze działanie traw i topinamburu na gruncie z wapna poflotacyjnego. Inżynieria Ekologiczna nr 3. Ochrona i Rekultywacja Gruntów. PTIE, Bydgoszcz 4–6 czerwca 2001: 198 — 201.
- Łącka-Pilaszek B., Siuta J. 1991. Ekologiczne skutki otworowej eksploatacji siarki w kopalni Jeziórko. Ochrona Środowiska 2.
- Maćkowiak Cz. 1996. Nawozowa użyteczność osadów ściekowych w świetle badań JUNG. Materiały Terenowej Konferencji Naukowo-Technicznej. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Lublin: 35 — 39.
- Materiały do opracowania zaleceń nawozowych na gruntach ornych. 1989. IUNG w Puławach. PWRiL, Warszawa.
- Piotrowska M. 1989. Metody oceny przydatności osadów ścieków bytowych w rolnictwie. Wybrane zagadnienia związane z chemicznym zanieczyszczeniem gleb. PAN, Warszawa: 83 — 100.
- Puka T. 1996. Rekultywacyjne zadania Kopalni Siarki „Jeziórko”. Materiały Terenowej Konferencji Naukowo-Technicznej. Przyrodnicze Użytkowanie Osadów Ściekowych. Lublin: 69 — 72.
- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Kaźmierczuk M., Jońca M., Mamelka D., Sułek S. 1996. Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych w kompost. IOŚ Warszawa.