

## PLASTIKO ATLIEKŲ RŪŠIAVIMAS HIDROCIKLONE

Ernestas Šutinys<sup>1</sup>, Vytautas Striška<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>ernestas.sutinys@vgtu.lt; <sup>2</sup>vytautas.striska@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje pateikti duomenys apie plastiko atliekų rūšiavimą hidrociklone. Atlikti plastiko atliekų rūšiavimo hidrociklone bandymai. Taip pat pateikti rezultatai, gauti eksperimento metu šiai plastiko atliekų rūšiavimo technologijai taikant eksperimentinį įrenginio modelį, skirtą skirtingo tankio plastikui rūšiuoti.

**Reikšminiai žodžiai:** plastikas, atliekos, rūšiavimas, hidrociklonas.

### Įvadas

Lietuvai tapus Europos Sąjungos valstybe, vis aktualesnės tampa aplinkosaugos problemos. Didėjant plastiko pakuočių ir plastiko atliekų kiekiui, labai svarbūs plastiko pakuočių bei jų atliekų valdymo ir kontrolės klausimai. Norint sureguliuoti šalies pramonę, didinti produkcijos augimą, gerinti kokybę ir mažinti atliekų kiekį, reikia numatyti ne tik gaminamo gaminio naudojimą reikiams tikslams, bet ir produkto utilizavimą, kai jis bus netinkamas, arba antrinį perdirbimą beatliekėmis technologijomis, kad produktą vėliau vėl būtų galima naudoti naujiems gaminiams gaminti. Lietuvoje plastiko pakuočių perdirbimas nėra labai išplėtotas ir negali prilygti užsienio įmonėms, tačiau jis gali būti perspektyvus, nes plastiko pakuočių kiekis kiekvienais metais didėja. Plastiko pakuotes ir plastiko pakuočių atliekas, pagamintas iš vienos medžiagos, galima rūšiuoti įvairiais metodais. Plastiko pakuotes ir plastiko pakuočių atliekas, pagamintas iš kelių plastiko rūšių, rūšiuoti būtina, nes perdirbimo metu viena plastiko rūšis, patekusi į kitą, blogina fizikines savybes ir mažina naudojimo galimybes. Susmulkintas kelių rūšių plastikas dažniausiai rūšiuojamas nusodintuvuose. Tokiais įrenginiais surūšiuotą plastiką galima vėl naudoti gamybai.

### Plastiko rūšiavimas

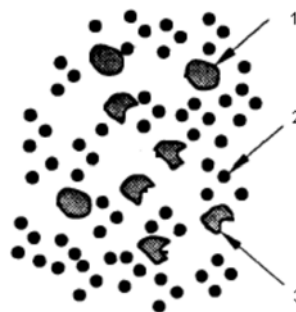
Rūšiavimas hidrociklonuose pagrįstas plastiko dribsnių veikimu išcentrinėmis jėgomis. Srautas, suspaustas pulpa (1 pav.), nukreipiamas į cilindrinę hidrociklono dalį, išskamas ir pirminiu sukuriu spirale leidžiamas žemyn, kol pasiekia hidrociklono apačią. Išcentrinės jėgos stipresnės už svorio jėgą, todėl maži ir lengvi plastiko dribsniai negali judėti srauto trajektorija ir veikiami išcentrinė jėgų

prispaudžiami prie sienelės. Cilindrinėje hidrociklono dalyje link centro statinis slėgis mažėja. Sraute plastiko dribsnį veikianti jėga išsilygina ir tampa lygi išcentrinei srauto jėgai. Palei sienelę esantį sluoksnį veikia mažesnės išcentrinės jėgos. Kūginėje hidrociklono dalyje slėgis krinta ir srautą spaudžianti jėga tampa didesnė už išcentrinę jėgą, tuomet vandens srautas sukuriu pavidalu pradeda kilti į viršų, susidaro antrinis sukurius, kuris ir pasiima dalį plastiko dribsnių. Kita antrinio sukuriu dalis su plastiko dribsniais vėl patenka į pirminį sukurių, kuris nukreipiamas link sienelių. Išilgai kūginės sienelės einantis pirminis sukurius pagriebia atmetą dalelę ir nukreipia ją žemyn į bunkerį.

Dalelę bet kurioje hidrociklono vietoje veikia dvi viena kitai priešingos jėgos: į išorę nukreipta išcentrinė jėga  $F_c$  ir į vidų nukreipta pasipriešinimo jėga  $F_d$  (2 pav.).

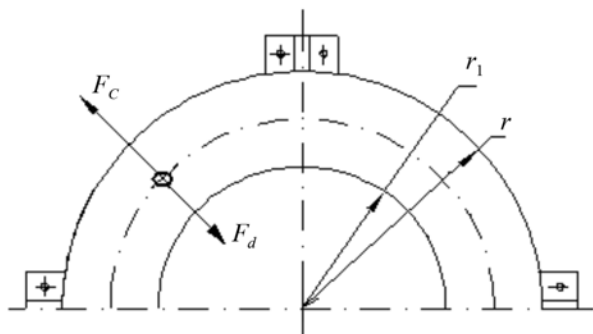
$$F_c = \frac{\pi d_v^3}{6} (\rho_s - \rho_l) \omega^2 r, \quad (1)$$

čia  $F_c$  – išcentrinė jėga (N);  $d_v$  – dalelės skersmuo (m);  $\rho_s$  – dalelės tankis ( $\text{kg/m}^3$ );  $\rho_l$  – skysčio tankis ( $\text{kg/m}^3$ );  $\omega$  – dalelės kampinis greitis (rad/s);  $r$  – hidrociklono spindulys (m).



**1 pav.** Pulpos schema: 1 – plastikas, kurio  $q < 1,0$ ; 2 – vandens lašelis; 3 – plastikas, kurio  $q > 1,0$

**Fig. 1.** Scheme of pulp: 1 – plastic, which  $q < 1.0$ ; 2 – a drop of water; 3 – plastic, which  $q > 1.0$



**2 pav.** Plastiko dribsnių veikiančios jėgos:  $F_c$  – išcentrinė jėga;  $F_d$  – pasipriešinimo jėga;  $r$  – hidrociklono spindulys;  $r_1$  – hidrociklono išmetimo vamzdžio spindulys

**Fig. 2.** Plastic flakes applied force:  $F_c$  – the centrifugal force;  $F_d$  – resistance force;  $r$  – radius of hydro cyclone;  $r_1$  – emission pipe radius of hydro cyclone

$$F_d = 3\pi d_v \mu v_r, \quad (2)$$

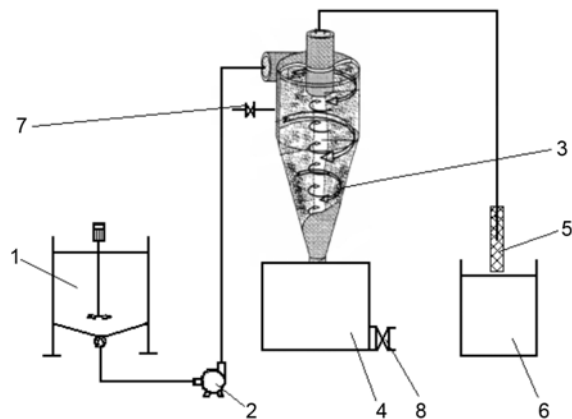
čia  $F_d$  – pasipriešinimo jėga (N);  $d_v$  – dalelės skersmuo (m);  $\mu$  – skysčio klampa (kg/ms);  $v_r$  – santykinis radialinis greitis tarp skysčio ir dalelės (m/s) (Premaratne 2003).

Kai išcentrinė jėga  $F_c$  didesnė už pasipriešinimo jėgą  $F_d$ , dalelė juda palei hidrociklono sienelę ir pašalinama per apatinę šalinimo angą. Kai išcentrinė jėga  $F_c$  yra mažesnė už pasipriešinimo jėgą  $F_d$ , dalelė juda arčiau centro ir iš hidrociklono pašalinama antriniu sukuriu pro viršutinę šalinimo angą.

### Plastiko atliekų rūšiavimo efektyvumo tyrimas

Šiam tyrimui atlikti buvo sukonstruotas maltoms plastiko pakuotėms ir plastiko pakuočių atliekoms rūšiuoti skirtas įrenginys (3 pav.), susidedantis iš pulpos rezervuaro 1, kur sumaltas plastikas maišomas su vandeniu. Pulpai tiekti iš rezervuaro 1 į hidrocikloną 3 naudojamas sukuriusis siurblys 2. Rezervuare 4 kaupiasi plastiko dribsniai, kurių tankis didesnis už vienetą, o sietelyje 5 – plastiko dribsniai, kurių tankis mažesnis už vienetą. Rezervuare 6 renkasi vanduo, tekantis iš hidrociklono 3.

Tyrimas atliekamas sukonstruotame įrenginyje. Prieš bandymą plastiko dribsniai suberiami į sietelį. Sietelis su plastiko dribsniais sudrekinamas ir pasveriamas elektroninėmis svarstyklėmis, kurių tikslumas 0,01 g. Pasverti plastiko dribsniai supilami į pulpos rezervuarą 1 ir įpilama vandens. Maišykle nuolat maišoma pulpa. Įjungiamas siurblys 2. Svarbiausia, kad būtų atsukta pulpos rezervuaro 1 išleidimo sklendė ir paleidžiant įrenginį į siurbliū nepakliūtų oro, nes kitaip siurblys netieks pulpos į hidrocikloną 3. Paskui stebint siurblio 2 monometrą, kuris nuolat rodo 0,5 kg/cm<sup>2</sup> slėgį, atliekamas tyrimas. Papildomo suslėgto oro sklendė 7 yra uždaryta. Kai rūšiuojami plastiko dribsniai, vienos



**3 pav.** Tirti naudojamo modelio schema: 1 – pulpos rezervuaras; 2 – siurblys; 3 – hidrociklonas; 4 – rezervuaras; 5 – sietelis; 6 – rezervuaras; 7 – oro sklendė; 8 – rezervuaro sklendė

**Fig. 3.** The study model used in the scheme: 1 – a pulp reservoir; 2 – pump; 3 – hydro cyclone; 4 – reservoir; 5 – percolator; 6 – reservoir; 7 – air valve; 8 – valve of reservoir

rūšies plastiko dribsnius atskiriant nuo kitos rūšies, reikia stebėti monometrą, kad nepradėtų greitai kilti slėgis. Dėl greito slėgio kitimo siurblys gali užsikimšti plastiko dribsniais. Pulpai patekus į hidrocikloną 3, vienos rūšies plastiko dribsniai atskiriami nuo kitos rūšies dribsnių. Baigus tyrimą išjungiamas siurblys 2, nuimamas sietelis 5 su atskirtais plastiko dribsniais ir pasveriamas elektroninėmis svarstyklėmis. Atidarius rezervuaro sklendę 8 į tuščią sietelį supilami atskirti plastiko dribsniai. Sietelis su dribsniais pasveriamas elektroninėmis svarstyklėmis, kurių tikslumas 0,01 g.

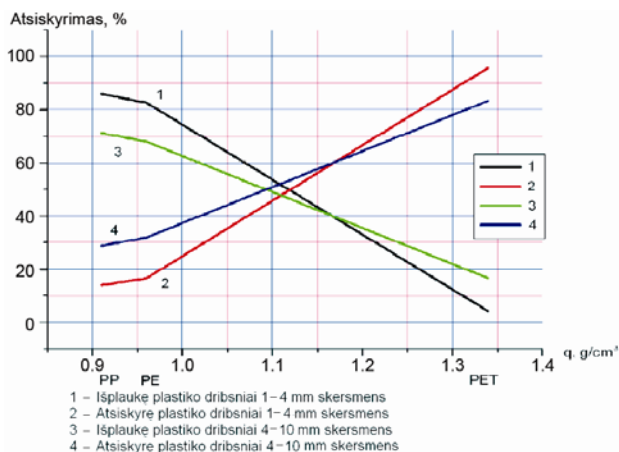
Tyrimams buvo naudojami dviejų matmenų – 1–4 mm ir 4–10 mm skersmens – dribsniai, trijų rūšių plastikas: PP, PE ir PET. Tyrimai atlikti hidrociklone, į kurį papildomai tiekias suspaustas oras stikliniame inde. Kiekvienas tyrimas kartotas penkis kartus.

Atlikti plastiko rūšiavimo tyrimai hidrociklone. Gauti rezultatai pateikti schemeje (4 pav.).

Atlikti plastiko rūšiavimo tyrimai hidrociklone, į kurį buvo tiekiamas papildomas suspaustas oro srovė. Gauti rezultatai pateikti schemeje (5 pav.). Tyrimams buvo naudojama 100 g PE ir 100 g PP plastiko dribsniai, kurių skersmuo 1–4 mm ir 4–10 mm, mišinys.

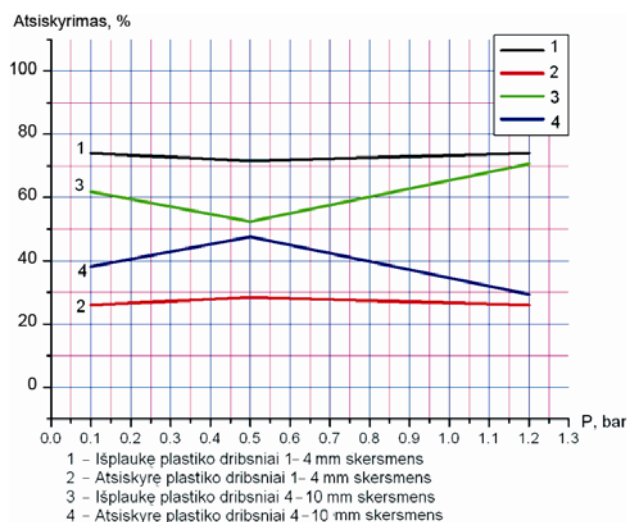
Atliekant plastiko rūšiavimo tyrimus stikliniame inde, buvo matuojamas vienos plastiko dribsnių rūšies atskyrimo nuo kitos laikas. Į stiklinį indą su vandeniu suberta 200 g plastiko dribsnių, išmaišyta ir matuotas laikas, kol visi plastiko dribsniai atsiskirs. Po atliktų tyrimų gauti rezultatai pateikti schemeje (6 pav.).

Šio plastiko rūšiavimo įrenginio privalumas tas, kad jis yra nedidelės ir paprastos konstrukcijos bei užima nedaug vietos. Įrenginyje plastiko dribsnių rūšys gana gerai



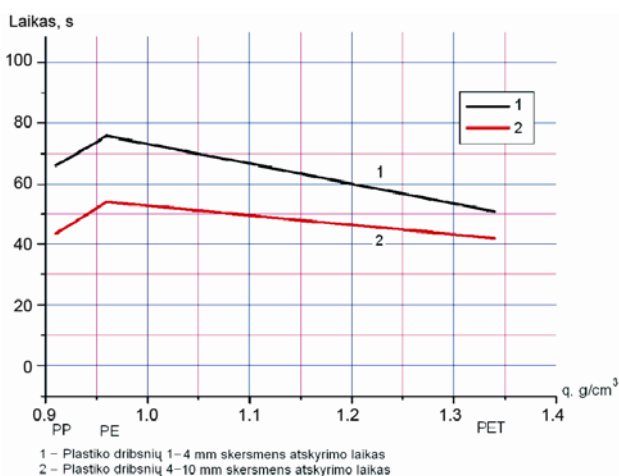
4 pav. Plastiko dribsnių atsiskyrimas hidrociklone

Fig. 4. Plastic flakes separation in hydro cyclone



5 pav. Plastiko dribsnių atsiskyrimas hidrociklone, į kurį tiekiamą papildoma suspausto oro srovė

Fig. 5. Plastic flakes separation in hydro cyclone which supplied an additional stream of compressed air



6 pav. Plastiko dribsnių atsiskyrimas stikliniame inde

Fig. 6. Plastic flakes separation in the glass jar

atskiriamos į dvi frakcijas pagal jų tankį. Tokius įrenginius pravartu turėti įmonėse, kuriose pakuotėms gaminti naudojami skirtingų tankių plastikai, taip pat jį galima naudoti surinktoms ir sumaltoms pakuotėms atskirti. Tokius įrenginius reikėtų turėti plastikinius butelius gaminančioms ir perdirbančioms įmonėms. Hidrociklone su papildomai tiekiamu suspausto oro srautu vietoj suspausto oro naudojant plovimo medžiagas būtų galima ne tik atskirti vieną plastiko rūšį nuo kitos, bet ir jį išplauti.

## Išvados

1. Disperguotų plastiko atliekų rūšiavimo gravitaciniu metodu pagal skirtingus tankius kokybei turi įtakos dribsnių dydis, tankių skirtumas ir plastiko dribsnių forma.
2. Plastiko rūšiavimo hidrociklone našumas yra šešis kartus didesnis nei rūšiavimo nusodintuve.
3. Rūšiavimas hidrociklone su papildomai tiekiamu suspausto oro srove didina rūšiavimo našumą, bet blogina rūšiavimo kokybę.

## Literatūra

- Marques, G. A.; Tenorio, J. A. S. 1999. *Use of froth flotation to separate PVC/PET mixtures* [interaktyvus]. Science Direct [žiūrėta 2008 m. lapkričio 25 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6VFR-404R2YD-1&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=d28e7015b0510e3138dbe8adf179f399](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFR-404R2YD-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d28e7015b0510e3138dbe8adf179f399).
- Pascoe, R. D. 2005. *Investigation of hydrocyclones for the separation of shredded fridge plastics* [interaktyvus]. Science Direct [žiūrėta 2008 m. lapkričio 25 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.sciencedirect.com/science?ob=ArticleURL&\\_udi=B6VFR-4H3Y9M2-2&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=d7bad8f2e23f27dfaed1c067f5b8be83](http://www.sciencedirect.com/science?ob=ArticleURL&_udi=B6VFR-4H3Y9M2-2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d7bad8f2e23f27dfaed1c067f5b8be83).
- Petty, Ch. A.; Ali, S. K.; Grulke, E. A.; Selke, S. E. *Hydro cyclone classifiers for micro sorting mixed thermoplastics from consumer waste* [interaktyvus]. Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance [žiūrėta 2009 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.p2pays.org/ref/12/11982.pdf>.
- Premaratne, W. A. P. J.; Rowson, N. A. 2003. Development of a magnetic hydro cyclone separation for the recovery of titanium from beach sands. *Physical Separation in Science and Engineering* 12(4): 215–222. doi:10.1080/1478647041000191475
- Šuolis, R. 2004. *Inžinerinės medžiagos. Sandara, savybės, panaudojimas*. Šiauliai: Liucijus. 256 p.

## SORTING PLASTIC WASTE IN HYDROCYCLONE

E. Šutinys, V. Striška

Abstract

The article presents material about sorting plastic waste in hydrocyclone. The tests on sorting plastic waste were carried out. Also, the findings received from the performed experiment on the technology of sorting plastic waste are interpreted applying an experimental model of the equipment used for sorting plastics of different density.

**Keywords:** plastic, waste, sorting, hydro cyclone.