

**Jacek CZEKAŁA**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,  
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów  
ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań  
e-mail: jczekala@up.poznan.pl

## DYNAMICS OF CHANGES OF CARBON AND NITROGEN COMPOUNDS IN THE COMPOSTING PROCESS OF PINE BARK

### Summary

*Tree seedling production in forest nurseries, as a rule, takes place on light and very light soils. For this reason, attempts are made to find ways of improving properties of these soils using for this purpose, among others, composts produced by foresters themselves. These composts are usually manufactured using pine bark as a base and adding mineral nitrogen or its other sources. In the performed experiments, a mixture of crop plants (seradella, field pea, vetch and buckwheat) collected at the beginning of flowering was added to pine bark. The paper presents results concerning composting of bark alone (A), bark with urea (B), bark with a mixture of plants (C) and bark with a mixture of plants and with effective microorganisms (D). It was found that the dynamics of changes for nitrogen was higher than for carbon. Taking into consideration composts alone, the performed investigation failed to demonstrate that these changes were determined principally by temperature and they were the highest in bark composts with the mixture of plants. Effective microorganisms were not found to increase this dynamics, as indicated also by the quantities of soluble forms of nitrogen. The obtained research results revealed considerable, practical usefulness of the applied crop plant mixture in the process of bark composting, even without participation of effective microorganisms.*

**Key words:** pine bark, mix plants, composts, carbon, nitrogen

## DYNAMIKA PRZEMIAN ZWIĄZKÓW WĘGLA I AZOTU W PROCESIE KOMPOSTOWANIA KORY SOSNOWEJ

### Streszczenie

*Produkcja sadzonek drzew w szkółkach leśnych odbywa się na ogół na glebach lekkich i bardzo lekkich. Z tego względu poszukuje się sposobów poprawy właściwości tych gleb, stosując m.in. produkowane we własnym zakresie komposty. Najczęściej wytwarza się je na bazie kory sosnowej, stosując dodatek azotu mineralnego lub inne jego źródła. W przeprowadzonych badaniach zastosowano do kory mieszankę roślin (seradela, peluszka, wyka i gryka), zebraną w początku kwitnienia. Przedstawiono wyniki dotyczące kompostowania samej kory (A), kory z mocznikiem (B), kory z mieszanką roślin (C) oraz kory z mieszanką roślin i efektywnymi mikroorganizmami (D). Stwierdzono, że dynamika przemian azotu była większa niż węgla. Jednocześnie wykazano, że przemiany te determinowane były głównie temperaturą, w szczególności w kompostach z korą i masą roślinną. Efektywne mikroorganizmy nie zwiększały tej dynamiki, na co wskazują również ilości rozpuszczalnych form azotu. Wyniki doświadczenia wykazały dużą, praktyczną przydatność zastosowanej mieszanki roślin w kompostowaniu kory i to nawet bez udziału efektywnych mikroorganizmów.*

**Słowa kluczowe:** kora sosnowa, mieszanka roślin, komposty, węgiel, azot

### 1. Wstęp

Kora jest jednym z odpadów przemysłu drzewnego, stanowiącym około 10% masy pozyskiwanego drewna [8]. Ze względu na swoje właściwości jest cennym materiałem, od wielu lat wykorzystywanym w ogrodnictwie i leśnictwie. Stanowi również ważny odpad w kompostowaniu. Kora charakteryzuje się jednak szerokim stosunkiem C : N, wynoszącym około 100-130 : 1 [4], a według innych źródeł między 200-400 : 1 [10, 11]. Poza tym zawiera ona ligninę i hemicelulozę [9], co sprawia, że kora jest odpadem trudno rozkładalnym w glebie, ale często wykorzystywana jest jako materiał strukturalny w kompostowaniu. Kompostowanie kory jest niezbędne w przypadku stosowania jej w nawożeniu, w celu zapobieżenia immobilizacji azotu. Na ogół do kory dodaje się azot mineralny, głównie mocznik, siarczan amonu lub saletrę amonową. Spośród nawozów naturalnych dobrym dodatkiem jest pomiot drobiowy.

W literaturze przedmiotu niewiele jest badań dotyczących kompostowania kory z udziałem masy roślinnej [3],

która również jest źródłem azotu, dlatego przeprowadzono badania nad kompostowaniem kory sosnowej z dodatkiem masy roślinnej - z dodatkiem oraz bez dodatku efektywnych mikroorganizmów.

### 2. Materiał i metody badań

Badania przeprowadzono w 2011 roku, w Szkółce Leśnej Świeca, należącej do Nadleśnictwa Antonin. Położenie miejsca badań określają współrzędne geograficzne 51°32'N 17°42'E. W doświadczeniu wykorzystano świeżą korę sosnową oraz zieloną masę roślin (ZMR). W jednym z obiektów zastosowano również efektywne mikroorganizmy (EM).

Schemat doświadczenia obejmował następujące kombinacje:

- Pryzma A – kora sosnowa,
- Pryzma B – kora + mocznik,
- Pryzma C – kora + ZMR<sub>1</sub>,
- Pryzma D – kora + ZMR<sub>1</sub> + EM.

Pryzmy usypano z 4 m<sup>3</sup> kory sosnowej każda (rys. 1), do których dodano 0,3 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,13 kg P) w formie superfosfatu pojedynczego (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) oraz 0,1 kg K<sub>2</sub>O (0,083 kg K) w formie soli potasowej 60% na metr sześcienny kory. Do pryzmy B zgodnie ze schematem dodano mocznik w ilości 1,0 kg N·m<sup>-3</sup> kory. Z kolei do pryzm C i D dodano świeżą masę roślinną w ilości 2 Mg·pryzma<sup>-1</sup>, a do pryzmy D wprowadzono jeszcze efektywne mikroorganizmy w ilości 3 dm<sup>3</sup>·m<sup>-3</sup> kory. Całość wymieszano dwukrotnie aeratorem ciągnikowym (rys. 2, 3). Masa roślinna to mieszanka seradeli (*Ornithopus perpusillus* L.), gryki (*Fagopyrum esculentum*), peluszki (*Pisum sativum* L. ssp. *arvense* (L.) i wyki (*Vicia sativa* L.), uprawiana w warunkach polowych i zebrana 6 lipca przed kwitnieniem roślin.



Rys. 1. Pryzma z korą i masą roślinną przed wymieszaniem  
Fig. 1. Experimental prism with bark and plant mixture prior to mixing



Rys. 2. Pryzma z mocznikiem  
Fig. 2. Pile with urea



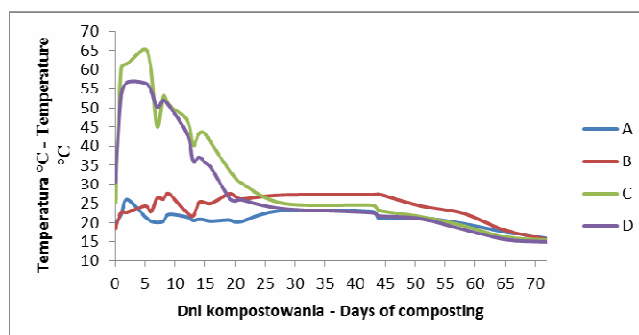
Rys. 3. Aerator podczas mieszania pryzmy  
Fig. 3. Aerator for mixing piles



Rys. 4. Pryzmy po wymieszaniu  
Fig. 4. Experimental prisms after mixing

W okresie kompostowania mierzono temperaturę w pryzmach, której zmiany przedstawiono na rys. 5. Pobrano również próbki kompostów do analiz w następujących dniach kompostowania: 0, 5, 9, 21, 43, 72 i 293, oznaczając:

- suchą masę – metodą suszarkową w temperaturze 105°C,
- pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> – potencjometrycznie,
- materię organiczną (MO) – przez spalenie w temperaturze 550°C,
- azot ogólny (N<sub>og</sub>) – metodą Kjeldahla,
- węgiel organiczny metodą oksydometryczną (C<sub>org.</sub>) [2],
- węgiel rozpuszczalny metodą de la Rubia Pacheco [1].



Rys. 5. Zmiany temperatury w okresie kompostowania  
Fig. 5. Temperature changes during the composting

Komposty: A- Kora; B- Kora + mocznik; C- Kora + masa roślinna; D- Kora + masa roślinna + EM  
Composts: A- Bark; B- Bark + urea; C- Bark + mass of plants; D- Bark + mass of plants + EM

Tab. 1. Wybrane właściwości kory sosnowej i mieszanki roślin  
Table 1. Selected properties of pine bark and mixtures of plants

Parametr Parameter	Mieszanka roślin Mixtures of plants	Kora sosnowa Pine bark
pH-H <sub>2</sub> O	6,92	5,02
Sucha masa (%) Dry matter (%)	23,40	43,20
Materia organiczna (%) Organic matter (%)	84,00	71,00
N <sub>og</sub> / Total N (g·kg <sup>-1</sup> s.m.- g·kg <sup>-1</sup> DM)	10,51	3,49
C <sub>org</sub> / Organic C (g·kg <sup>-1</sup> s.m.- g·kg <sup>-1</sup> DM)	443,0	437,80
C : N	42,15	125,44

### 3. Wyniki i dyskusja

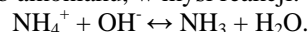
Kora drzewna ze względu na swoje właściwości i skład chemiczny jest odpadem trudno rozkładalnym. Właściwości te można poprawić między innymi w procesie kompostowania z dodatkiem azotu. W przeszłości głównym źródłem azotu w kompostowaniu kory w Polsce była woda amoniakalna [5], głównie ze względu na niskie koszty zabiegu. W innych krajach stosowano okresowo również bezwodny amoniak [7]. Dodając azot należy pamiętać jednak o zmianach odczynu, co z kolei może wpływać na jego straty, jak i samą reakcję z korą [6]. W procesie tym może mieć miejsce zróżnicowana sorpcja azotu, wyrażona w badaniach między innymi jego zawartością w kompostach. Z danych zawartych w tab. 2 wynika, że średnie zawartości azotu ogólnego w kompostach były istotnie zależne od rodzaju kompostu (od 3,87 do 5,82 g·kg<sup>-1</sup>s.m.) i czasu kompostowania (od 4,95 do 5,82 mg·kg<sup>-1</sup>s.m.). Największą zawartością N (5,82 mg·kg<sup>-1</sup>s.m.) charakteryzował się kompost „kora + masa roślinna”, a najniższą, zgodnie z oczekiwaniem, z samej kory (3,87g·kg<sup>-1</sup>s.m.). Przy względnie stabilnym poziomie azotu ogólnego w okresie kompostowania, jego obniżenie zanotowano dopiero w końcowym okresie kompostowania do okresu zimowego (72 dzień), i ponowny wzrost po zimowym dojrzwaniu, ale w warunkach przykrytych pryzm. Czynnikiem czasu należy mieć na uwadze ze względu na możliwość ograniczenia strat azotu przez wymywanie.

Istotne zróżnicowanie wykazano również w zawartości azotu rozpuszczalnego w wodzie między kompostami (tab. 3). Zastosowanie azotu do kory, bez względu na jego źródło, zwiększyło ilość rozpuszczalnych form średnio od sześć- do jedenastokrotnie. Najwięcej tych form azotu przez cały okres kompostowania stwierdzono w korze z masą roślinną. Ale we wszystkich kompostach wystąpiła tendencja wzrastającej rozpuszczalności azotu do 9 dnia, po

czym zaobserwowano systematyczny zmniejszanie się dynamiki spadek tego procesu.

Zróżnicowana była jednak dynamika tego spadku. Zmiany ilościowe azotu rozpuszczalnego związane były niewątpliwie z temperaturami w kompostach, szczególnie w przypadku pryzmy kory z masą roślinną, w której już po pierwszej dobie wynosiła ona 60,4°C, wobec 22,6°C w pryzmie kory z mocznikiem i 26,1°C w samej korze. Temperatura swoją najwyższą wartość uzyskała w 11 dniu doświadczenia i to we wszystkich pryzmach, ale najwyższe było w pryzmie „kora + masa roślinna” - 65,3°C. Jednocześnie w pryzmie z dodatkiem EM temperatura zawsze była o kilka stopni niższa w porównaniu z pryzmą bez ich udziału.

Wyniki badań świadczą, że rozpuszczalność azotu wzrastała w kompostach z masą roślinną wraz z rozkładem roślin, w mniejszym jednak stopniu w przypadku obecności efektywnych mikroorganizmów, głównie do 9 dnia badań. Potwierdzeniem takiej tendencji był udział azotu rozpuszczalnego w stosunku do zawartości ogólnej. Z obliczeń wynika, że w kompoście z korą i masą roślinną rozpuszczalność ta wynosiła w pierwszych trzech terminach 5,49; 9,59 i 18,70%, natomiast z dodatkiem EM odpowiednio 3,92; 4,83 i 14,10%. W dalszych terminach kompostowania ilości te były mniejsze, ale zróżnicowane między tymi kompostami. W kompoście z mocznikiem ilość azotu rozpuszczalnego była mniejsza w porównaniu do kompostu kory z masą roślinną, co wynikać mogło m.in. z większej sorpcji jonu amonowego przez korę. Uważa się, że jon amonowy silnie reaguje z grupami funkcyjnymi, jak i polifenolami kory [12]. Z kolei wartość pH determinuje przewagę jonu amonowego lub amoniaku, w myśl reakcji:



Rozważając ten problem należy mieć na uwadze także adsorbowanie azotu przez drobnoustroje. Tym bardziej, że kora posiada szeroki stosunek C : N, a tym samym rozkładające ją drobnoustroje wymagają dużych ilości azotu.

Tab. 2. Wpływ rodzaju kompostu i czasu kompostowania na zawartość azotu ogólnego w kompostach (mg·kg<sup>-1</sup>s.m.)  
Table 2. Effect of type of compost and composting time (days) on total nitrogen content in composts (mg·kg<sup>-1</sup> DM)

Dni kompostowania Days of composting	Kompost / Compost				Średnia Average
	A	B	C	D	
0	3.76ab*	4.93gh	6.01lm	5.10h	4.95c
5	3.57a	4.47ef	6.90o	5.59jk	5.13d
9	3.60a	5.24hi	6.80o	5.58jk	5.31e
21	3.96bcd	6.94o	6.48n	5.88kl	5.82g
43	4.18cde	6.08lm	6.31mn	5.58jk	5.54f
72	4.16cde	4.09bcd	3.55a	3.50a	3.83a
293	3.84abc	5.51ij	4.66g	4.29de	4.58b
Średnia / Average	3.87a	5.32c	5.82d	5.08b	-

\*wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie dla  $p < 0,05$  / \*values followed by different letters are significantly different at  $p < 0,05$

Tab. 3. Wpływ rodzaju kompostu i czasu kompostowania na zawartość azotu w wyciągu wodnym kompostów (mg·kg<sup>-1</sup>s.m.)  
Table 3. Effect of type of compost and composting time on total nitrogen in water extract of composts (mg·kg<sup>-1</sup> DM)

Dni kompostowania Days of composting	Kompost / Compost				Średnia Average
	A	B	C	D	
0	0.024ab	0.124efg	0.330k	0.200i	0.169c
5	0.023ab	0.178hi	0.662m	0.270 j	0.285d
9	0.089d	0.570 l	1.272o	0.789n	0.681e
21	0.013a	0.303jk	0.209i	0.147gh	0.168c
43	0.013a	0.151gh	0.106def	0.096de	0.091b
72	0.041ab	0.130fg	0.076cd	0.081cd	0.082ab
293	0.041ab	0.055bc	0.053bc	0.124efg	0.068a
Średnia / Average	0.035a	0.216b	0.387d	0.245c	-

\*wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie dla  $p < 0,05$  / \*values followed by different letters are significantly different at  $p < 0,05$

Jednak analizując dane dotyczące azotu ogólnego trudno mówić o sorpcji azotu przez EM, bowiem ilość tego składnika była tam mniejsza niż w kompoście „kora + masa roślinna”. Niezależnie od tego czynniki doświadczenia silnie oddziaływały na zaistniałe przemiany, szczególnie w odniesieniu do azotu rozpuszczalnego. Wskazują na to wartości F, wynoszące dla rodzajów kompostów N<sub>og</sub>: F= 373,40, a N rozpuszczalnego F= 1229,84. Wartości te w przypadku czasu kompostowania wynosiły odpowiednio F= 135,94 i F= 1572,43.

W literaturze zwraca się uwagę na adsorpcje azotanów przez korę. Orlando i in. [14] wykazali, że kora sosnowa użyta w badaniach adsorbowała 1,06 mmol·g<sup>-1</sup> azotanów. To może mieć duże znaczenie praktyczne i ekologiczne, związane z ograniczeniem wymywania azotanów, powstających podczas kompostowania wielu odpadów organicznych. Autorzy nie wyjaśniają jednak mechanizmu takiej adsorpcji.

Podobnym i zróżnicowanym zmianom podlegały w procesie kompostowania zarówno związki węgla organicznego (tab. 4), jak i wodnorozpuszczalnego (tab. 5). Analizując zawartość węgla organicznego wykazano, że istotne różnice ilościowe wystąpiły głównie między kompostami (F= 122,77, p<0,05) i w mniejszym stopniu dla czynnika czasu (F= 67,12, p<0,05).

Uwagę zwracają duże różnice ilościowe w trakcie kompostowania, bez jednoznacznej tendencji kierunku zachodzących zmian, z wyjątkiem samej kory. Istotnie mniejsze, średnie zawartości C<sub>org</sub> w kompostach z udziałem masy roślinnej w porównaniu z kompostem z mocznikiem (321,51 mg·kg<sup>-1</sup>s.m.), wynikały przede wszystkim z intensywniejszej mineralizacji, na co pośrednio wskazują różnice temperatur w przyzmacz między kompostami, jak i ilości związków węgla rozpuszczalnych w wodzie (tab. 5). Biorąc pod uwagę czas kompostowania, średnie zawartości były istot-

nie większe, chociaż w poszczególnych terminach kompostowania relacje te nie zawsze były tak jednoznaczne. Zdecydowanie silniejszy wpływ na rozpuszczalność związków węgla miał czynnik czasu (F= 676,20, p<0,05) niż rodzaj kompostów (F= 29,12, p<0,05). Dla czynnika czasu wystąpiła jednoznaczna tendencja zmniejszania się tej rozpuszczalności z czasem kompostowania. Przyjmując zawartość C-H<sub>2</sub>O w dniu rozpoczęcia badań za 100 wyliczono, że w pierwszych 5 dniach zwiększyła się średnio o 58%, ulegając następnie systematycznemu obniżaniu od 12% w 9 dniu do 84,3% w końcowym okresie kompostowania. W przypadku C<sub>org</sub> dynamika tych zmian była niewielka, bowiem pod koniec kompostowania średnia ilość C<sub>org</sub> zmniejszyła się zaledwie o 13,4% w porównaniu z zawartością z dnia rozpoczęcia badań. Efektywne mikroorganizmy dodane do kory, w przekroju całego doświadczenia miały wpływ na rozpuszczalność związków węgla. Świadczą o tym m.in. istotne różnice ilościowe tak między kompostami C i D, jak między tymi kompostami a kompostami A i B, głównie do 72 dnia kompostowania. W okresie dojrzewania, trwającego przez okres zimy do wiosny nastąpiła stabilizacja procesów, o czy świadczą podobne ilości rozpuszczalnych w wodzie form węgla.

Uzyskane wyniki można rozpatrywać z różnych punktów widzenia. Jednak założeniem doświadczenia było wykazanie znaczenia masy organicznej roślin w kompostowaniu kory sosnowej w porównaniu z mocznikiem, który najczęściej stosuje w praktyce. Przedstawione dane dowiodły nie tylko równorzędności roślin z mocznikiem, ale często ich przewagę. Wynikać to mogło m.in. z tego, że zastosowano względnie dużą ilość roślin, co w praktyce nie zawsze ma miejsce. Spowodowane jest to głównie kompostowaniem większych ilości kory, przy nie zawsze dużym areale uprawianych roślin przeznaczonych do kompostowania.

Tab. 4. Wpływ rodzaju kompostu i czasu kompostowania na zawartość węgla organicznego w kompostach (mg·kg<sup>-1</sup>s.m.)  
Table 4. Effect of type of compost and composting time(days) on organic carbon content in composts (mg·kg<sup>-1</sup> DM)

Dni kompostowania Days of composting	Kompost / Compost				Średnia Average
	A	B	C	D	
0	371.57 ef	388.30 hi	272.92 d	321.00 e	327.46c
5	371.83 ghi	243.07 bc	373.53 ghi	265.40 bcd	313.46 b
9	387.60 hi	414.10 j	316.23 e	333.20 ef	362.78 d
21	365.73 gh	352.93 fg	320.30 e	367.20 gh	351.54 d
43	332.20 ef	316.00 e	204.00 a	244.00 bc	274.05 a
72	348.20 fg	280.00 d	242.00 b	270.00 cd	285.05 a
293	394.70 ij	256.20 bcd	239.97 b	244.20 bc	283.77a
Średnia / Average	361.12 d	321.51 c	281.28 a	292.15 b	

\*wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie dla p< 0,05 / \*values followed by different letters are significantly different at p< 0,05

Tab. 5. Wpływ rodzaju kompostu i czasu kompostowania na zawartość węgla w wyciągu wodnym z kompostów  
Table 5. Effect of type of compost and composting time in total nitrogen in water extract of composts

Dni kompostowania Days of composting	Kompost / Compost				Średnia Average
	A	B	C	D	
0	7.332 k	3.886 fgh	5.045ij	3.99f gh	5.063 f
5	5.446 j	7.587 k	9.160 l	9.801m	7.998 g
9	3.715 fg	4.275 gh	4.879 i	4.939 ij	4.452 e
21	2.958 e	3.525 f	3.799 fgh	3.891fgh	3.543 d
43	2.336 d	2.269 cd	4.366 h	2.849 e	2.955 c
72	2.110 bcd	1.956 bcd	1.674 b	1.718 bc	1.864 b
293	0.665a	0.991a	0.787 a	0.734 a	0.794 a
Średnia / Average	3.509 a	3.498 a	4.244 c	3.989 b	-

\*wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie dla p< 0,05 / \*values followed by different letters are significantly different at p< 0,05

Poza tym plon roślin przeznaczonych do kompostowania z korą jest na ogół uzależniony od warunków pogodowych (opady), a w przypadku mieszanki roślin, trzeba uwzględnić również ich różnicowany skład, w tym i składników organicznych, co ma znaczenie w dynamice ich rozkładu, jak i uwalnianych form azotu [13, 15].

#### 4. Wnioski

- Kompostowanie kory sosnowej z mieszanką roślin miało na ogół równorzędny, ale często i większy wpływ na zawartość form węgla i azotu w stosunku do kompostu z udziałem kory i mocznika.
- Efektywne mikroorganizmy nie wykazały istotnego wpływu na gromadzenie azotu ogólnego, ale sprzyjały większej zawartości węgla organicznego w kompoście, w porównaniu do kompostu z masą roślinną bez ich udziału.
- W warunkach kompostowania kory sosnowej z masą roślinną zwiększała się istotnie rozpuszczalność form azotu, w porównaniu do kompostu z udziałem efektywnych mikroorganizmów.

#### 5. Bibliografia

- [1] Andrzejewski M.: Wpływ nawożenia organicznego na przemiany związków próchnicznych w glebie. PTPN, Wyd. Nauk Rol. i Leśnych, 1962, XI, 6-48.
- [2] Ciavatta C., Antisari V. L., Sequi P.: Determination of organic carbon in soils and fertilizers. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 1989, 20(7&8), 759-773.
- [3] Czekala J.: Zmiany zawartości wybranych parametrów zachodzące podczas kompostowania kory sosnowej z roślinami. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2012, 57(3), 41-46.
- [4] Dickson N., Richard Th., Kozłowski R.: Composting to reduce the wastes stream. 1992, NRAES-43, Ithaca, New York, 53 pp.
- [5] Filipek Z.: Produkcja kompostu korowego metoda amoniakalną. NOT Kraków, 1981, 7, 97-103.
- [6] Haynes R.J., Sherlock R.R. Gaseous losses of nitrogen. In: Mineral nitrogen in the plant soil system, Haynes R.J. (ed.), Academic Press., 1986, 242-302.
- [7] He X.T., Mulvaney R.L., Stevenson F.J., Vanden Heuvel R.M.: Characterization of chemically fixed liquid anhydrous ammonia in an Illinois Drummer soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54, 775-780.
- [8] Janowicz L.: Biomasa w Polsce. Energetyka, 2006, 6, 601-604.
- [9] König B.: Untersuchungen zur stofflichen Verwendung von extrahierter Fichtenrinde. Cuvollier Verlag, Göttingen, 2006, 198.
- [10] Maggs C.W.: Factors affecting seedling growth in pine bark media. Unpublished M.Sc. Sgric. Thesis. 1985. Department of Horticultural Science, University of National, Pietermaritzburg, RSA.
- [11] Mupondi L.T., Mkeni P.N.S., Brutsch M.O.: Evaluation of pine bark or pine bark with goat manure or sewage sludge composts as growing media for vegetable seedlings. Compost Science & Utilization, 2006, 14, 4, 238-243.
- [12] Musgrave S. J.: Absorption of nitrogen from a liquid by pine bark. Lincoln University, Christchurch, New Zeland, 1996, 85 pp.
- [13] Nezomba H., Tauro T.P., Mtambanengwe F., Mapfumo P.: Indigenous legumes biomass quality and influence on C and N mineralization under indigenous legume fallow systems. SYMBIOSIS, 2009, 48, 78-91.
- [14] Orlando U.S., Baes A.U., Nishijima W., Okada M.: Preparation of agricultural residue anion exchangers and nitrate maximum adsorption capacity. Chemosphere, 2002, 48, 10, 1041-1046.
- [15] Sánchez-Monedero M.A., Roig A., Paredes C., Bernal M.P.: Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rudgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Bioresource Technology, 2001, 78, 301-308.

*Praca realizowana w ramach projektu badawczego NCN Nr 3055/B/P01/2011/40*