



Potencjalne zastosowanie flotacji w oddzielaniu materiałów PET i PLA

Potential application of flotation in separating PET and PLA materials

Romana TOPIARZOVÁ¹⁾ Vladimír ČABLÍK²⁾

¹⁾ Ing.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University Ostrava; 17.listopadu 15 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: romana.topiarzova@vsb.cz, tel.: (+420) 597 329 381

²⁾ Prof. Ing., CSc.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University Ostrava; 17.listopadu 15 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: vladimir.cablik@vsb.cz, tel.: (+420) 597 324 040

Streszczenie

Pomysł biodegradowalnych tworzyw sztucznych, tj. biologicznie degradowanych materiałów, okazuje się być możliwym rozwiązaniem na rosnące ilości odpadów tworzyw sztucznych, ponieważ biodegradowalne tworzywa mają istotnie mniejszy wpływ na środowisko i są w stanie przynajmniej częściowo zamienić produkcję tworzyw sztucznych z pochodnych oleju. Obecnie obiecującym kierunkiem wydaje się być rozwój polimerów na bazie kwasu mlekowego, zwanych polikwasami mlekowymi (PLA). Opakowania zrobione z takiego materiału, głównie butelki, mogłyby być użyte na masową skalę w przyszłości. Tak wytworzone odpady będą musiały być poddane recyklingowi, co może okazać się kłopotliwe ze względu na konieczność separacji biodegradowalnych materiałów od obecnych rodzajów tworzyw. Ten referat ma na celu zbadanie sposobu separacji PLA od PET (polyethylene terephthalate – politereftalan etylenu). Wymieszanie powyżej wymienionych tworzyw sztucznych w procesie recyklingu prowadzi do ich dewaluacji. W związku z występowaniem PLA, jakość materiału zmniejsza się podczas recyklingu butelek PET. Obecnie przeprowadzane badania w Institute of Environmental Engineering of Mining Faculty – Technical University of Ostrava skupiają się na możliwościach odseparowania dwóch materiałów za pomocą flotacji. Ta metoda przyniosła częściowy sukces, lepsze efekty są oczekiwane po jej optymalizacji.

Summary

The concept of biodegradable plastics, i.e. biologically degradable materials, appears to be a possible solution for an ever growing production of plastic wastes as the biodegradable plastics shall have a substantially lower environmental impact and be able to at least partially substitute the production of plastics from oil derivatives. Currently, a promising direction seems to be the development of a polymer on the base of lactic acid, called polylactic acid (PLA). Packaging made from the material, mainly drinks bottles, could be used on a mass basis in future. Such generated waste will have to be recycled, which shall bring problems connected with separation of biodegradable material from common plastics. This paper deals with the issue of separation of PLA from PET (polyethylene terephthalate). Mixing the above mentioned plastics in the recycling process leads to their devaluation. Due to the occurrence of PLA material the quality of the feedstock decreases during recycling PET bottles. The currently implemented research at the Institute of Environmental Engineering of Mining Faculty – Technical University of Ostrava examines the possibilities of separating the two materials by means of flotation. This method has brought a partial success, more effective results are expected after its optimization.

Słowa kluczowe: PLA, PET, plastyki biodegradowalne, flotacja

Keywords: PLA, PET, biodegradable plastics, flotation

Wprowadzenie

Politereftalan etylenu (PET) stał się najczęściej stosowanym materiałem w procesie pakowania na całym świecie i to nie tylko w przypadku napojów. Zwiększone wymagania dotyczące PET są spowodowane jego olbrzymią wszechstronnością i zdolnością do akomodacji w przypadku bardzo specyficznych wymagań. Tendencja ta jest również spowodowana jego (PET) znakomitymi właściwościami, w szczególności wytrzymałości mechanicznej, inercji czy jego niskiej wagi w porównaniu z wcześniej używanymi materiałami pakowymi (I). Co więcej, podczas ostatnich kilku lat poczyniono znaczący postęp w przypadku recyklingu PET. Czystość

Introduction

Polyethylene terephthalate (PET) has become the most applied packaging material worldwide not only for beverages. An increased demand for PET is caused by its extreme versatility and ability to accommodate to very specific technical requirements. The trend is also supported by its excellent material properties, especially mechanical resistance, inertness or its low weight compared with previous packaging materials (I). Moreover, during the past few years a significant progress has been made in its recycling process. The purity of the so-called regranulate (recycled feedstock) is improving. The

tw. regranulatu (materiału poddanego recyklingowi) jest udoskonalana. Regranulat może być stosowany w wielu branżach, poczynając na przemyśle tekstylnym (wypełnienie poduszek), przez motoryzację (różne elementy z tworzywa sztucznego) aż na produkcji materiałów izolacyjnych kończąc. Nade wszystko, po zmieszaniu go z czystym PET można otrzymać nową butelkę (proces B2B – Bottle to Bottle). Taka butelka została po raz pierwszy wyprodukowana w USA w 1991 roku, a obecnie taka technika jest często stosowana, co sprawia, że PET jest jednym z najbardziej efektywnych materiałów nie tylko z punktu widzenia wykorzystania surowca, ale również ze względów ekonomicznych (2). W momencie gdy eksperci odkryli zasadę otrzymywania regranulatów o ponadprzeciętnej czystości, biotworzywa pojawiły się na rynku. Reprezentują one na pierwszy rzut oka bardzo akceptowalną alternatywę dla tworzyw konwencjonalnych. Mimo faktu, że biotworzywa stanowią obecnie mniej niż 1% światowej produkcji wszystkich tworzyw, to branża ta rozwija się w tempie 20–30% rocznie (3). Trzeba przyznać jednak, że potrzeby rynku pozostają niezaspokojone. Początkowo, biotworzywa używane były do wielu zastosowań, na przykład jako szwy absorbujące w chirurgii, implanty ortopedyczne, produkty dla przemysłu kosmetycznego i farmaceutycznego, siatki i produkty z włókniny używane w rolnictwie, rybołówstwo itp.

Kwas mlekowy i PLA

Kwas mlekowy (kwas 2-hydroksypropionowy), $\text{CH}_3\text{-CHOHCOOH}$ jest najczęstszym kwasem hydroksykarboksylowym. Ma on szerokie zastosowanie w przetwarzaniu żywności, farmaceutyce, przemyśle tekstylnym, produkcji skór i przemyśle chemicznym. Kwas mlekowy jest naturalnie występującym kwasem organicznym, który może być produkowany w procesie chemicznej syntezy bądź fermentacji. Źródłem węgla dla mikrobiologicznej produkcji kwasu mlekowego może być zarówno cukier prosty jak glukoza, sacharoza, laktoza itp., jak również cukier zawarty w melasach, serwatka, wyciśnięta trzcina cukrowa czy uprawy skrobiowe takie jak ziemniaki, tapioka, pszenica, jęczmień, kukurydza itp (5).

PLA jest polimerem na bazie kwasu mlekowego i pośród jego największych zalet jest możliwość degradacji w warunkach kompostowania w czasie 75 do 80 dni (6). Na ogół podczas degradacji polimeru olbrzymia część łańcuchów bocznych makrocząstek rozszczepia się na prostsze struktury, które mogą być użyte jako części kompostu, a zatem jako nawóz sztuczny. Butelki PLA mają podobne właściwości do butelek PET oprócz kilku wyjątków (nie mogą być wypełniane napojami gazowanymi). Ważnym wskaźnikiem ograniczającym dla ich masowego użycia jest koszt produkcji kwasu mlekowego i jego

regranulate can be used in many branches, from the textile industry (filling for sleeping bags), via automotive (various plastic parts) all the way to the production of insulation. Above all, mixing it with pure PET a new bottle can be made (process B2B – Bottle to Bottle). Such a bottled was first produced in the USA in 1991 and at present the B2B process is much used, which makes PET one of the most efficient materials not only from the point of view of secondary raw material utilization but also from the economic point of view (2). At the moment when experts found out the principle to achieve the above-average purity of the regranulate, bioplastics appeared on the market. They represent a very acceptable alternative to the conventional plastics at first sight. Despite the fact that bioplastics currently amount to less than 1% of the annual world production of all used plastics, this branch grows by 20 to 30% year on year (3). Still, it must be pointed out that the market demand remains unsatisfied. Originally, bioplastics were used in various applications, for example as absorbable stitches for surgical operations, orthopaedic implants, products for cosmetics and transport of pharmaceuticals, nets and non-woven products to be used in the agriculture, fishing, etc.

Lactic acid and PLA

Lactic acid (2-hydroxypropionic acid), $\text{CH}_3\text{-CHOHCOOH}$, is the most frequent hydroxykarboxylic acid. It has a versatile utilization in the food-processing, pharmaceutical, textile industry, leather manufacturing and chemical industries. Lactic acid is a naturally occurring organic acid, which may be produced through a chemical synthesis or fermentation. The source of carbon for microbial production of lactic acid may either be sugar in pure form, such as glucose, saccharose, lactose, etc. or sugar contained in molasses, whey, wrung sugar cane or starch crops, such as potatoes, tapioca, wheat, barley, maize, etc (5).

PLA is a polymer on the lactic acid base and among its best advantages is its possible degradability in the conditions of commercial composting during 75 to 80 days (6). In general, during the polymer degradation the major or side chains of macromolecules split into simpler compounds, which may be consequently used as parts of compost and thus as a fertilizer. PLA bottles have similar properties to PET bottles with some exceptions (apart others they cannot be filled with carbonated drinks). An important limiting factor for their mass use is also the production costs of lactic acid and its deri-

pochodnych, który zależy od wielu czynników (fizycznych, chemicznych, ekonomicznych, środowiskowych).

Wpływ butelek PLA na PET podczas recyklingu

Zużycie opakowań PET zwielokrotniło się na przestrzeni ostatnich kilku dekad. Dlatego też w recyklingu procent butelek przetwarzanych metodą B2B wzrasta. W procesie tym istnieje problem w momencie, gdy PLA (lub inne biotworzywo) i PET pojawiają się jednocześnie gdy ustalony jest nacisk na jakość recyklingu i czystość recyklatu PET (7). Z powodu właściwości, biodegradowalne tworzywo PLA mogłoby obniżyć wartość recyklatu PET i w konsekwencji otrzymany regranulat PET miałby niższą jakość. W ten sposób, produkcja butelek PET staje się skomplikowana (16). Biorąc pod uwagę właściwości regranulatu PLA, zmieszany z regranulatem PET niszczy właściwości cząsteczkowe nowych butelek PET. Te stają się bardziej kruche i pękają w ostatecznym procesie rozdmuchiwania. Kluczowym pytaniem jest zatem: jak uzyskać doskonałą separację tych dwóch materiałów (8).

Wiele zagranicznych zakładów zajmujących się recyklingiem butelek PET musiało zacząć stawić czoła temu problemowi. Propozycją 100% rozdzielania dwóch materiałów przed dopuszczeniem do procesu recyklingu jest odłożenie butelek (9) W przechowalni stosuje się tzw. systemy RMV (Remote Membership Validation) w celu rozpoznania poszczególnych butelek na podstawie koloru bądź właściwości chemicznych, a następnie sortuje się je. System depozytowy dla butelek PET sprawdza się w Austrii, Skandynawii czy Niemczech. Dzisiejsze linie recyklingowe są bezpośrednio wyposażone w urządzenie będące w stanie oddzielić PVC (poliwinylchlorid – polichlorek winylu), PE (polietylen), HDP (difosfat guanozyny) oddzielają butelki bazując na kolorze za pomocą czujników NIR (Near Infra Red – Bliska Podczerwień), jednak nie są w stanie oddzielić butelek PLA (10) Inną możliwością oddzielenia butelek jest proces flotacji, który jest używany w przypadku recyklingu materiałów o wspólnej podstawie, jednak jego zastosowanie w separacji materiałów PET i PLA nie zostało do tej pory zbadane.

Zasada flotacji butelek PET i PLA

W celu efektywnego oddzielenia różnych typów tworzyw sztucznych stosuje się flotację (13). W przypadku flotacji tworzyw Carvalho i inni (2010) badali możliwości flotacji PET w celu oddzielenia go od mieszaniny PVC i PS. Wykorzystując połączenie obróbki alkalicznej i adsorpcji środków powierzchniowo czynnych z sukcesem otrzymali produkt PET, który zawierał ponad 97% PET (14). Sisol, Kozakova

vatives which depend on many factors (physical, chemical, economic and environmental).

PET influenced by PLA bottles during recycling

The consumption of PET packaging has multiplied in the past few decades. Therefore, in recycling the percentage of bottles recycled in the B2B manner is going up. In this process there is a problem at the moment when PLA (or other bioplastics) and PET appear in the recycling process simultaneously as there is an emphasis on the quality of recycling and purity of the PET recycle (7). Due to its properties, biodegradable material PLA would depreciate the PET recycle and the consequently produced PET regranulate would have a lower quality. In this way, the production of PET bottles gets complicated (16). Mixed with PET regranulate, due to its biodegradable properties PLA regranulate disturbs the molecular properties of the new PET bottles. These then become more fragile and crack in the final phase of blow moulding. The key question is how to achieve perfect separation of the two materials (8).

A number of foreign companies dealing with PET bottle recycling have started to face the issue. An option how to achieve 100% sorting of the two materials before the admission into the recycling process is deposits on bottles (9). In depositing bottles the so-called RMV systems (Remote Membership Validation) are used which recognize the individual bottles based on colour or chemical properties and sort them. The deposit system on PET bottles works well for example in Austria, Scandinavia or Germany. Today's recycling lines are directly equipped with a device able to separate PVC (polyvinylchlorid), PE (polyetylen), HDP (guanosin difosfat), separate bottles based on colour by means of NIR sensors (Near Infra Red), but are not capable of PLA separation. (10) Another option how to separate the bottles is the flotation process, which is used in recycling operations on a common basis, but its application in the separation of PET and PLA materials has not been much explored so far.

Principle of flotation of PET and PLA bottles

If the individual types of plastics are to be effectively separated by means of flotation (13). In the field of flotation of plastics for example Carvalho et al. (2010) studied the possibilities of flotation of PET to separate it from the mixture with PVC and PS. Taking advantage of combining alkaline treatment and adsorption of surfactants they succeeded in the recovery of PET product that contained over 97% of PET (14).

i Bakalar skorzystali w oddzielaniu flotacyjnym PET z mieszaniny odpadów tworzywa sztucznego, tj. PET, PVC i PS. Używając 4% i 6% roztworu NaOH i PEG (politlenek etylenu) uzyskali ponad 99% cząstek PET po flotacji (15). Zagadnieniem tym zajmowali się również Haller, Robert, Sughrue i Rothwell, którzy opatentowali flotacyjną metodę oddzielania tworzyw sztucznych od mieszanin (Patent 39267910 (26, 15).

Czynniki flotacyjne

W przypadku flotacji tworzyw sztucznych najczęściej stosowanymi czynnikami są wodorotlenek sodu, węglan sodu, wapno bądź kwasy nieorganiczne, np. kwas solny, kwas siarkowy itp. (15, 16, 20). W celu zbadania zdolności do flotacji PET i PLA w VSB TUO zastosowano 8% wodny roztwór NaOH.

Flotacja pianowa

Środkami spieniającymi używanymi we flotacji tworzyw sztucznych mogą być np. olej sosnowy, kwas foliowy, olej eukaliptusowy, olejek kamforowy, pochodne wyższych alkoholi i ich mieszaniny. Olej sosnowy dał się poznać jako najbardziej efektywny środek spieniający we wspomnianym badaniu (15, 16, 20).

Część eksperymentalna – Flotacja butelek PET i PLA

Do przeprowadzenia eksperymentu użyto butelek PET i PLA, które różniły się kolorem w celu przeprowadzenia ich dokładnej identyfikacji oraz zweryfikowania metody i oszacowania wydajności. PET ma gęstość 1,35–1,41 [g·cm⁻³] (kolor niebieski), a PLA gęstość 1,15 [g·cm⁻³] (kolor przezroczysty) (15).

Metoda laboratoryjna

Eksperymenty przeprowadzono na próbce tworzywa PLA (kwas mlekowy) dostarczonej przez firmę Bioplanet (22) oraz na butelkach PET (politereftalan etylenu) dostarczonych przez Excelsior Group s.r.o. (23). Obie próbki były nowe i nie używane przed flotacją. Czynnikiem flotacyjnym był wodny roztwór 8% NaOH, a rolę spieniacza pełnił olej sosnowy. Tworzywa zostały mechanicznie przycięte do formy płatków o wymiarze ok. 10×10 mm (± 3 mm). Próbki tworzyw w ilości 160 sztuk każdego rodzaju zostały zważone. Średnia waga wyniosła ok. 1,80 g w przypadku płatków PET i 2,10 g w przypadku płatków PLA. Następnie 200 ml roztworu podgrzano do temperatury początkowej. Po jego podgrzaniu, płatki PET i PLA przesypano do roztworu i mieszano przez 30 minut w mieszadło TECNO KARPEL. Użyto laboratoryjnej kolumny flotacyjnej będącej własnością Institute of Environmental Engineering of Miting College – Technical University of Ostrava. Postępowanie

Sisol, Kozáková and Bakalár engaged in flotation separation of PET from the mixture of waste plastics, i.e. PET, PVC and PS. Using 4% and 6% solution of NaOH and PEG (polyethylenglykol) frother they reached the level of over 99% of floated PET particles (15). This question was also dealt with by Halper, Robert, Sughrue, and Rothwell, who had the flotation method of plastics separation from plastic mixtures patented (Patent3926791) (26, 15).

Flotation agents

For the flotation of plastics the most commonly applied agents are sodium hydroxide, sodium carbonate, lime or inorganic acids, e.g. hydrochloric acid, sulphuric acid, etc. (15, 16, 20). Doing research in floatability of PET and PLA at VŠB TUO the aqueous solution 8% NaOH was chosen for this type of flotation.

Flotation frother

Frothers used in the flotation of plastics are for example pine oil, kresyl acid, eucalyptus oil, camphor oil, derivatives of higher alcohols or their mixtures. Pine oil has proved to be a very effective frother during the mentioned research (15, 16, 20).

Experimental – Flotation of PET and PLA bottles

For the experiments, the samples of PET and PLA bottles were used, which were differentiated in colour in order to conduct their consequent identification, to verify the method and to determine the yields. PET is the density 1.35–1.41[g·cm⁻³], (the color is blue) and PLA is the density 1.15 [g·cm⁻³], (the color is transparent) (15).

Laboratory experiment method

The experiments made use of a sample of cut PLA (Polylactic acid) plastic, supplied by the company of Bioplanet (22) and PET (Polyethylene terephthalate) bottles, supplied by Excelsior Group s.r.o. (23). Both the samples were new and unused before flotation. The flotation agent was an aqueous solution of 8% NaOH and pine oil was used as a frother. The plastics were mechanically cut to the final flake dimensions of approximately cca 10×10 mm (±3 mm). The samples of plastics in 160 pieces of each type were weighed. The mean weight ranged around 1.80 g in PET flakes and 2.10g in PLA flakes. Next, 200 ml of solution was heated to the set temperature. After its heating, PET and PLA flakes were poured into the solution and were stirred for 30 minutes in a TECNO KARPEL stirrer. A laboratory column flotation machine of the Institute of Environmental Engineering of Mining College – Technical University of Ostrava was used for the flotation

w procesie flotacji było następujące: cylinder flotacyjny wypełniono 2 litrami wody i podgrzany roztwór NaOH wraz z płatkami PET i PLA został dodany. Następnie wkroplono olej sosnowy będący spieniaczem (0,2 ml). Woda uniosła się do krawędzi cylindra flotacyjnego i rozpoczął się właściwy proces flotacji. Jego czas trwania określono na 4 minuty. Poddane flotacji cząsteczki PLA i PET zostały ręcznie oddzielone od siebie na sicie, a uzysk flotacji obliczono po procesie.

Wyniki i ich interpretacja

Przy zwiększonej temperaturze i obecności NaOH następuje hydroliza na powierzchni płatków PET i PLA, co wywołuje zaburzenia. W odniesieniu do biodegradowalności (składu chemicznego) PLA, NaOH wywiera znacznie większy wpływ na rodzaj tworzyw, ich powierzchnia jest bardziej naruszona, a podczas flotacji łączy się ze sobą więcej pęcherzyków powietrza niż w przypadku PET. W rezultacie więcej płatków PLA oddziela się od cylindra flotacyjnego.

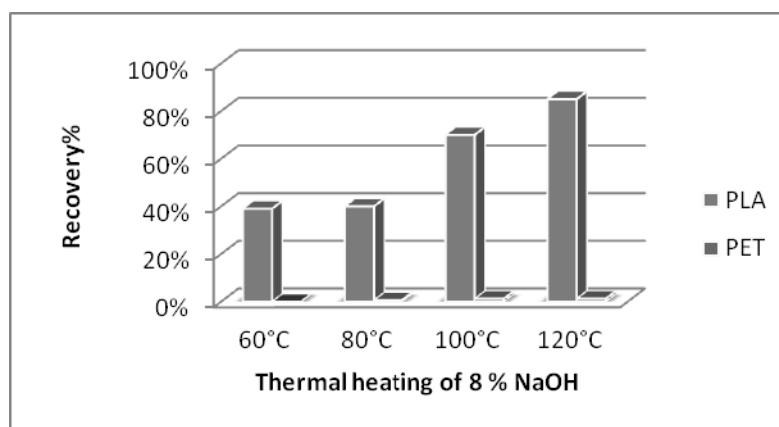
Bazując na rysunku 1, przedstawiającym uzysk płatków PLA w zależności od temperatury roztworu, można zaobserwować, że im większa temperatura tym wyższy uzysk płatków PLA. Najbardziej zauważalna różnica wystąpiła w temperaturze 120°C, gdy ilość poddanych flotacji cząsteczek wyniosła 85,62%, co jest jednocześnie najlepszym wynikiem całego eksperymentu. Najniższy z kolei uzysk związany jest z temperaturą 60°C. To zjawisko może być przez późniejsze zaburzenie powierzchni PLA spowodowane wysoką temperaturą, a zatem jej zniekształcenie, które nie jest tak znaczne w przypadku płatków PET. Podczas użycia 8% NaOH uzysk w odniesieniu do PLA wyniósł: 60°C – 39,73%, 80°C – 40,00%, 100°C – 70,00%, 120°C – 85,62%.

experiment. The flotation process procedure was as follows: the flotation cylinder was filled with 2 l of H₂O and heated solution of NaOH was added with PET and PLA flakes. Next, pine oil was dropped in as a frother (0.2 ml). Water was topped to the flotation cylinder edge and the own flotation followed. The flotation time was determined as 4 min. Consequently, the floated particles of PLA and PET flakes were manually separated from one another on a sieve and the flotation yield was calculated.

Results and their interpretation

At increased temperatures and presence of NaOH there is hydrolysis of the PET and PLA flake surface, which causes disturbance of their surface. With respect to biodegradability (chemical composition) of PLA, NaOH affects the type of plastics more markedly, their surface is more disturbed and during flotation more air bubbles combine with the surface than in case of PET. As a result more PLA flakes segregate from the flotation cylinder.

Based on Figure 1, depicting the yield of PLA flakes in dependence on the solution temperature, it is possible to observe that higher the temperature, higher the yield of PLA flakes. The most perceptible difference occurred at the temperature of 120°C, when the number of floated away particles amounted to 85.62%, which is the highest obtained result of the experimental. On the contrary, the lowest yield is connected with the temperature of 60°C. This phenomenon can be explained by further disturbance of the PLA surface due to the high temperature and thus its distortion which is not that prominent in PET flakes. When using yield of 8% NaOH at PLA at 60°C – 39.73%, 80°C – 40.00%, 100°C – 70.00%, 120°C – 85.62%.



Rys. 1
Wychód produktu pianowego PLA, zbieracz 8% roztwór NaOH, spieniacz olej sosnowy

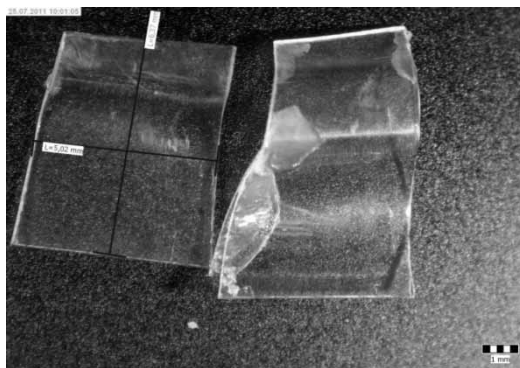
Fig. 1
Yield of the floated away PLA using 8% NaOH and pine oil as a frother

Zdjęcia zrobione na koniec procesu flotacji pokazują zdeformowane płatki PLA w odniesieniu do 8% roztworu NaOH i temperatur 60°C, 80°C, 100°C i 120°C. Widoczne są w próbkach zaokrąglone krawędzie i zniekształcone płatki z powodu ogrzewania, które skutkowało wyższymi uzyskami PLA we flotacji. W przypadku pierwszej próbki pozostawionej w 8% roztworze NaOH w temperaturze 60°C na czas 30 minut (Fot. 1) nie następuje widoczna zmiana w zaokrągleniu krawędzi. Wraz ze wzrostem temperatury do 80°C (próbka 2), zmiany są bardziej dostrzegalne, mianowicie nieznaczne skręcenia próbek (Fot. 2). W próbce trzeciej która została wystawiona na działanie 100°C, wyraźne jest skręcenie o 48°, a uzysk flotacji płatków PLA wyniósł 70%. Ostatnia sfotografowana próbka 4 (Fot. 4) jest tak skręcona, że krawędzie się dotykają wskutek czego płatki PLA poddane flotacji zwijają się. Ta metoda pozwoliła uzyskać największy zysk, tj. 85%.

W większości płatków PLA poddanych flotacji znajdowały się cząsteczki PET, które były z całym prawdopodobieństwem wywołane przez zamknięcie elementów PET w klasterach składających się z cząstek PLA. Kolejne eksperymenty będą się skupiać na eliminacji tego efektu.

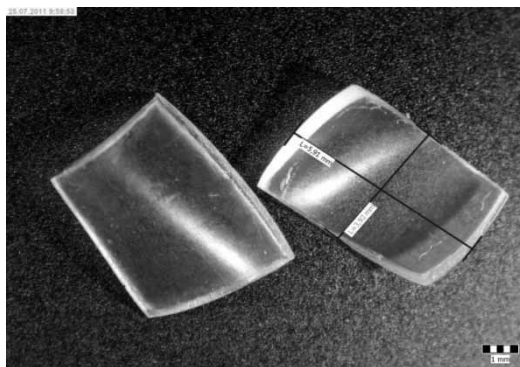
The photos taken having finished the flotation process show the deformed PLA flakes due to the 8% solution of NaOH and the temperatures of 60°C, 80°C, 100°C and 120°C. It is apparent in the samples that the cut edges are rounded and the own flakes are distorted due to the thermal heating, which resulted in higher yields of PLA in the process of flotation. In case of sample 1 which was left in 8% NaOH at the temperature of 60°C only for 30 minutes (See photo 1) there is no apparent deformation or rounding of the edges. Along with a rise in the temperature to 80°C (sample 2), changes are already more perceivable, namely slight twisting of the samples (photo 2). In sample 3 which was exposed to 100°C the twisting by 48° is clear and the flotation yield of PLA flakes was 70%. The last photographed sample 4 (photo 4) is so twisted that the edges touch one another and the floated away PLA flakes consequently roll. This method brought the highest yield, i.e. 85%.

In the majority of floated away PLA flakes there were mixed in PET particles, which was in all probability caused by capture of PET fragments into larger clusters of PLA particles. The following experiments will focus on the elimination of this option.



Fot. 1
Produkt pianowy, zbieracz 8% NaOH, temperatura 60°C

Photo 1
Floated PLA flakes using 8% NaOH and 60°C



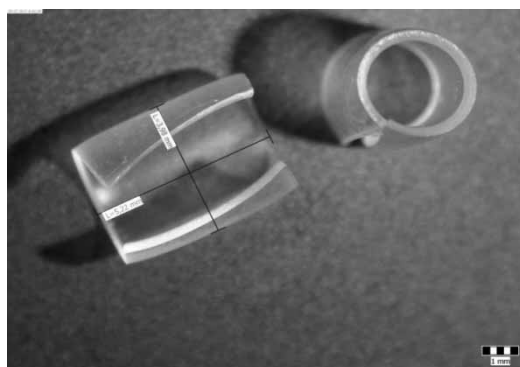
Fot. 2
Produkt pianowy, zbieracz 8% NaOH, temperatura 80°C

Photo 2
Floated PLA flakes using 8% NaOH and 80°C



Fot. 3
Produkt pianowy, zbieracz 8% NaOH, temperatura 100°C

Photo 3
Floated PLA flakes using 8% NaOH and 100°C



Fot. 4
Produkt pianowy, zbieracz 8% NaOH, temperatura 120°C

Photo 4
Floated PLA flakes using 8% NaOH and 120°C

Przeprowadzone doświadczenie mające na celu zbadanie zdolności do flotacji tworzyw PET i PLA dowiodło, że przy odpowiednim stężeniu roztworu NaOH i właściwej temperaturze możliwe jest osiągnięcie separacji dwóch różnych typów tworzyw. Wyniki badania również pokazują, że zdolność do flotacji zużytych tworzyw sztucznych jest znacząco spowodowana rozmiarem i kształtem cząsteczek po flotacji jak również warunkami hydrodynamicznymi czynnika flotacyjnego.

Wnioski

Obecnie tworzywa sztuczne są rozdzielane w celu przeprowadzenia recyklingu na podstawie różnic we właściwościach fizycznych (różne rodzaje polimerów, gęstość, kolor itp.). Funkcjonalność metod musi być zweryfikowana w celu oddzielenia nowych typów materiałów, np. biotworzyw. Ich współistnienie z konwencjonalnymi tworzywami sztucznymi powoduje niewyobrażalne zanieczyszczenie recyklatu pochodzącego z tworzyw konwencjonalnych, a co za tym idzie zmniejszenie jakości, lub zanieczyszczenie i obniżenie wartości kompostu do którego biotworzywa są przetwarzane.

The experiments implemented to identify the floatability of PLA and PET proved that making use of a suitable concentration of NaOH solution and suitable temperature, it is possible to achieve separation of the two types of plastics. The experiment results also manifested that the floatability of the used plastics is significantly affected by the shape and size of the floated particles as well as by the hydrodynamic conditions of the flotation medium.

Conclusion

Currently, plastics are separated for recycling based on their different physical properties (various types of polymers, density, colour, etc.). The functionality of the methods must be verified in order to separate new types of materials, e.g. bioplastics. Their coexistence with conventional plastics causes undesirable contamination of the conventional plastic recyclate and thus its lower quality, or the contamination and devaluation of the compost to which the bioplastics are converted.

Aby zapobiec powyżej wymienionym zjawiskom, ważne jest oddzielenie tworzyw sztucznych skutecznym sposobem. Metodą, której funkcjonalność przebadano w warunkach laboratoryjnych jest flotacja. Pierwsze rezultaty pokazują, że w przyszłości może być ona stosowana w codziennej praktyce firm recyklingowych, ale proces ten musi być odpowiednio zoptymalizowany poprzez zbadanie czynników wpływających na wspomniany proces technologiczny.

Podziękowanie

Badanie zostało wsparte przez dotację na badania nr SP2011/108 oraz przez Kraj Morawsko-Śląski.

In order to prevent the above mentioned phenomena, it is important to separate the plastics in an effective manner. One method, whose functionality is being tested in the laboratory conditions, is flotation. The first results show that in future the method could be applied in the every-day practice of recycling companies, but the process must be optimized examining the factors influencing the mentioned technology.

Acknowledgement

This study was supported by the research internal grant No. SP2011/108 and the Moravia-Silesian Region.

Literatura – References

1. *PETRA (Pet Resin Association) [online]. 2011 [cit. 2011-08-09]. About PET. Available on WWW: <<http://www.petresin.org/aboutpet.asp>>.*
2. *NEZVAL, Jiří . Přehled o recyklaci PET metodou B2B ("bottle to bottle"). PETrecycling CZ [online]. 26.05.2006, 01, [cit. 2011-08-22]. Available on WWW: <http://www.petrecycling.cz/b2b_prehled.htm>.*
3. *LAGARON, Jose M.; LOPEZ-RUBIOA, Amparo. Nanotechnology for bioplastics:next term opportunities, challenges and strategies . Trends in Food Science & Technology [online]. 1.7.2011, 1016, [cit. 2011-08-09]. Available on WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224411000082>>.*
4. *NatureWorks LLC [online]. 2010 [cit. 2011-08-09]. The Ingeo Journey. Available on WWW: <<http://www.natureworksllc.com/the-ingeo-journey.aspx>>.*
5. *SÖDERGÅRD, Anders ; STOLTA, Mikael . Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition. Progress in Polymer Science [online]. July 2002, 6, [cit. 2011-08-09]. Available on WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670002000126>>.*
6. *Bioplaneta [online]. 2010 [cit. 2011-08-09]. Bioobaly. Available on WWW: <<http://www.bioplaneta.cz/bioobaly.html>>.*
7. *From Plants to Plastic.[online]. Nature Works LLC, updated 01.09.2009. Available on WWW: <<http://www.natureworksllc.com/about-natureworks-llc/from-plants-to-plastic.aspx>>*
8. *SÁNCHEZ, A. Carné ; COLLINSON, S.R. The selective recycling of mixed plastic waste of polylactic acidnext term and polyethylene terephthalate by control of process conditions . European Polymer Journal [online]. 13.7.2011, 2, [cit. 2011-08-09]. Available on WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305711002618>>.*
9. *Bioplasty! Ano či ne? [online]. OBRUČKA Stanislav, Gate2Biotech aktualizováno 05.07.2008. Available on WWW: <http://www.gate2biotech.cz/bioplasty-ano-ci-ne/>*
10. *TACHWALIA, Y. ; AL-ASSAF, Y.; AL-ALI, A.R. . Automatic multistage classification system for plastic bottles recyclingn term. Resources, Conservation and Recycling [online]. December 2007, 2, [cit. 2011-08-09]. Available on WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344907000699>>.*
11. *FEČKO, Peter. Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001. 150 s. ISBN 80-7078-921-2.*

12. *GHAURI, M.A., et al. Status of coal biotechnology in Pakistan. In DONATI, Edgardo R., et al. 18th International Conference IBS. Bariloche, Argentina : [s.n.], 2009. s. 513-516.*
13. *Flotace [online]. updated 06.010.2010.*
Available on WWW: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/flotace.html
14. *CARVALHO, Teresa; DURÃO, Fernando; FERREIRA, Célia. Separation of packaging plastics by froth flotation in a continuous pilot plant. Waste Management [online]. 2010, 30, 11, [cit. 2010-11-09].*
Available on WWW:
<http://80.www.sciencedirect.com/dialog/cvut.cz/science?_ob=MImg&_imagekey=B6VFR-50CD1XM-1C&_cdi=6017&_user=822117&_pii=S0956053X10003119&_origin=search&_coverDate=11%2F30%2F2010&_sk=999699988&view=c&wchp=dGLbVtz zSkWb&md5=80d96413d22d0a960730f3a07eeeb0fc&ie=/sdarticle.pdf>.
15. *SISOL, Martin , et al. Flotačná separácia PET zo zmesi odpadových plastov PET, PVC a PS . Acta Montanistica slovacica [online]. 29.102002, 01, [cit. 2011-08-22].*
Available on WWW: <<http://actamont.tuke.sk/pdf/2005/n5/9sisol.pdf>>.
16. *DAVIS, G; SONG, J.H. . Biodegradable term packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. Industrial Crops and Products [online]. March 2006, 2, [cit. 2011-08-22].*
Available on WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669005000658>>.
17. *KMEŤ, S. Flotácia. Vysoká škola technická v Košicích, Banická fakulta, Alfa Bratislava, 1983. 389 s. ISBN II-178924-6343/83.*
18. *KONOPACKA, Żaklina. Flotacja mechaniczna [online]. Wrocław : [s.n.], 2005 [cit. 2010-08-20].*
Available on WWW: <http://www.dbc.wroc.pl/dlibra/docmetadata?id=1008&from=&dirids=1&ver_id=21294&lp=2&QI=BC5B51A8EE2DDB5254EF1FF1E709BB11-15>.
19. *KINTISZEWA-DIMITROWA, R., STOEW, S. Flokulacja selektywna. Katowice, Śląsk, 1987. 103 s. ISBN 83-216-0637-7.*
20. *Flotation method of separation of mixture of plastics, [online]. Freepatentsonline, update 06.010.2010.*
21. *ŠTOFKO, M., ŠTOFKOVÁ, M. Neželezné kovy. Emilea, Košice. 304 s. ISBN 80-7099-527-0.*
22. *Bioplaneta [online]. 2010 [cit. 2011-08-22].*
Available on WWW: <<http://www.bioplaneta.cz/>>.
23. *Exelsior.Gorup s.r.o [online]. 2010 [cit. 2011-08-22].*
Available on WWW: <<http://www.exelsior.org/onas.html>>.
24. *SHEN, Lie; WORRELL, Ernst ; K. PATEL, Martin . Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle term-to-fibre recycling . Resources, Conservation and Recycling [online]. November 2010, 1, [cit. 2011-08-22].*
Available on WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344910001618>>.