Atricijsko čišćenje plastike od parafina

Čengija, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:070990

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

ATRICIJSKO ČIŠĆENJE PLASTIKE OD PARAFINA

Diplomski rad

Ana Čengija
R 165

Zagreb, 2018

Sveučilište u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

ATRICIJSKO ČIŠĆENJE PLASTIKE OD PARAFINA

ANA ČENGIJA

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za rudarstvo i geotehniku

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu pod otpadom se podrazumijeva plastični otpad (lampioni). Ako se otpadom ne gospodari kako treba ili ga se nekontrolirano odlaže, on će onečistiti okoliš. Mnoge vrste plastike nisu biorazgradive bez obzira na uvjete u okolišu, barem ne u značajnoj mjeri, dok se neke vrste razgrađuju, ali sporo, pod uvjetom da su izložene povoljnom djelovanju zraka, vode i svjetla. Lampioni nisu biorazgradivi jer ni metal, niti plastika, niti parafin od kojih se sastoji lampion nisu biorazgradivi. Uzorak u provedenim ispitivanjima se sastoji od lampiona koji su izdrobljeni, prosijani i atrirani. Krupnije klase ne odgovaraju jer su prevelike za atricijsku ćeliju, a kod sitnijih klasa postoji velika mogućnost gubitaka materijala tijekom daljnih ispitivanja. Nakon postignutog raščina drobljenjem i odvajanja parafina i plastike pliva-tone separacijom na zrnu plastike zaostaje tanak sloj parafina. Hipoteza ovog rada je uklanjanje tog sloja parafina atriranjem. Uspješnost atricije razmatra se preko smanjenja sadržaja parafina. U svim pokusima došlo je do smanjenja masenog udjela parafina u koncentratu nakon atricije što nam govori da je hipoteza ovoga rada potvrđena.

Ključne riječi: recikliranje, lampioni, atricija

Završni rad sadrži: 44 stranice, 12 tablica, 25 slika i 14 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski.

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Gordan Bedeković, redoviti profesor RGNF-a

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Gordan Bedeković, redoviti profesor RGNF-a

2. Dr. sc. Ivan Sobota, docent, RGNF

3. Dr.sc. Biljana Kovačević Zelić, redoviti profesor RGNF

Datum Obrane: 14.12.2018., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

ATTRITION SCRUBBING OF PLASTICS FROM PARAFFIN

ANA ČENGIJA

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mining and Geotehnical Engineering
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Under the term waste in this thesis, we assume plastic waste (lanterns). If waste is not properly managed or it is discarded it can pollute the environment. Regardless of environmental conditions a lot of plastic is not biodegradable, however, some types are degradable with favorable effects of air, water and light. Since metal, paraffin and plastic are not biodegradable, neither are lanterns. Used test sample is composed of crushed, sieved and attritioned lanterns. Coarse fractions are too big for atrittion cell so they don´t fit while smaller classes result in material loss during further testing. After liberation by crushing and separation of paraffin and plastic by sink and float process, a thin layer of paraffin remains on plastic grains. Attrition efficacy is considered through reduced content of paraffin. In all tests, decrease in mass portion of paraffin in concentrate after the attrition is determined, which tells us that the hypothesis of this thesis is accurate.

Keywords: recycling, lanterns, attrition
Thesis contains: 44 pages, 12 tables, 25 figures, and 14 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Gordan Bedeković, PhD

Reviewers: Full Professor Gordan Bedeković, PhD
Assistant Professor Ivan Sobota, PhD
Full Professor Biljana Kovačević Zelić, PhD

Date of defense: December 14, 2018., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University in Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA IV
POPIS TABLICA VI
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA VII
1.UVOD 1
2. PARAFIN 4
2.1. Svojstva parafina 4
2.2. Provedena istraživanja 5
3. ATRICIJSKO ČIŠĆENJE 7
3.1. Atricija kao proces sitnjenja i separacije 8
3.1.1. Ispitivanje provedeno na uzorku s lokacije Mežice 8
3.1.2. Atricija kao proces mljevenja 9
3.1.3. Učinkovitost separacije 10
4. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA 12
4.1. Opis uzorka 12
4.2. Opis uređaja 12
Udarna drobilica 12
Čekićara 14
Atricijski uređaj 15
4.3. Postupak ispitivanja 17
5. REZULTATI I DISKUSIJA 31
5.1. Tehnološki pokazatelji uspješnosti koncentracije 35
6. ZAKLJUČAK 40
7. LITERATURA 41
Prilozi 43

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Lampioni u reciklažnom dvorištu (Gradsko komunalno poduzeće 2013) 1

Slika 2-1. Prikaz parafina (Veliki rečnik 2017) 5

Slika 3-1. Mikroskopska snimka kvarcnog zrna rovnog pijeska, veličine 100 μm: (a) prije i (b) nakon atricijskog čišćenja (Sobota 2016) ……..……. ..7

Slika 3-2. Dijagram učinkovitosti čišćenja u odnosu na vrijeme (Stražišar i Sešelj 1999) 9

Slika 3-3. Dijagram nastajanja sitne frakcije u određenom vremenu (Stražišar i Sešelj 1999) ….....10

Slika 4-1. Lampioni 12

Slika 4-2. Udarna drobilica IZ-0 (Bedeković i Salopek 2008) 13

Slika 4-3. Čekićara (Bedeković i Salopek 2008) 14

Slika 4-4. Prikaz i dijelovi atricijskog uređaja 15

Slika 4-5 Laboratorijska atricijska ćelija (Stražišar i Sešelj 1999) 16

Slika 4-6. Shematski prikaz procedure izvođenja pokusa (Plan labratorijskih pokusa) 18

Slika 4-7. Dijagram granulometrijskog sastava ulaznog uzorka nakon primarnog drobljenja 19

Slika 4-8. Dijagram granulometrijskog sastava ulaznog uzorka nakon sekundarnog drobljenja 21

Slika 4-9. Držači fitilja, fitilji i deklaracije 23

Slika 4-10. Razdvajanje parafina i plastike 24

Slika 4-11. Dijagram granulometrijskog sastava plastike nakon pliva-tone separacije 25

Slika 4-13. Kružni dijagram sastavnih dijelova lampiona 27

Slika 5-1. Tanak sloj parafina na plastici 28

Slika 5-2. Osušena plastika nakon atricije 29

Slika 5-3. Usporedba plastke a) prije atricije b) poslije atricije 30

Slika 5-4. Shematski prikaz i objašnjenje nastalih produkata 34

Slika 5-5. Maseni udio parafina za klasu +7 mm ovisno o brzini vrtnje impelera pri konstantnom vremenu atricije (15 min) 37

Slika 5-6. Maseni udio parafina za klasu +7 mm ovisno o vremenu atricije pri srednjoj brzini (860 okr/min) 37

Slika 5-7. Maseni udio parafina za klasu 7/4 mm ovisno o brzini vrtnje impelera pri konstantnom vremenu atricije (15 min) 38

Slika 5-8. Maseni udio parafina za klasu 7/4 mm ovisno o vremenu atricije pri srednjoj brzini vrtnje impelera (860 okr/min) 39

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Udjeli pojedinih plastičnih materijala u otpadnim nadgrobnim lampionima (Erceg et al. 2013) 6

Tablica 3-1. Učinkovitost čišćenja tijekom atriranja za različite veličine frakcija (Stražišar i Sešelj 1999) 11

Tablica 4-1. Prikaz mase pojedinačnih lampiona i srednje veličine zrna (d_{sr}).....17

Tablica 4-2. Granulometrijski sastav ulaznog uzorka nakon primarnog drobljenja 19

Tablica 4-3. Vizualni pregled izdvojenih klasa uzorka nakon primarnog drobljenja 20

Tablica 4-4. Granulometrijski sastav ulaznog uzorka nakon sekundarnog drobljenja.....21

Tablica 4-5. Vizualni pregled izdvojenih klasa uzorka nakon sekundarnog drobljenja 22

Tablica 4-6. Granulometrijski sastav izdvojene plastike.....24

Tablica 4-7. Vizualni pregled izdvojenih klasa plastike nakon pliva-tone separacije 26

Tablica 5-1. Prikaz masa u pojedinim fazama ispitivanja klase +7 mm 32

Tablica 5-2. Prikaz masa u pojedinim fazama ispitivanja klase 7/4 mm 33

Tablica 5-3. Rezultati atricijskog čišćenja 36

POPIS PRILOGA

Prilog 1 Rezultati koncentracije atricije 44

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA

v	- brzina vrtnje impelera	okr/min
ρ	- gustoća	g/cm^3
t	- vrijeme atricije	min
P	- snaga elektromotora	kW
n	- broj okretaja	okr/min
f	- frekvencija	Hz
I	- jakost struje	A
I_m	- iskorištenje mase koncentrata	%
U, m_u	- masa ulaza	g
K	- masa koncentrata	g
u	- postotni sadržaj korisne komponente u ulazu	%
k	- kvaliteta koncentrata	%
m_k	- masa korisne komponente u koncentratu	g
I_k	- iskorištenje korisne komponente u koncentratu	%
m_A	- masa atriranog uzorka	g
m_O	- masa opranog uzorka	g
m_{PLU}	- masa plastike u ulaznom uzroku	g
m_{PARU}	- masa parafina u ulazu	g
m_{PLJ}	- masa plastike u jalovini	g
J	- masa jalovine	g
m_{PARJ}	- masa parafina u jalovini	g
m_{PLK}	- masa plastike u koncentratu	g
m_{PARK}	- masa parafina u koncentratu	

1.UVOD

Povećane količine plastičnog otpada, bez učinkovitog postupka zbrinjavanja, dovode do onečišćenja okoliša i brojnih drugih negativnih posljedica. Zbog toga je važan dobar sustav gospodarenja otpadom koji obuhvaća prevenciju nastanka otpada, minimiziranje količine otpada, ponovnu upotrebu kad god je to moguće te različite postupke zbrinjavanja otpada od kojih iznimnu važnost te ekološku dobrobit donosi recikliranje. U prošlosti se plastični otpad zbrinjavao uglavnom odlaganjem te spaljivanjem bez iskorištenja energije što su ekološki i ekonomski iznimno neprihvatljivi postupci pa se u velikoj mjeri nastoje izbjegavati, a danas se sve više provode različiti postupci recikliranja (mehanički, kemijski). S aspekta plastike recikliranje ima u cilju održivost u smislu smanjenja otpada, pridonosi i čuvanju neobnovljivih izvora, tj. nafte iz koje se dobivaju polazne komponente (monomeri) za sintezu polimera. Dakle, recikliranje znači ponovno kruženje, odnosno ponovnu upotrebu plastičnog otpada (Kratofil Krehula 2015).

Ovaj rad razmatra problematiku zbrinjavanja otpada s groblja. Otpad s groblja je prilično jednostavnog sastava. Najčešće ćemo vidjeti umjetno i prirodno cvijeće, lišće te lampione. Upravo nam lampioni stvaraju veliki problem pa ih iz tog razloga prikupljamo odvojeno. Na slici 1-1. vidimo u kojem razmjeru nam lampioni predstavljaju problem ako ih se ne zbrine na odgovarajući način.



Slika 1-1. Lampioni u reciklažnom dvorištu (Gradsko komunalno poduzeće 2013)

Lampioni su sastavljeni od više komponenata: kućište (izrađeno od plastike), parafin, poklopci (metalni ili plastični), te fitilj s metalnom pločicom u bazi ili baterije ukoliko se

radi o elektronskom lampionu. Kućišta lampiona građena su od dvije vrste plastičnih materijala. To su polivinil-klorid (PVC) i polipropilen (PP). Cijeli postupak reciklaže lampiona nije previše kompliciran. Strojevi za obradu lampiona nisu tehnički prezahtjevni. Nije potrebno puno ljudi. Zašto onda ne recikliramo lampione nego ih bacamo na odlagališta?

Nažalost nije sve u tehnologiji razdvajanja plastike od parafina. Tako izdvojeni parafin može se koristiti za ponovnu uporabu kod izrade novih svijeća i punjenja novih lampiona. Od strane proizvođača lampiona postoji veliki interes za parafin, no da bi se potaknuo posao recikliranja lampiona moraju se donijeti odgovarajući propisi koji bi kasnije olakšali prodaju parafina. Rabljeni parafin se smatra opasnim otpadom te njime mogu rukovati samo tvrtke ovlaštene za rukovanje opasnim otpadom (Labaš 2015).

U Hrvatskoj je proveden projekt koji se zove 'Svjetlost svijeća'. U sklopu projekta 'Svjetlost svijeća' s partnerom Udrugom 'Prijatelj' napravljeno je 15 kontejnera od kojih je šest postavljenih na groblje u Metkoviću, a ostali su prema potrebi i zahtjevima iz okolnih općina postavljeni na grobljima u okolici Metkovića. Postupak rada s lampionima bio je sljedeći: svakih sedam dana su obiđena groblja u dolini Neretve i sakupljeni lampioni ostavljeni u prethodno postavljenim kontejnerima. Nakon što su pokupljeni s groblja, lampioni su dovezeni u radionicu gdje je provedeno odvajanje plastike kućišta od poklopaca i od parafina. Plastika se reže, sortira u vreće po bojama, te ide na mljevenje tako da se od plastike dobiju mljevene granule, a parafin se odvaja kao i iskoristivi i neoštećeni poklopci. Poklopci se čiste, ispiru, te oni koji nisu oštećeni idu u ponovnu uporabu, a oštećeni se bacaju. Da bi dobili iskoristivi parafin, tope ga u fritezama i od njega proizvode nove svijeće, uloške za nadgrobne lampione, mirisne svijeće i rezbarene svijeće (In Portal 2013).

Kako bi se postigao raščin uzorak se mora dovoljno usitniti. Unatoč postignutom dobrom raščinu najčešće mali dio sloja parafina ipak zaostaje zalijepljen na stijenkama lampiona. U ovom diplomskom radu je ispitana mogućnost rješavanja ovog problema atricijskim čišćenjem. Dakle hipoteza ovog rada koju će se potvrditi ili opovrgnuti istraživanjem jest da je moguće ukloniti parafin s površine plastike atricijom. Atricijsko čišćenje je postupak kojim se primjese vezane za površinu zrna (u ovom slučaju plastike) odstranjuju s površine uslijed abrazije, prouzročene intenzivnim trenjem između zrna. Cilj ovog rada je utvrditi može li se atricijsko čišćenje koristiti za uklanjanje tankog filma parafina s površine plastike. Proces će se smatrati uspješnim ako se njime postigne

odstranjivanje tog sloja parafina s površine zrna plastike, bez smanjenja veličine zrna više nego što je to potrebno.

2. PARAFIN

2.1. Svojstva parafina

Parafin je smjesa zasićenih ugljikovodika, u najvećoj mjeri alkana, ali sastoji se i od drugih organskih spojeva. Alkani su ugljikovodici s općom formulom C_nH_{2n+2}. Alkani i općenito ugljikovodici mogu biti ravnolančani i razgranati (izomeri). Izomeri su spojevi koji imaju isti sadržaj C, H ili O, ali različitu strukturu, kemijska i fizikalna svojstva. Parafin je netopliv u vodi, a topjiv u organskim otapalima. Najčešće je korišten organski materijal za pohranu toplinske energije. Temperature taljenja komercijalnog parafina su od 23 ℃ do 75 ℃ . Dobiva se destilacijom petroleja kao smjesa organskih spojeva. S duljinom lanca spojeva od kojih je sastavljen, raste temperatura taljenja i latentna toplina fazne transformacije materijala. Može se lako nabaviti i cijena mu je dosta niska. Postoji nekoliko radova napravljenih na temu toplinskih svojstava parafina tijekom ciklusa hlađenje/taljenje. Tijekom ciklusa se pokazalo da su komercijalni i čisti parafini i nakon 1000 - 2000 ciklusa (Aksin 1967; Assis et al. 2007):

- postojanih fizikalnih, kemijskih i toplinskih svojstava,
- sigurni, nereaktivni,
- nekorozivni, kompatibilni sa svim metalnim spremnicima,
- mekšaju plastične spremnike.

Parafin se dobiva iz određenih frakcija vakuumske destilacije ostataka nakon atmosferske destilacije nafte iznad 400 °C, iz bituminoznih škriljevaca i iz katrana kamenog ugljena. Postupnim hlađenjem tih frakcija do približno -40 °C izlučuje se parafinski vosak, koji se odvaja filtracijom. Iz parafinskog voska mogu se dobiti tri vrste parafina: čvrsti parafin, cerezin i vazelin. Parafinski je vosak i sirovina za hidrokrekiranje, čime pretežito nastaju izoparafini koji služe kao sastojak mazivih ulja. Danas se umjesto imena parafina koriste alkani, a olefini (alkeni) su izgubili smisao jer objedinjavaju i alkene (olefine) i alkine (acetilene). Ime parafin je ostalo i dalje,a isti naziv koristi se i za vosak koji služi za izradu „umjetnih“ svijeća i parafinskog ulja. Vrlo je sličan prirodnom vosku, ali je čvršći od njega i lako se može rezati nožem (Slika 2-1). Lijepe je čiste bijele boje, pa se rabi za izradu svijeća, jer je znatno jeftiniji od prirodnoga voska (Dražević 2007).



Slika 2-1. Prikaz parafina (Veliki rečnik 2017)

2.2. Provedena istraživanja

U svom je radu Emil Dražević (2007) prikazao primjenu parafina kao materijala za pohranu topline (MPT). Istraživano je pet uzoraka parafina proizvođača INA-MAZIVA d.o.o., Rijeka kao potencijalni materijal za pohranu topline. Mjerena su slijedeća termofizička svojstva parafina: gustoća krutine pri 25 °C, gustoća kapljevine, koeficijent toplinskog širenja kapljevine, volumne promjene pri promjeni agregatnog stanja i toplinska difuzivnost. Ponašanje parafina u ciklusima grijanja i hlađenja detaljno je istraživano diferencijalno pretražnom kalorimetrijom (DSC) i na cilindričnim uzorcima većih dimenzija. Na osnovu rezultata mjerenja vidi se da je izravna uporaba parafina kao MPT otežana njegovom slabom toplinskom vodljivosti i velikom promjenom volumena što se može prevladati dodatkom materijala veće toplinske vodljivosti. Zaključak je da svih pet uzoraka INA parafina nisu praktično primjenjivi kao MPT, ali miješanjem uzoraka INA parafina s nekim drugim materijalima dobio bi se kompozit s poboljšanim svojstvima. Ukoliko bi se napravio kompozit s praškastim grafitom, kao dobrim toplinskim vodičem (ili nekim drugim materijalom, primjerice kvarcnim pijeskom sitnije klase), povećala bi se toplinska vodljivost, a smanjila promjena volumena i pothlađenje čime bi bili primjenjiviji kao MPT (Dražević 2007).

U stručnom radu autora Matka Ercega, Irene Banovac, Ivane Brnas (2013), pod naslovom „Razvrstavanje i identifikacija plastičnih komponenti otpadnih nadgrobnih lampiona“, je provedeno razvrstavanje i identifikacija plastičnih komponenti od kojih su izrađeni otpadni nadgrobni lampioni. Primijenjene metode u radu bile su ručno

razvrstavanje, gravimetrijska analiza, infracrvena spektroskopija i pliva-tone separacija. Lampioni su najprije ručno razvrstani na sljedeće komponente: kućište, parafin, poklopci i baterije (tip AA i tip C). Infracrvena spektroskopija pokazala je da su kućišta lampiona u potpunosti izrađena od plastike, i to od polivinil-klorida i polipropilena, plastični poklopci od polietilen-tereftalata, polistirena i polipropilena, dok su nosači baterija izrađeni od polietilena i polistirena (Tablica 2-1) (Erceg et al. 2013).

Tablica 2-1. Maseni udjeli pojedinih vrsta plastike u otpadnim nadgrobnim lampionima (Erceg et al. 2013)

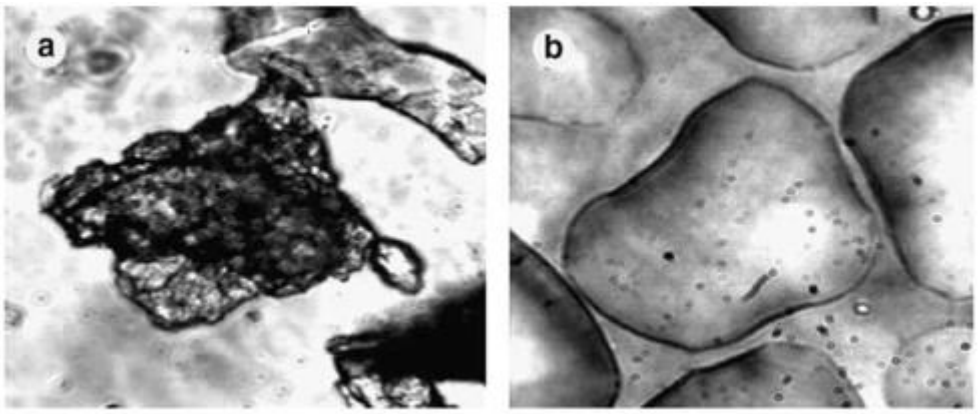
Vrsta plastike	Masa, g	Maseni udio, %
PVC	2 203,42	93,64
PP	70,64	3,00
PE-LD	39,65	1,69
PS	17,36	0,74
PET	14,41	0,61
PS-E	7,59	0,32
Ukupno	2 353,07	100,00

Cilj njihovog rada bio je, pored identifikacije plastičnih komponenti, davanje preporuke kako najjednostavnije i najefikasnije separirati plastične materijale od kojih su izrađeni nadgrobni lampioni. Budući da je infracrvenom spektroskopijom utvrđeno da su kućišta izrađena od PVC-a ($\rho = 1{,}35\ g/cm^3$) i PP-a ($\rho = 0{,}90\ g/cm^3$), kao separacijski medij je upotrijebljena voda iz vodovoda.

Pliva-tone separacijom moguće je uspješno odvojiti pojedine plastične materijale. PVC je najzastupljeniji plastični materijal, na koji otpada 93,64 % ukupne mase plastike otpadnih lampiona, a zatim slijede PP s 3,00 %, polietilen niske gustoće s 1,69 %, polistiren s 0,74 %, polietilen-tereftalat s 0,61 % te ekspandirani polistiren s 0,32 %. Kombinacija ručnog probiranja i pliva-tone separacije prikladna je za separiranje plastičnih materijala od kojih su izrađeni otpadni nadgrobni lampioni (Erceg et al. 2013).

3. ATRICIJSKO ČIŠĆENJE

U ovom poglavlju opisan je postupak atricije na primjeru jednog provedenog istraživanja autora Stražišar i Šešelj (1999) na uzorku tla onečišćenog teškim metalima iz Mežica u Sloveniji. Atricijsko čišćenje je postupak kojim se primjese vezane za površinu zrna odstranjuju s površine uslijed abrazije prouzročene intenzivnim trenjem između zrna. Intenzivno međudjelovanje zrna postiže se miješanjem guste vodene suspenzije u atricijskoj ćeliji (volumni udio čvrstih čestica > 40%) (Sobota 2016).



Slika 3-1. Mikroskopska snimka kvarcnog zrna rovnog pijeska, veličine 100 μm: (a) prije i (b) nakon atricijskog čišćenja (Schricker et al. 2000)

Učinkovitost atricijskog čišćenja ovisi o: značajkama atriranog materijala (granulometrijski, kemijski i mineralni sastav, sraslost minerala), odabranoj kombinaciji vrijednosti radnih parametara (gustoći suspenzije, vremenu trajanja atricije i brzini vrtnje impelera), te konstrukcijskim značajkama atricijske ćelije i impelera. Proces se smatra uspješnim ako se njime postiže odstranjivanje primjesa (npr. oksidi Fe, filmova nafte) s površine zrna bez smanjenja veličine zrna više nego što je to potrebno, kao i dezintegracija (deaglomeracija) međusobno slijepljenih zrna obrađivanog materijala, tj. oslobađanje zrna od ljepljivih materijala. Što je veća gustoća suspenzije veći je učinak atricijskog čišćenja. Kada je niža gustoća suspenzije, odnosno kada je maseni udio čvrstih čestica manji od 70%, nedovoljno je čišćenje površina zrna uslijed abrazije i dolazi do neželjenog usitnjanjavanja. Prevelike brzine vrtnje impelera također mogu (kod mekših materijala) prouzročiti neželjeno sitnjenje i promjene granulometrijskog sastava (Sobota 2016).

3.1. Atricija kao proces sitnjenja i separacije

U članku atricija se razmatra kao važan dio tehnologije sanacije tla. U radu se navodi da proces atriranja uklanja fine čestice i onečišćenja sa površine primarnog materijala, odnosno tla. Učinkovitost uklanjanja onečišćenja proporcionalna je brzini nastajanja sitnih čestica tijekom procesa. Odnos učinkovitosti čišćenja i količine dobivenih finih čestica ograničen je zbog usporednih procesa kao što su deaglomeracija, desorpcija, otapanje i sl. koji također ovise o značajkama površine čestica.

Prethodno spomenuti članak dio je provedenog istraživanja na onečišćenoj lokaciji kraj Mežica, (Slovenija) u napuštenom rudniku olova i cinka gdje je bila aktivna rafinerija. Iako je rudnik zatvoren prije više godina, rafinerija je sudjelovala u procesu recikliranja otpadnih akumulatora. Slovenija je relativno malena zemlja s dominantnim vapnencem i dolomitom u tlu. Ta dva minerala, kvarc i uzorci iz Mežice ispitani su kao pokusni materijali u procesu atricije. Uzorak iz rafinerije većinom je sadržavao istrošeni dolomit.

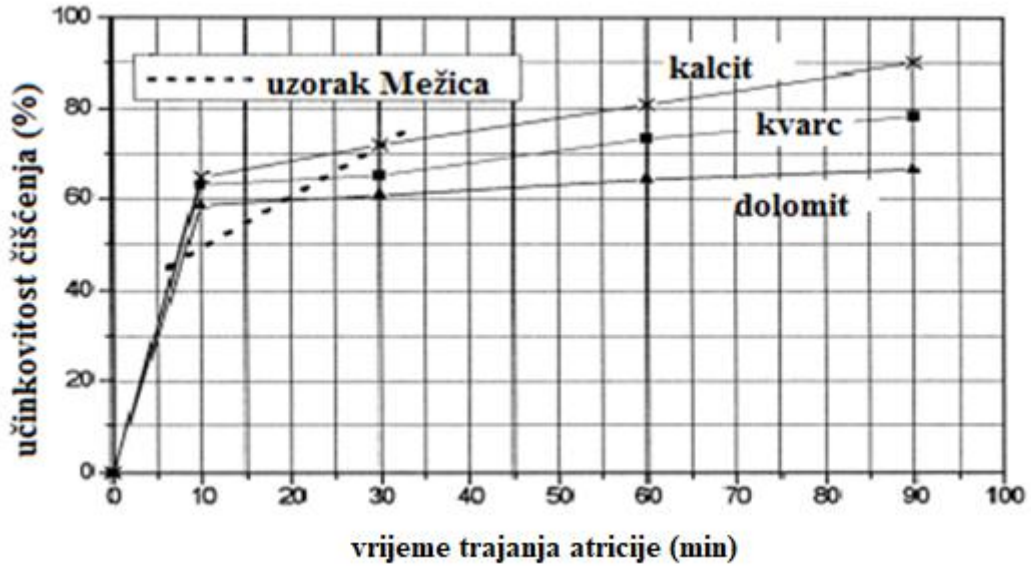
Atricija u procesu sanacije igra veoma važnu ulogu u ukupnoj učinkovitosti čišćenja. Kada spominjemo atriciju govorimo o procesu sitnjenja i/ili separacije, ili pak kao spoju fizičkih i kemijskih procesa na površini tla (Stražišar i Šešelj 1999). Tijekom procesa atricije, koncentracije onečišćujućih tvari u atriranom tlu se smanjuju. Prilikom opisa sitnjenja mogu se koristiti poznati modeli sitnjenja. Slično tome, atricija se također može opisati kao površinski proces koji nalikuje procesu degradacije sirovine koja se javlja prilikom sitnjenja zrna drobljenjem i mljevenjem ili npr. degradacija zrna na presipnim mjestima i sl. U prethodno spomenutom članku, ispitivanjem je potvrđeno da je onečišćenje površinsko i da postoji veza između učinkovitosti čišćenja i specifične površine čvrste faze.

3.1.1. Ispitivanje provedeno na uzorku s lokacije Mežice

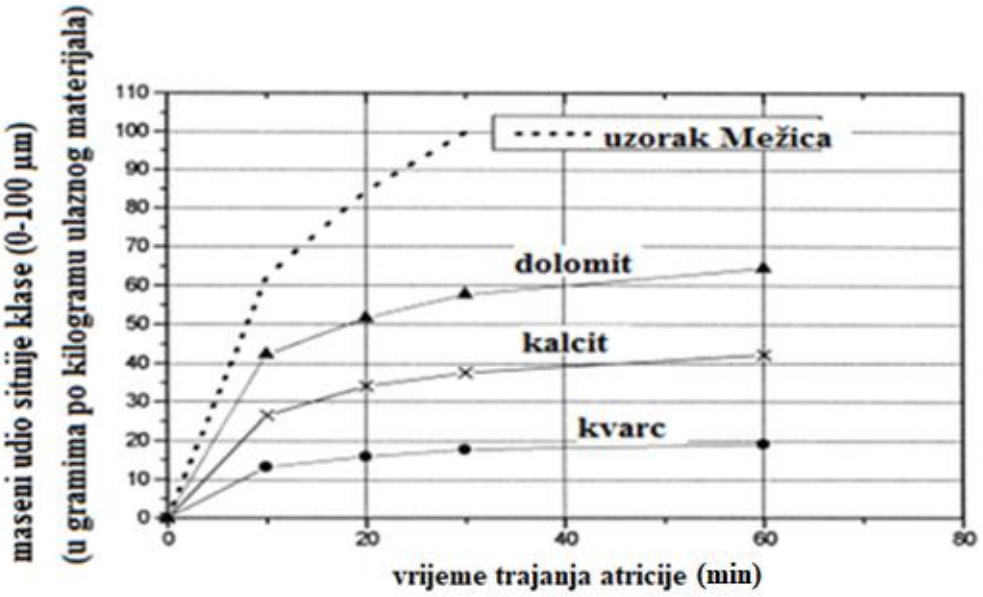
Umjetno onečišćenje izvedeno je vodenom otopinom olova. Atricijski pokusi obavljeni su na uzorku onečišćenog tla suspendiranog u vodi. Maseni udio čvrste faze iznosio je od 70 do 80 %. Koncentracija onečišćujuće tvari iznosila je otprilike 300 mg/ kg tla. Korišten je tip laboratorijskog atritora s jednom osi i 6 pari lopatica. Brzina rotacije impelera iznosila je 570 okr/min dok je volumen atritora bio približno 350 cm^3. Učinkovitost čišćenja (tablica 3-1.) određivana je kemijskom analizom tj. fotometrijskom metodom i atomskom apsorpcijskom spektometrijom (AAS).

3.1.2. Atricija kao proces mljevenja

Na slici 3-2. učinkovitost čišćenja prikazana je kao funkcija vremena za ispitane uzorke. Dinamika povećanja masenog udjela sitne klase prikazana je na slici 3-3. Sitna klasa -100 μm sastoji se od čestica nastalih uslijed međusobnog trenja čestica ispitivanog uzorka tijekom atricije. Usporedba rezultata na slici 3-2 i 3-3 pokazuje odnos između količine dobivenih sitnih klasa i učinkovitosti čišćenja. Usporedba uzoraka iz Mežica pokazuje dobro podudaranje s ostalim uzorcima, a usporedba umjetno kontaminiranih minerala pokazuje loše podudaranje s ostalim uzorcima. Učinkovitost čišćenja proporcionalna je trajanju procesa atricije pa tako i količini uklonjenih čestica s površine.



Slika 3-2. Dijagram učinkovitosti čišćenja u odnosu na vrijeme atriranja (Stražišar i Sešelj 1999)



Slika 3-3. Dijagram masenog udjela sitnije klase u određenom vremenu (Stražišar i Sešelj 1999)

Glavni razlog zašto atriciju ne možemo razmatrati samo kao proces mljevenja je u drugim usporednim procesima kao što su deaglomeracija, desorpcija, otapanje i dr. Povećanje intenziteta navedenih procesa prilikom atricije smanjuju važnost samog mljevenja. Drugi razlog ograničenog značaja procesa mljevenja je različitost onečišćenja i svojstava tla. Između ostalog, volumen pora i raspodjela veličina pora tla su veoma važni.

3.1.3. Učinkovitost separacije

Učinkovitost čišćenja prilikom procesa atricije nije lako predvidjeti s obzirom na mnoge utjecajne varijable. Zbog toga, proces čišćenja daje pouzdane podatke o mogućnostima čišćenja za različite uzorke onečišćenog tla. Informacije o mineralnim i fizikalnim svojstvima mogu pomoći u predviđanju mogućnosti čišćenja određenih tipova tala. Podaci o učinkovitosti čišćenja ili uklonjenim onečišćujućim tvarima za različite veličine klasa dani su u tablici 3-1. Ti podaci nisu izravno vidljivi sa dijagrama (Slika 3-2). Oni potvrđuju da je lakše ukloniti onečišćenje s krupnijih zrna nego sa sitnijih.

Tablica 3-1. Učinkovitost čišćenja tijekom atriranja za različite veličine zrna (Stražišar i Sešelj 1999)

Klasa (mm)	Učinkovitost čišćenja ovisno o vremenu atriranja (%)		
	t=10 min	t=20 min	T=30 min
0,1-0,4	46,2	54,9	67,5
0,4-0,8	61,2	66,7	77,6
0,8-1,25	65,5	72,0	86,2

U uzorku iz Mežice, maseni udio klase 1,25/0,1 mm iznosi približno 20%. Brzina učinkovitosti čišćenja za ovaj raspon veličine zrna utječe na potrebno trajanje atricije. Za umjetno onečišćen kalcit pronađena je dobra linearna korelacija između brzine čišćenja i procijenjene specifične površine srednje veličine klase. Zbog različitih ponašanja i različitih svojstava kalcita i dolomita, nije se moglo pretpostaviti da će sličan odnos dobro funkcionirati s izvornim uzorkom iz Mežice.

4. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

4.1. Opis uzorka

Za ispitivanje mogućnosti recikliranja lampiona atricijom (razdvajanja plastike i parafina) korišteni su lampioni prikupljeni na zagrebačkom groblju Markovo polje. Lampioni su se međusobno razlikovali prema boji, obliku i količini zaostalog parafina u njima. Na početku laboratorijskog ispitivanja ručno su odvojeni metalni poklopci i odrezani su dijelovi kućišta plastike koji nisu bili prekriveni ostatkom parafina (slika 4-1) kako bi u ispitivanje ušla samo ona plastika koja je onečišćena parafinom. Za potrebe ispitivanja prikupljeno je ukupno 98 lampiona.



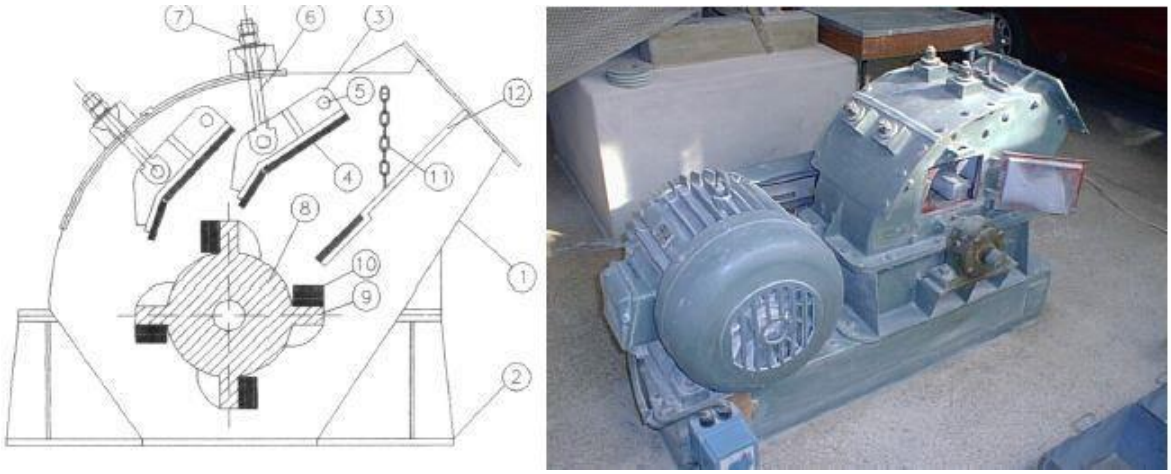
Slika 4-1. Lampioni

4.2. Opis uređaja

Udarna drobilica

Udarna drobilica sastoji se od kućišta s jednim rotorom s fiksno pričvršćenim udarnim gredama. Princip drobljenja je uslijed udarca bez oslonca, tj. udarca u slobodnom prostoru, pri čemu je materijal je u dodiru s drobećim elementom samo na jednoj strani i nije uklješten. Do drobljenja dolazi prilikom udara grede rotora o mineralno zrno, udara zrna o odbojne ploče i zaštitne obloge kućišta, kao i međusobnog sudara zrna, pri čemu se dio kinetičke energije pretvara u rad sitnjenja. Obodna brzina rotora ovisi o broju udarnih greda i varira u rasponu od 20 do 60 m/s.

Laboratorijska udarna drobilica IZ-0 je horizontalna udarna drobilica (slika 4-2).



Slika 4-2. Udarna drobilica IZ-0 (Bedeković i Salopek, 2008).

1- Kućište drobilice
2- Okvir u obliku stopala
3- Odbojne ploče
4- Ploča pričvršćena na odbojnu ploču
5- Osovine za odbojne ploče
6- Pomični zglob
7.- Vijak
8.- Rotor
9.- Ispusti
10.- Udarne grede
11.- Zavjesa od lanaca
12.- Rešetka

Tehnički podaci laboratorijske udarne drobilice IZ-0:

Proizvođač: STT

Zemlja proizvodnje: Slovenija

Veličina ulaznog otvora drobilice 270 x 110 mm

Veličina granulacijskog (izlaznog) otvora: od 10 do 30 mm

Broj okretaja rotora 861, 1288, 1644 o/min.

Podaci o elektromotoru:

Tip “Sever Subotica”

Snaga P = 7,5 kW

Broj okretaja n = 736 o/min.

Frekvencija f = 50 Hz

Napon priključka U = 380 V

Jakost struje I = 16 A

cosφ 0,83

Čekićara

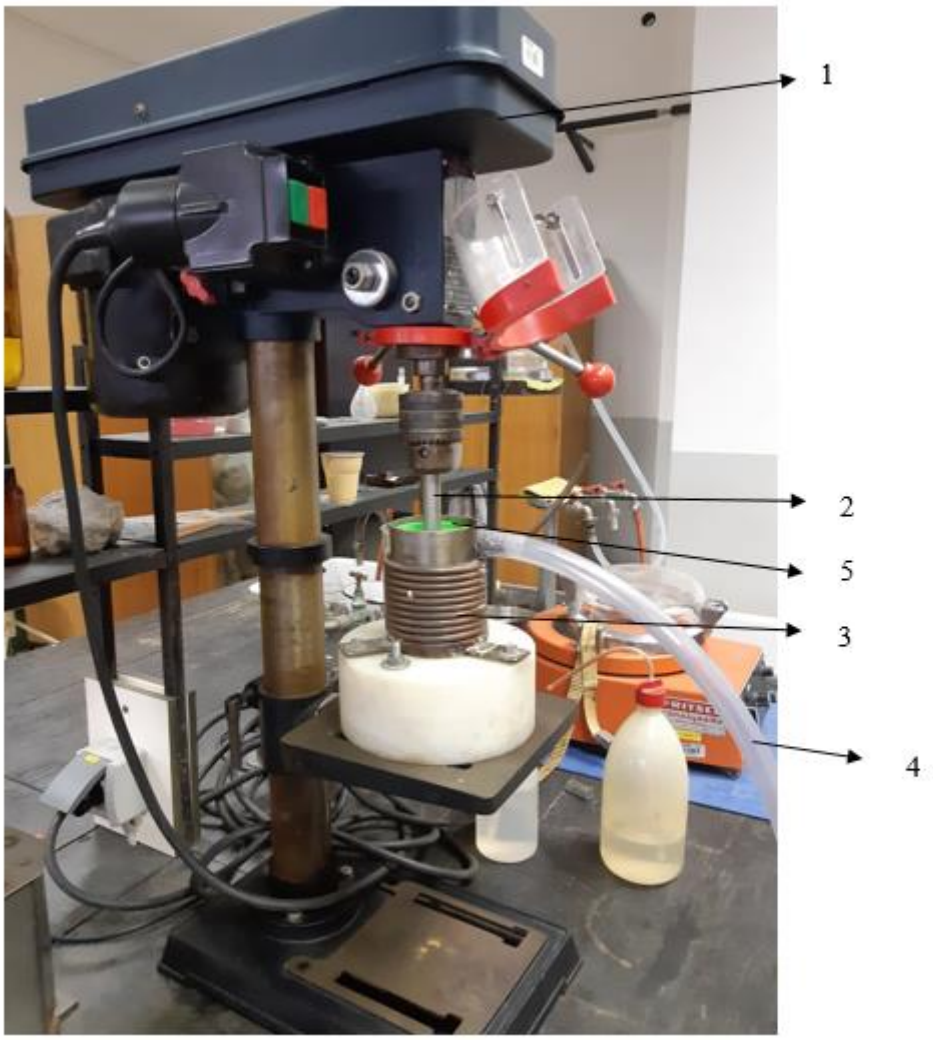
Čekićara (slika 4-3) se koristi za drobljenje mekog do srednjetvrdog, pa i žilavog materijala. Sastoji se od jednog rotora s čekićima koji se okreću velikom brzinom oko horizontalne osi u kućištu od čeličnih ploča. Čekići su za rotor pričvršćeni člankovito, a za vrijeme rada ih centrifugalna sila postavi radijalno. Pri dnu se nalazi sito koje se može izmijeniti, pa tako postoji mogućnost podešavanja veličine produkta. Čekićare djeluju na bazi udaraca koje materijal prima uzastopno u veoma kratkim intervalima, približno 150 udaraca u sekundi pri brzini rotora od 1500 min^{-1}. Zrna nakon udara čekića postižu velika ubrzanja, te do sitnjenja dolazi i zbog međusobnog sudaranja zrna. Zato su čekićare pogodne i za drobljenje mekog materijala, primjerice gline, parafina i sl.



Slika 4-3. Čekićara (Bedeković i Salopek 2008)

Atricijski uređaj

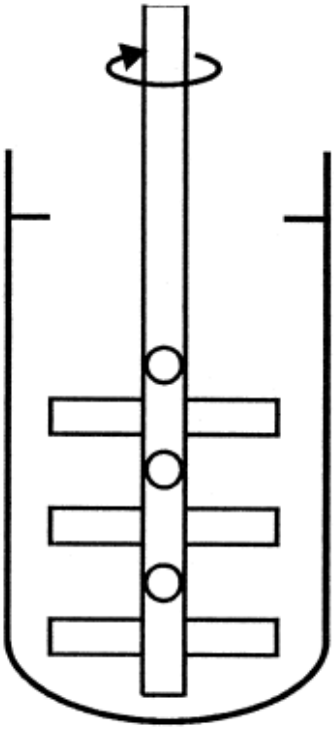
Ispitivanja su provedena na laboratorijskom atricijskom uređaju (Slika 4-4). Suspenzija se stavlja u ćeliju gdje se miješa pomoću lopatica i osovine impelera (2) pogonjene pogonskim motorom s remenskim prijenosom (1). Neposredno pred kraj atricije ulijeva se voda radi uklanjanja parafina koji je isplivao na površinu vode tijekom atricije i odvodi se posebnom cijevi (4). Ulaz i izlaz suspenzije je na vrhu ćelije gdje se stavlja modificirani poklopac (5) da plastika ne bi izlazila van tijekom atricije. Uklanjanje sloja parafina se postiže abrazijom prouzročenom intenzivnim trenjem (međusobnim trljanjem zrna plastike). Takvo intenzivno međudjelovanje zrna postiže se miješanjem guste vodene suspenzije u atricijskoj ćeliji pomoću impelera.



Slika 4-4. Prikaz i dijelovi atricijskog tipa uređaja

Laboratorijska atricijska ćelija - tehničke značajke:

Impeler (mješač) je promjera 100 mm s lopaticama suprotnih nagiba u tri nivoa, okomitih u odnosu na vertikalnu osovinu (Slika 4-5). Ćelija (kružnog presjeka) i impeler su izrađeni od nehrđajućeg čelika. Impeler je pogonjen elektromotorm snage 550 W s remenskim prijenosom.



Slika 4-5. Laboratorijski atricijska ćelija (Stražišar i Sešelj 1999)

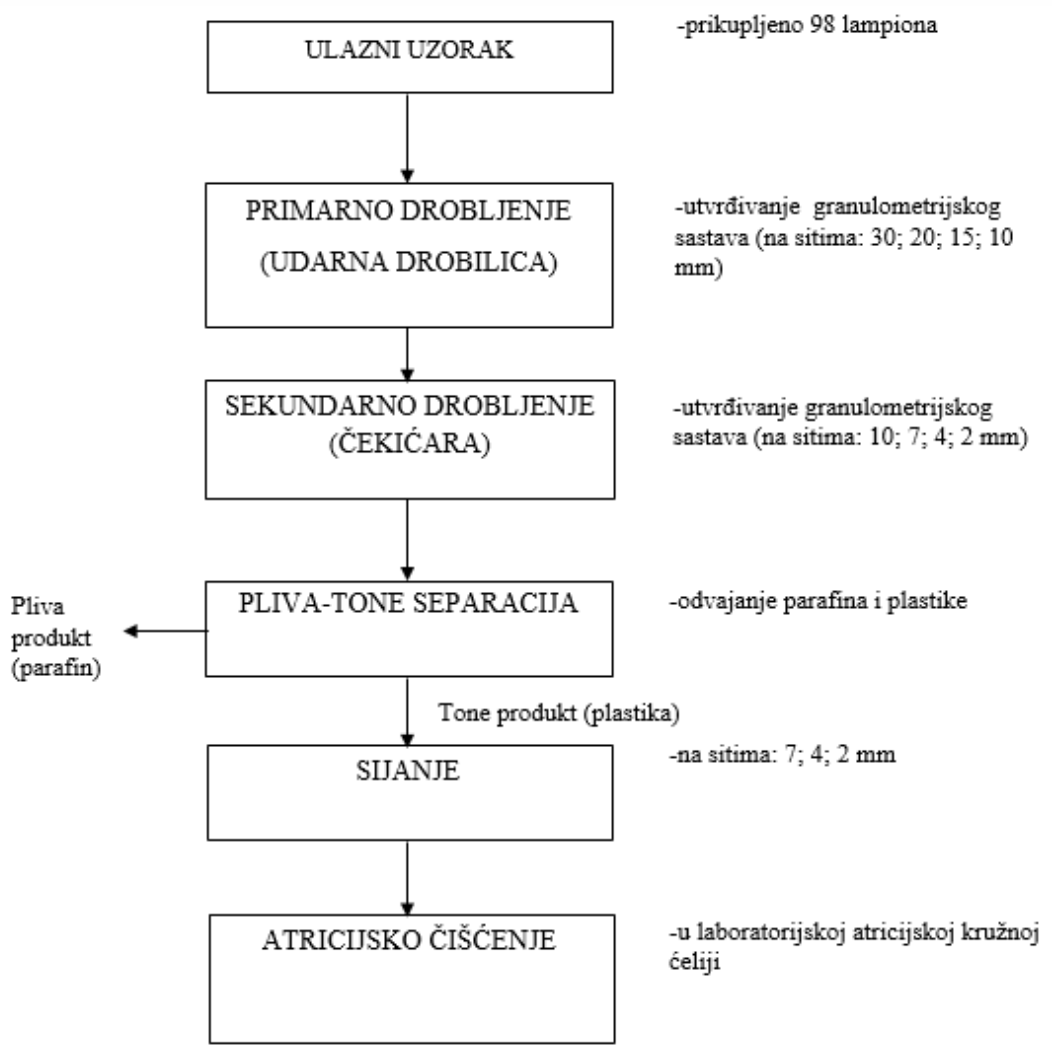
4.3. Postupak ispitivanja

Uzorak se sastojao od 98 lampiona koji su prikupljeni na groblju Markovo polje. Svaki lampion je izvagan prije početka ispitivanja i izračunata je prosječna srednja veličina zrna (d_{sr}) i prosječna masa (g) što je prikazano u tablici 4-1. Shematski prikaz procedure izvođenja pokusa prikazan je na slici 4-6.

Tablica 4-1. Prikaz prosječne mase lampiona i prosječne srednje veličine zrna (d_{sr})

masa (g)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d_{sr} (mm)
123,17	74,00	67,31	79,28	73,51

Shematski prikaz procedure izvođenja pokusa prikazan je na slici 4-6.

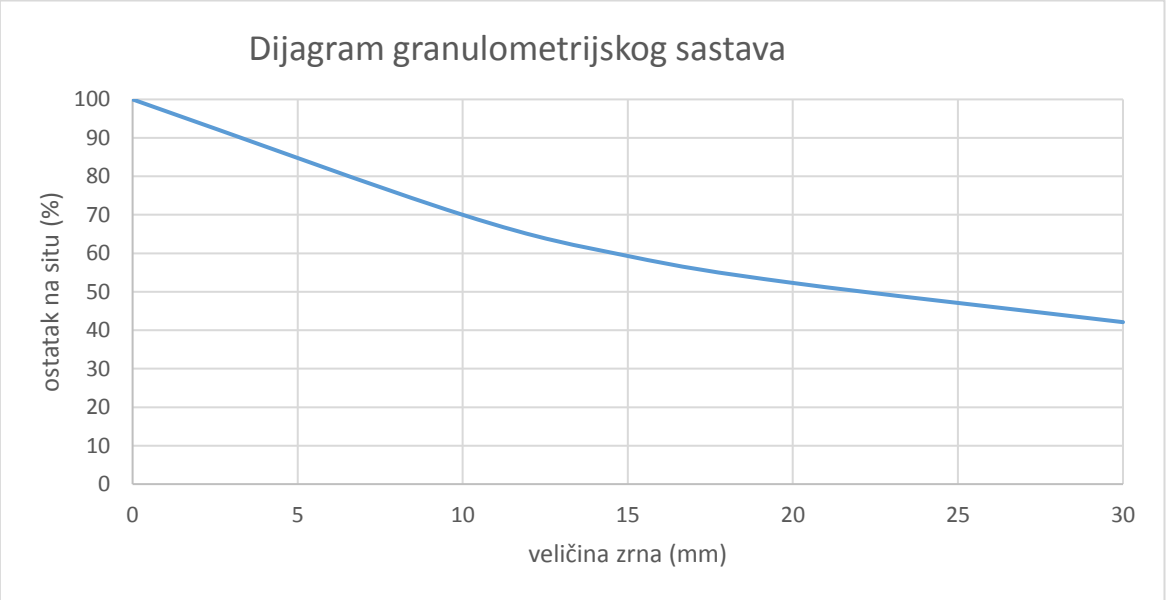


Slika 4-6. Shematski prikaz procedure izvođenja pokusa (Plan laboratorijskih pokusa)

Kako je već ranije spomenuto pri opisu uzorka, najprije su ručno uklonjeni poklopci s lampiona i odrezana plastika kućišta lampiona koja je bila čista. Na shematskom prikazu (slika 4-6) vidljivo je da je prvi korišten stroj udarna drobilica. Da bi se plastika i parafin potpuno razdvojili mora se postići raščin. Drobljenje je prvi stupanj u procesu sitnjenja čvrstih čestica, pri čemu postižemo određeni granulometrijski sastav, oslobađanje korisne od jalove komponente, te oblik zrna. Drobljenjem postižemo sitnjenje čvrstog materijala pod djelovanjem vanjskih sila, a ono se događa kada deformacija u materijalu naraste toliko da dolazi do kidanja veza u strukturi čvrstog materijala (Bedeković i Salopek 2008). Nakon primarnog drobljenja napravljena je granulometrijska analiza uzorka. Rezultati granulometrijske analize prikazani su u tablici 4-2. i na temelju dobivenih rezultata granulometrijske analize napravljen je dijagram 4-7.

Tablica 4-2. Granulometrijski sastav ulaznog uzorka nakon primarnog drobljenja

Klasa (mm)	Maseni udio		Σ (%)
	(g)	(%)	
+30	2079	42,1	42,1
30/20	508	10,2	52,3
20/15	348	7,0	59,3
15/10	530	10,7	70,0
-10	1474	30,0	100,0
Σ	4939	100,0	0



Slika 4-7. Dijagram granulometrijskog sastava ulaznog uzorka nakon primarnog drobljenja

Udarna drobilica prilično dobro usitni lampione i stvara se dosta dobar raščin, no ne i potpun kao što se vidi na temelju vizualnog pregleda na tablici 4-3. Parafin ostaje po stijenkama lampiona. Zbog toga je potrebno dodatno usitniti lampione sekundarnim drobljenjem u čekićari.

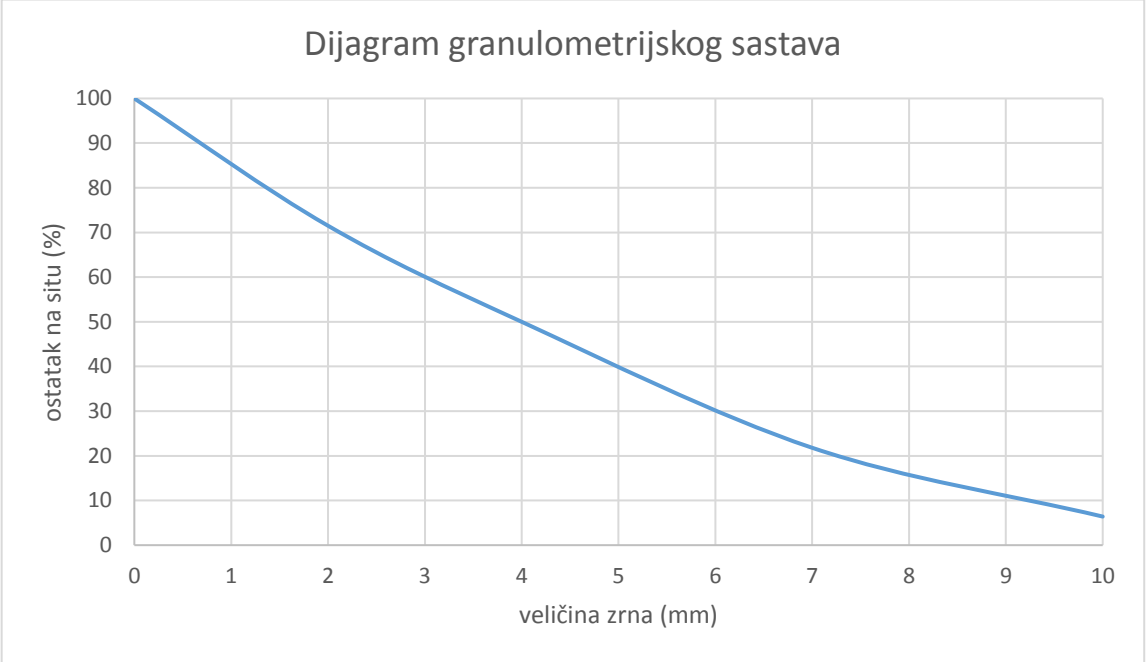
Tablica 4-3. Vizualni pregled izdvojenih klasa uzorka nakon primarnog drobljenja

Klasa (mm)	Masa (g)	Slika
+30	2076	
30/20	506	
20/15	346	
15/10	528	
-10	1476	

U čekićari se uzorak dodatno usitnio i postigao bolji raščin. Uzorak je naime bio topliji i dosta parafina je ostalo slijepljeno za stijenke u unutrašnjosti čekićare, ali ništa se nije počelo topiti. Isto tako je napravljena granulometrijska analiza nakon drobljenja kao što je prikazano u tablici 4-4. i vizualni pregled izdvojenih klasa (Tablica 4-5) te je na temelju rezultata napravljen dijagram granulometrijskog sastava uzorka (Slika 4-8).

Tablica 4-4. Granulometrijski sastav ulaznog uzorka nakon sekundarnog drobljenja

Klasa (mm)	Maseni udio		Σ (%)
	(g)	(%)	
+10	168	6,4	6,4
10/7	406	15,4	21,8
7/4	746	28,2	50,0
4/2	568	21,5	71,5
-2	754	28,5	100,0
Σ	2642	100,0	0



Slika 4-8. Dijagram granulometrijskog sastava ulaznog uzorka nakon sekundarnog drobljenja

Tablica 4-5. Vizualni pregled izdvojenih klasa uzorka nakon sekundarnog drobljenja

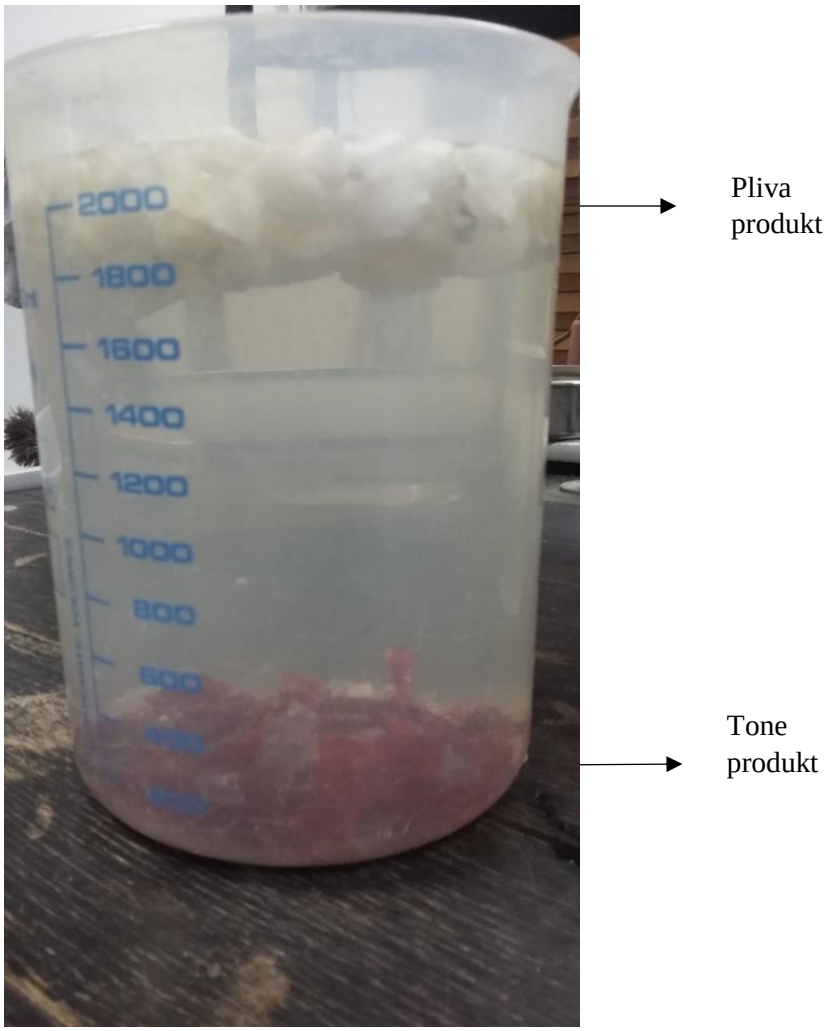
Klasa (mm)	Masa (g)	Slika
+10	168	
10/7	406	
7/4	746	
4/2	568	
-2	754	

U uzorku su ostali držači fitilja, fitilji i deklaracije (Slika 4-9) koje su bile zalijepljene na dno lampiona. Držači se najčešće izrađuju od aluminija, ali budući da je aluminij skup, neki proizvođači koriste željezne držače fitilja. Ako su držači željezni, mogu se izdvojiti na magnetskom separatoru, ali su u ovom ispitivanju izdvojeni ručnim probiranjem zajedno s fitiljima i deklaracijama.



Slika 4-9. Držači fitilja, fitilji i deklaracije

Prije atricijskog čišćenja nekorisna komponenta (parafin) odvojena je pliva-tone separacijom. Parafin ima gustoću 0,88 - 0,92 g/cm^3 pri sobnoj temperaturi, a PVC ima gustoću 1,35 g/cm^3 i PP 0,90 g/cm^3 Gustoća parafina je manja od gustoće vode što znači da će isplivati na površinu, dok će plastika potonuti na dno posude (Slika 4-10). Dakle, kao medij za separaciju korištena je obična voda iz vodovoda jer ima manju gustoću od plastike, ali opet veću od parafina.

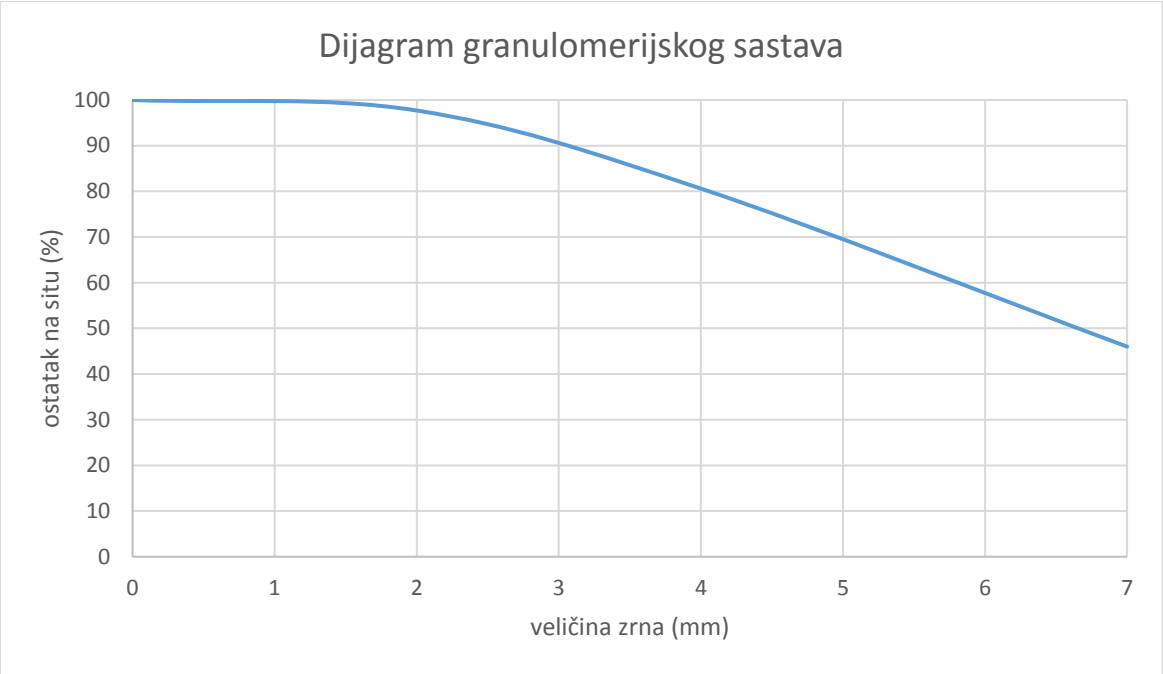


Slika 4-10. Razdvajanje parafina i plastike

Nakon što smo razdvojili plastiku od parafina potrebno ih je osušiti da bi ih mogli izvagati, napraviti granulometrijsku analizu izdvojene plastike (Tablica 4-6) i dijagram na temelju analize (Slika 4-11). Sušenje je izvedeno na sobnoj temperaturi.

Tablica 4-6. Granulometrijski sastav izdvojene plastike

Klasa (mm)	Maseni udio		Σ (%)
	(g)	(%)	
+7	333,6	46,0	46,0
7/4	251,0	34,6	80,6
4/2	124,1	17,1	97,7
-2	17,0	2,3	100,00
Σ	725,7	100,0	0

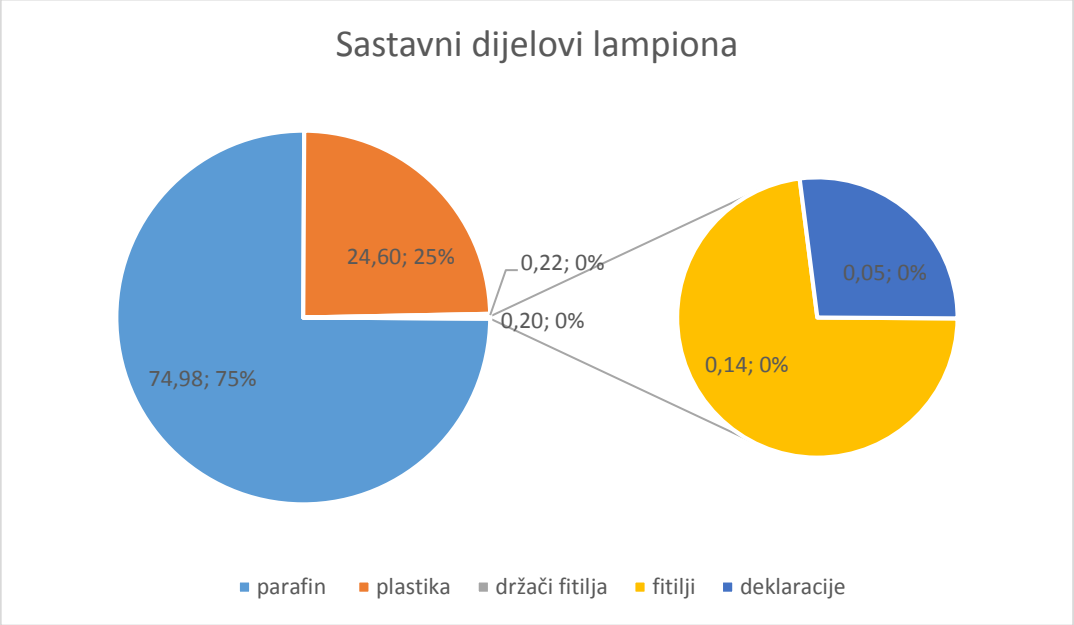


Slika 4-11. Dijagram granulometrijskog sastava plastike nakon pliva-tone separacije

Tablica 4-7. Vizualni pregled izdvojenih klasa plastike nakon pliva-tone separacije

Klasa (mm)	Masa (g)	Slika
+7	333,6	
7/4	251,0	
4/2	124,1	
-2	17,0	

Kružni dijagram (Slika 4-12) nam prikazuje maseni udio pojedinih komponenata od kojih je izrađen lampion. Masa parafina je znatno veća nego masa plastike, gotovo trostruko veća.



Slika 4-12. Kružni dijagram sastavnih dijelova lampiona

Potpuno odvajanje parafina od plastike iznimno je teško te su neki dijelovi parafina ostali „zalijepljeni“ za plastiku (Slika 5-1) nakon sitnjenja i PT separacije. Tanak sloj parafina koji je ostao na plastici predstavlja problem, a prema postavljenoj hipotezi istraživanja taj tanki film eventualno bi se mogao ukloniti atricijskim čišćenjem.



Slika 5-1. Tanak sloj parafina na plastici

Provedeno je ispitivanje u laboratorijskoj atricijskoj ćeliji kružnog poprečnog presjeka na 10 uzoraka. Vizualnim pregledom pojedinih klasa (tablica 4-7) za ispitivanje su kao najpogodnije odabrane dvije klase (+7 mm i 7/4 mm). Procijenjeno je da krupnije klase nisu pogodne jer su jednostavno prevelike za atricijsku ćeliju - s jedne strane je izgledno da bi došlo do njihovog izbacivanja iz ćelije prilikom procesa atricije, a s druge strane je izgledno da bi (pre)veliki komadi plastike formirali svojevrsnu „tampon“ zonu između impelera i komada plastike uz stijenke atricijske ćelije pa ti „vanjski“ dijelovi uzorka uz stijenke ne bi bili u dovoljnoj mjeri podvrgnuti procesu atricije). Što se zrna sitnijih od 4 mm tiče ona su jednostavno presitna da bi ih se na kraju procedure ispitivanja moglo ručno oprati u vrućoj vodi. Svih 10 pokusa izvedeno je pri istoj gustoći suspenzije od 0,44 g/cm^3. Jedna grupa pokusa izvedena je na način da je uz konstantnu (srednju) brzinu impelera (860 okr/min) mijenjano vrijeme atricije (t_{min}=10 min, t_{sr}=15 min, t_{max}=20 min), a u drugoj grupi pokusa je pri istom (srednjem) vremenu atricije od 15 minuta mijenjana brzina vrtnje impelera (v_{min}=400 okr/min, v_{sr}=840 okr/min, v_{max}=1400 okr/min). Pri tome su pokusi izvedeni i za krupniju klasu (+7 mm) i za sitniju klasu (7/4 mm) kako bi se dobila informacija o eventualnom utjecaju veličine zrna ako postoji.

Procedura provođenja istraživanja bila je identična u svih 10 pokusa. Najprije je pripremljen uzorak plastike mase 100 g, a u atricijsku ćeliju je plastici dodano 225 ml vode. Nakon atricijskog čišćenja uzorka, plastika je izvađena iz ćelije i procijeđena na situ s veličinom otvora od 1 mm da bi se odvojila voda. Zatim je uzorak osušen (Slika 5-2) i izvagan da bi se dobila razlika mase plastike prije i nakon atricije ($m_U - m_A$) koja pokazuje koliko parafina kao nekorisne komponente je skinuto s površine plastike atricijom. Sušenje je izvedeno u sušioniku pri 50 °C. Tijekom sušenja voda je isparila, a fragmenti parafina na površini rastopili i ostali na komadima plastike u formi vrlo tankog filma. Deklaracije koje su ostale zalijepljene na komadićima plastike su zbog trenja i međusobnog trljanja zrna od zrno tijekom atricije uklonjene s površine u potpunosti. Osušena atrirana plastika je izvagana (m_A), a nakon toga oprana ručno u vrućoj vodi kako bi se s nje u potpunosti uklonio parafin.



Slika 5-2. Osušena plastika nakon atricijskog čišćenja

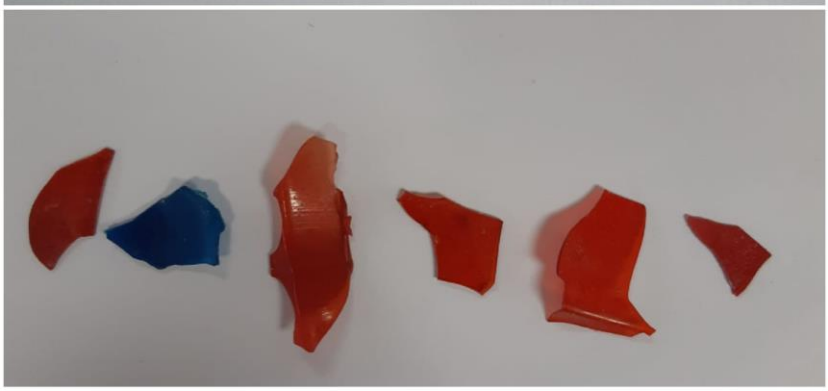
Oprana plastika (ovaj put bez imalo parafina) je ponovo osušena u sušioniku pri 50°C i ponovo izvagana da se dobije masa čiste plastike. Razlika u masi atrirane i oprane plastike ($m_A - m_O$) pokazuje koliko parafina je zaostalo na plastici nakon atricijskog čišćenja. Dakle, određivanje razlike u masi plastike u ulaznom uzorku, nakon atriranja i čiste plastike nakon pranja u vrućoj vodi bilo je potrebno radi određivanja sadržaja korisne (plastika) i nekorisne (parafin) komponente kako bi se mogli izračunati tehnološki pokazatelji

efikasnosti procesa atricije. Vizualnom usporedbom plastike prije i nakon atricije vidljiva je znatna razlika glede sadržaja parafina na površini plastike (Slika 5-3).

a)



b)



Slika 5-3. Usporedba plastike a) prije atricijskog čišćenja b) poslije atricijskog čišćenja

5. REZULTATI I DISKUSIJA

U prvoj fazi ispitivanja provedeno je 6 pokusa (P1, P2, P3, P6, P7 i P8) s dvije različite klase i tri različita vremena atricije, ali pri istoj brzini impelera. Temeljem rezultata u tablici 5-1 i tablici 5-2. može se zaključiti da su postignuti bolji rezultati s klasom +7 mm. U tablici treba obratiti pozornost na razliku između mase atrirane plastike (m_A) i oprane plastike (m_O) jer ona predstavlja masu parafina zaostalu nakon atricije ($m_A - m_O$) te nju usporediti s razlikom mase ulaznog uzorka (m_U) i oprane plastike (m_O) jer ona predstavlja masu parafina u ulazu ($m_U - m_O$). Masa parafina koji je uklonjen atricijom može se dobiti iz razlike mase ulaznog uzorka i mase atrirane plastike ($m_U - m_A$). Kada se razmotri razlika mase atriranog i opranog uzorka što je u tablici označeno $(m_U - m_A) + (m_A - m_O)$ može se vidjeti da je došlo do smanjenja sadržaja parafina na plastici. Najmanje smanjenje sadržaja parafina na plastici dobiveno je u pokusu P6 gdje je atricijom skinuto samo 0,0027 g, a najbolji rezultat u pokusu P8 gdje je sadržaj parafina nakon atricijskog čišćenja smanjen za 1,4927 g, pri čemu su oba pokusa izvedena na sitnijoj klasi 7/4 mm. Rezultati smanjenja krupnije klase +7 mm su znatno ujednačeniji pri čemu se smanjenje kreće od 0,5815 (Pokus 1) preko 0,6575 g (Pokus 2) do 0,7286 g (Pokus 3).

U drugoj fazi ispitivanja odlučeno je napraviti još po dva pokusa sa svakom klasom (dakle ukupno još četiri pokusa, P4, P5, P9 i P10) pri različitim brzinama impelera kako bi se mogao razmotriti utjecaj brzine impelera. Što se vremena atricije tiče odlučeno je da se ta druga faza ispitivanja provede uz srednje vrijeme od 15 minuta. Minimalna brzina impelera u ovoj drugoj fazi ispitivanja iznosila je 410 okr/min, a maksimalna 1400 okr/min uz konstantno vrijeme atricije od 15 minuta. Najveće smanjenje sadržaja parafina od 1,6225 g u pokusu P9 dobiveno je u sitnijoj klasi 7/4 mm, a najmanje od 0,0560 g u pokusu P5 provedenom na krupnijoj klasi +7 mm.

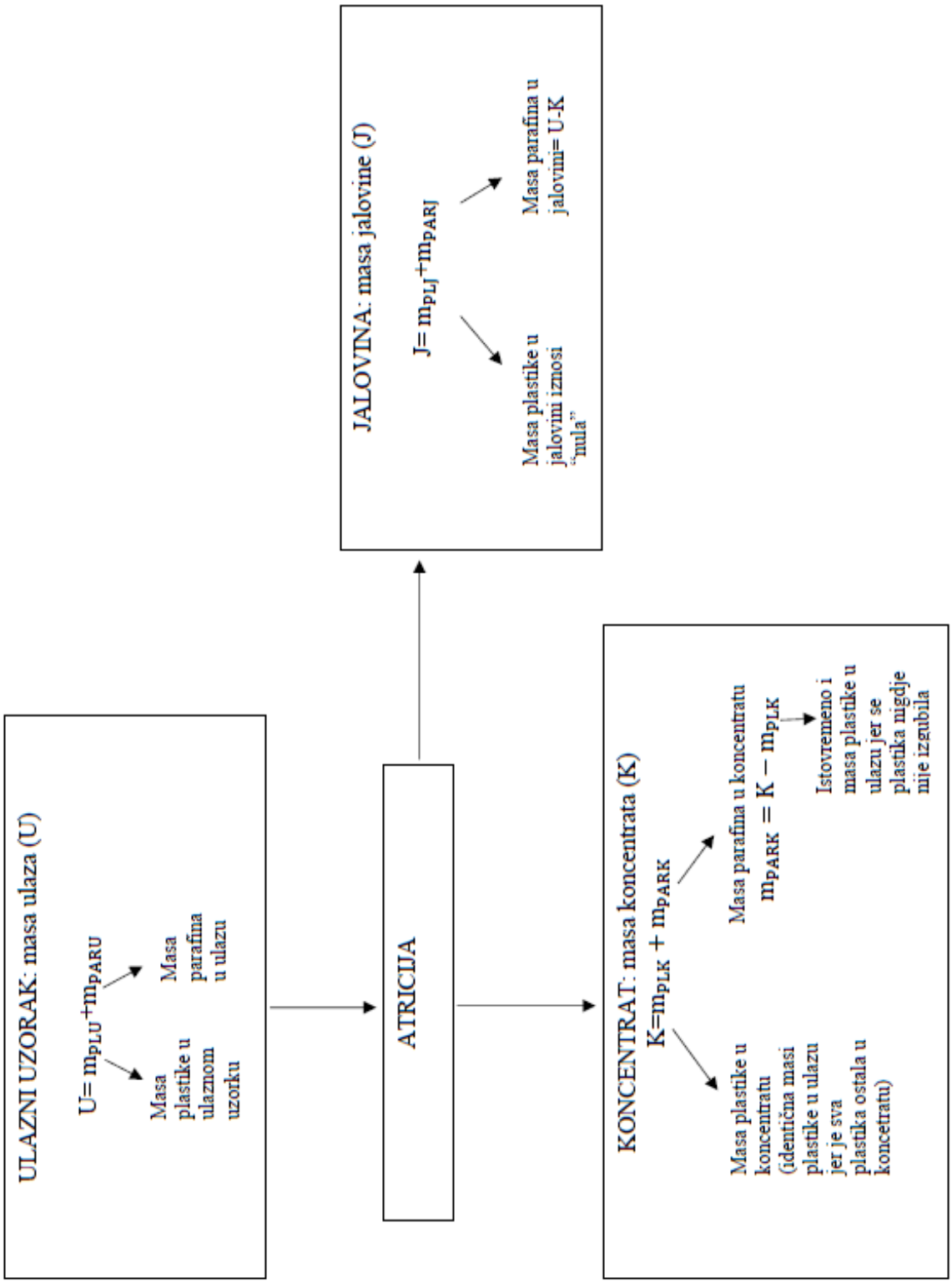
Tablica 5-1. Prikaz masa u pojedinim fazama ispitivanja klase +7 mm

Pokusi	P1 +7 mm, 10 min, 860 okr/min	P2 +7 mm, 15 min, 860 okr/min	P3 +7 mm, 20 min, 860 okr/min	P4 +7 mm, 15 min, 410 okr/min	P5 +7 mm, 15 min, 1400 okr/min
Masa ulaza, m_U (g)	100,0425	100,2629	100,073	100,3556	100,0605
Masa atriranog uzorka, m_A (g)	99,461	99,6394	99,3444	99,9989	100,0045
Masa parafina skinutog s plastike atricijom, $m_U - m_A$ (g)	0,5815	0,6575	0,7286	0,3567	0,056
Masa opranog uzorka, m_O (g)	98,7481	99,1761	98,5964	99,4762	99,3136
Masa parafina zaostalog na plastici nakon atricije, $m_A - m_O$ (g)	0,7129	0,4633	0,7480	0,5227	0,6909
Masa parafina u ulaznom uzorku, $(m_U - m_A) + (m_A - m_O)$ (g)	1,2944	1,2080	1,4766	0,8794	0,7469

Tablica 5-2. Prikaz masa u pojedinim fazama ispitivanja klase 7/4 mm

Pokusi	P6 7/4 mm, 10 min, 860 okr/min	P7 7/4 mm, 15 min, 860 okr/min	P8 7/4 mm 20 min 860 okr/min	P9 7/4 mm 15 min 410 okr/min	P10 7/4 mm 15 min 1400 okr/min
Masa ulaza, m_U (g)	100,4521	100,5682	100,2049	100,5499	100,2524
Masa atriranog uzorka, m_A (g)	100,4548	100,3984	98,7122	98,9274	99,8797
Masa parafina skinutog s plastike atricijom, $m_U - m_A$ (g)	0,0027	0,1648	1,4927	1,6225	0,4601
Masa opranog uzorka, m_O (g)	99,6829	98,899	98,009	97,9581	98,6382
Masa parafina zaostalog na plastici nakon atricije, $m_A - m_O$ (g)	0,7719	0,4985	0,7032	0,9693	1,2145
Masa parafina u ulaznom uzorku, $(m_U - m_A) + (m_A - m_O)$ (g)	0,7746	0,6633	2,1959	2,5918	1,6746

Na slici 5-4. su blok dijagramom prikazani nastali produkti u ispitivanjima uz objašnjenje pojedinih elemenata koji su uzeti u daljnim proračunima tehnoloških pokazatelja separacije.



Slika 5-4. Shematski prikaz i objašnjenje nastalih produkata

5.1. Tehnološki pokazatelji uspješnosti koncentracije

U procesu recikliranja najčešće se dobiju dva produkta: koncentrat i jalovina. U pravilu, koncentrat osim korisne komponente sadrži i nekorisnu komponentu, dok jalovina pored nekorisne komponente sadrži i korisnu komponentu.

Osnovni tehnološki pokazatelji kojima se prati učinkovitost pojedinog koncentracijskog postupka su iskorištenje mase koncentrata, kvaliteta koncentrata te iskorištenje korisne komponente u koncentratu. U recikliranju otpada razlikujemo kvantitativno i kvalitativno tri toka materijala: ulaz, koncentrat i jalovinu (Bedeković i Salopek 2008).

Plastika je u ovom istraživanju razmatrana kao korisna komponenta, a parafin kao nekorisna i prema tome su napravljeni proračuni. Vrijednosti tehnoloških pokazatelja separacije prikazani su u tablici 5-3 (potpuni prikaz nalazi se u prilogu 1), a izračunati su prema izrazima (5-1), (5-2) i (5-3).

Iskorištenje mase koncentrata I_m može se izračunati prema izrazu:

$$I_m = 100\frac{K}{U} \quad (\%) \qquad (5\text{-}1)$$

gdje je U masa ulaza, a K masa koncentrata.

Kvaliteta koncentrata k može se definirati kao postotni sadržaj korisne komponente u koncentratu kao krajnjem produktu, a računa se prema izrazu:

$$k = \frac{m_k}{K} \quad (\%) \qquad (5\text{-}2)$$

gdje je m_k masa korisne komponente u koncentratu, a K masa koncentrata.

Iskorištenje korisne komponente u koncentratu I_k može se definirati kao odnos mase korisne komponente u koncentratu i mase korisne komponente u ulazu m_u, a računa se prema izrazu:

$$I_k = \frac{K\ k}{U\ u} \quad (\%) \qquad (5\text{-}3)$$

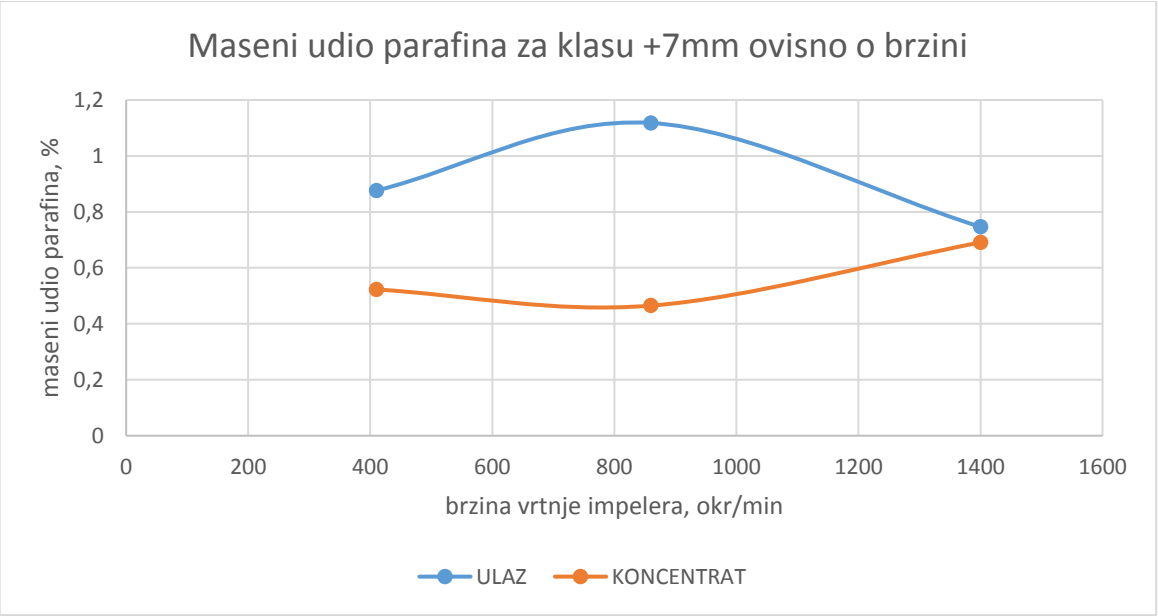
gdje je u postotni sadržaj korisne komponente u ulazu.

Tablica 5-3. Rezultati koncentracije atricijskog čišćenja

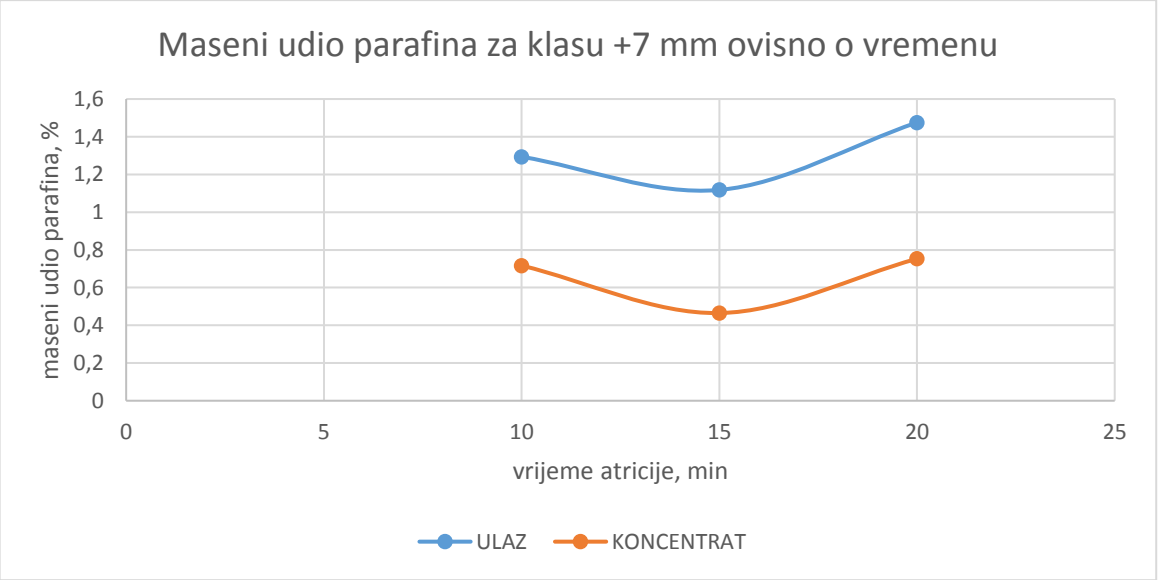
Pokus	Veličina zrna, mm	Vrijeme atricije, min	Brzina vrtnje impelera, o/min	I_m, %	k, %	I_k, %
P1	+7	10	860	99,42	99,28	100,00
P2	+7	15	860	99,38	99,54	100,00
P3	+7	20	860	99,27	99,25	100,00
P4	+7	15	410	99,64	99,47	99,99
P5	+7	15	1400	99,94	99,31	100,00
P6	7/4	10	860	100,00	99,23	100,00
P7	7/4	15	860	99,83	99,50	100,00
P8	7/4	20	860	98,51	99,29	100,00
P9	7/4	15	410	98,39	99,02	100,00
P10	7/4	15	1400	99,63	98,76	100,00

Kada se razmotre tehnološki pokazatelji uspješnosti separacije u tablici 5-3. na prvi pogled bi se moglo zaključiti kako je atricija iznimno učinkovit proces budući da se maseno iskorištenje kreće u rasponu od 98,39% (P9) do 100,00 (P6), kvaliteta koncentrata od 98,76% (P10) do 99,54% (P2) dok je iskorištenje korisne komponente praktično u svim pokusima iznosilo 100% (izuzev pokusa P4 gdje je 99,99%). Objašnjenje ovako „dobrih“ brojki relativno je jednostavno. Naime, kada se razmotri sastav ulaznog uzorka (Prilog 1) vidi se da je masa ulaznog uzorka u svim pokusima iznosila približno 100 g pri čemu je masa plastike u ulazu bila od minimalnih 97,9581 g (P9) do maksimalnih 99,8990 g (P7), dakle i približno jednako toliko i u postocima (obzirom da je masa ulaza bila približno 100 g). Budući da je sva plastika ostala u atricijskoj ćeliji (odnosno u koncentratu) to je i maseno iskorištenje (jer glavninu uzorka čini plastika) bilo vrlo visoko (od 98,39% do 100,00%), a iskorištenje korisne komponente 100% u svim pokusima (izuzev P4 gdje je to bilo 99,99%). Također je i kvaliteta koncentrata koja pokazuje sadržaj plastike u koncentratu vrlo visoka (od 98,76% do 99,54%) iz istog razloga (vrlo visok sadržaj plastike već u ulazu). No, u postupcima oplemenjivanja mineralnih sirovina, a tako i recikliranja (jer se radi o istim tehnološkim postupcima i principima) lako je postići „vidljiv“ rezultat kada je ulazni uzorak „vrlo loš“, a najteže je kod već kvalitetnog ulaznog uzorka dodatno poboljšati njegovu kvalitetu, što je u ovom ispitivanju bio slučaj s obzirom na visok maseni udio plastike kao korisne komponente već u ulaznom uzorku.

Stoga je odlučeno da se uspješnost atricije razmatra preko smanjenja sadržaja parafina, a ne putem tehnoloških pokazatelja separacije kako je to uobičajeno. Iz tog razloga izrađeni su i sljedeći dijagrami (slike od 5-5. do 5-10.) koji će poslužiti za procjenu utjecaja pojedinih parametara pri atriciji.



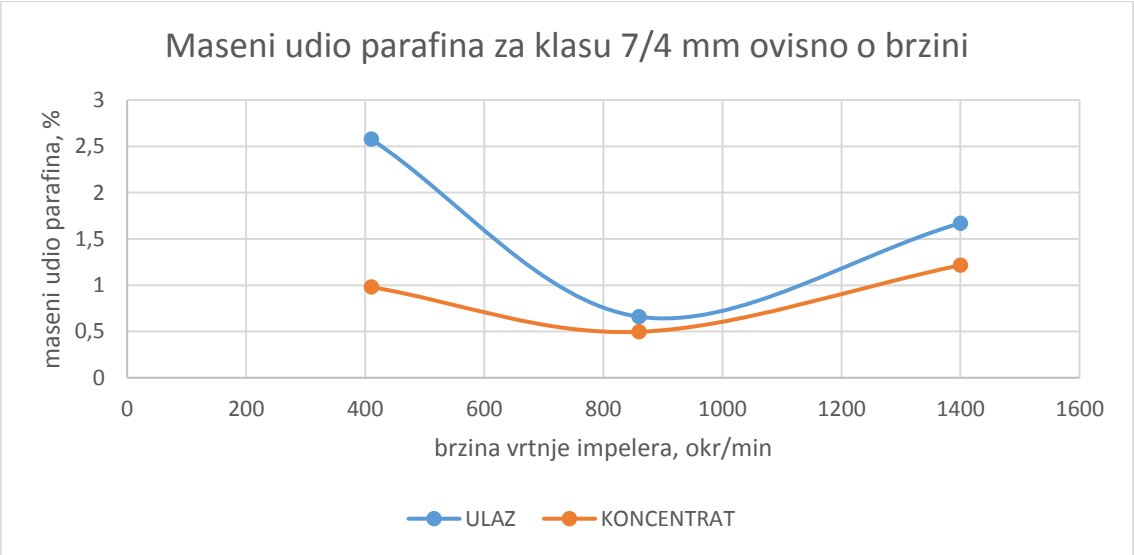
Slika 5-5. Maseni udio parafina za klasu +7 mm ovisno o brzini vrtnje impelera pri konstantnom vremenu atricije (15 min)



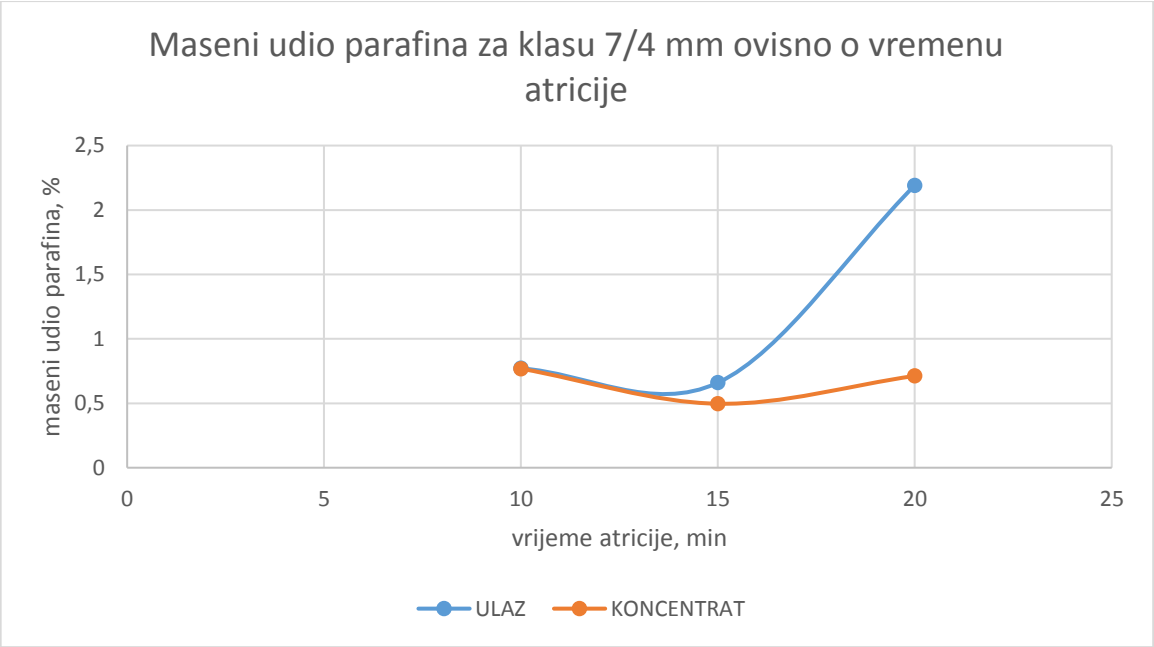
Slika 5-6. Maseni udio parafina za klasu +7 mm ovisno o vremenu atricije pri srednjoj brzini (860 okr/min)

Na slikama 5-5. i 5-6. nalazi se prikaz masenog udjela parafina za krupniju klasu +7 mm ovisno o brzini vrtnje impelera i vremenu trajanja atricije. U svim pokusima došlo je do smanjenja masenog udjela parafina u koncentratu nakon atricije. Kada se razmotri utjecaj brzine impelera (slika 5-5.) vidi se da za atriranje krupnije klase +7 mm nisu pogodne velike brzine impelera. Najveće smanjenje sadržaja parafina od 0,6529% (smanjenje od početnih 1,1179% do konačnih 0,4650%) postignuto je kod srednje ispitivane brzine od 840 okr/min.

Kada se razmotri utjecaj vremena atricije (slika 5-6.) vidi se da s povećanjem vremena atricije raste i smanjenje sadržaja parafina u koncentratu, neovisno o sadržaju parafina u ulazu. Tako je pri atriciji plastike u vremenu od 10 minuta sadržaj parafina smanjen za 0,5771% (s početnih 1,2939% u ulazu do 0,7168% u koncentratu). S povećanjem vremena atricije na 15 minuta poraslo smanjenje sadržaja parafina poraslo je na 0,6529% usprkos tome što ga je manje bilo u ulazu (od početnih 1,1179% na konačnih 0,4650%). S daljnjim povećanjem vremena atricije na 20 minuta zabilježen je i daljnji porast smanjenja sadržaja parafina od 0,7226% (od početnih 1,4755% na konačnih 0,7529%). Dakle može se zaključiti da povećanje vremena atricije rezultira i većim smanjenjem sadržaja parafina u krupnijoj klasi +7 mm. Rezultati ispitivanja pri istim uvjetima ali sa sitnijom klasom 7/4 mm prikazani su na slikama 5-7. i 5-8.



Slika 5-7. Maseni udio parafina za klasu 7/4 mm ovisno o brzini vrtnje impelera pri konstantnom vremenu atricije (15 min)



Slika 5-8. Maseni udio parafina za klasu 7/4 mm ovisno o vremenu atricije pri srednjoj brzini vrtnje impelera (860 okr/min)

Također je u svim pokusima došlo je do smanjenja masenog udjela parafina u koncentratu nakon atricije. Kada se razmotri utjecaj brzine impelera (slika 5-7.) vidi se da su za atriciju sitnije klase 7/4 mm pogodnije male brzine impelera. Najveće smanjenje sadržaja parafina od 1,5978% (smanjenje od početnih 2,5776% do konačnih 0,9798%) postignuto je kod minimalne ispitivane brzine od 410 okr/min. Srednja i maksimalna brzina impelera (860 i 1400 okr/min) dale su znatno slabije rezultate (smanjenja od 0,1631% pri srednjoj i 0,4544% pri maksimalnoj brzini).

Kada se razmotri utjecaj vremena atricije (slika 5-8.) vidi se da s povećanjem vremena atricije raste i smanjenje sadržaja parafina u koncentratu, neovisno o sadržaju parafina u ulazu. Minimalno vrijeme atricije od 10 minuta za sitniju klasu 7/4 mm jednostavno je prekratko za postizanje efekta atricije budući da je smanjenje sadržaja iznosilo 0,0027% (od početnih 0,7711% do konačnih 0,7684%), ako se uopće i može govoriti o smanjenju. Pri povećanju vremena atricije na 15 minuta usprkos manjem sadržaju parafina u ulazu zabilježeno je smanjenje od 0,1631% (s početnih 0,6596% na krajnjih 0,4965%). Pri daljnjem povećanju vremena atricije na 20 minuta konačno je zabilježen i značajan efekt atricije pri čemu je trostruko smanjen sadržaj parafina (smanjenje od 1,4790%, od početnih 2,1914% na krajnjih 0,7124%). Dakle, za sitniju klasu potrebno je i dulje vrijeme atriranja.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitivana je mogućnost recikiranja lampiona metodama atricijskog čišćenja. Recikliranjem lampiona štedi se prostor odlagališta, spriječavaju se onečišćenja u okolišu jer degradacija plastike uzrokuje stvaranje štetnih kiselina (degradacijom PVC plastike nastaje klorovodična kiselina), smanjuje dugo vremensko razdoblje razgradnje i štede se mineralne sirovine.

Na temelju provedenih laboratorijskih ispitivanja mogu se donijeti slijedeći zaključci:

-Uzorak mora biti dovoljno usitnjen da bi se postigao raščin, ali ne previše ustinjen kao u mlinu jer dolazi do zagrijavanja parafina i ljepljenja. Krupnije klase nisu pogodne jer su prevelike za atricijsku ćeliju, dok su zrna sitnija od 4 mm premala za ručno pranje vrućom vodom.

-Rezultati smanjenja sadržaja parafina kod krupnije klase +7 mm su znatno ujednačeniji nego kod sitnije klase 7/4 mm.

-Uspješnost atricije razmatrana je preko smanjenja sadržaja parafina, a ne putem tehnoloških pokazatelja separacije kako je to uobičajeno s obzirom na visok maseni udio plastike kao korisne komponente već u ulaznom uzorku.

- Za atricijsko čišćenje krupnije klase +7 mm nisu pogodne velike brzine impelera, a s povećanjem vremena atricije raste smanjenje sadržaja parafina u koncentratu, neovisno o sadržaju parafina u ulazu. Za atricijsko čišćenje sitnije klase 7/4 mm pogodnije su male brzine impelera.

- Povećanje vremena atricije rezultira i većim smanjenjem sadržaja parafina u krupnijoj klasi +7 mm dok je sitnijoj klasi 7/4 mm svakako potrebno dulje vrijeme atricije.

Rezultati su pokazali da je hipoteza s početka ispitivanja točna i da se može odvojiti plastika od parafina metodom atricijskog čišćenja.

7. LITERATURA

AKSIN, V., 1967. Geologija nafte, Novi Sad.

ASSIS, E., ZISKIND, G., LETAN R., 2007. Numerical and experimental study of of melting paraffin in a spcherical shell. International Journal Of Heat and Mass Transfer 50 (2007) 1790-1804

BEDEKOVIĆ, G., SALOPEK, B., 2008. Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz predmeta Oplemenjivanje mineralnih sirovina 1: interna skripta. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

BEDEKOVIĆ, G., SALOPEK, B., 2010. Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz predmeta Oplemenjivanje mineralnih sirovina 2: interna skripta. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

DRAŽEVIĆ, E., 2007. Parafin kao materijal za pohranu topline: diplomski rad. Zagreb. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.

ERCEG, M., BANOVAC, I., BRNAS, I., 2013. Razvrstavanje i identifikacija plastičnih komponenti otpadnih nadgrobnih lampiona. Polimeri, 34(2013)2-3, str. 54-58

Gradsko komunalno poduzeće 2013. URL: http://www.pre-kom.hr/arhiva-novosti-2013.html (17.7.2018.)

IN PORTAL-News portal za osobe s invaliditetom 2013. URL: http://www.in-portal.hr/in-portal-news/sport/2543/socijalna-zadruga-prijateljica-najbrzi-put-do-zaposljavanja-osoba-s-invaliditetom-je-samozaposljavanje (30.11.2018.)

KRATOFIL KREHULA LJ., 2015., Recikliranje plastičnog otpada. Zaštita okoliša, Kem. Ind. 64 (7-8) (2015)., str 417–420

LABAŠ, M., 2015. Recikliranje mješovitog otpada: diplomski rad. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

SCHRICKER, B., TIEFEL, H., NESSE, T. (2000). Remediation of Contaminated Sandy Soil Fractions Using High-Performance Attrition. Proceedins of the XXI International Mineral Processing Congress, vol B, pp B13-24 – B13-30.

SOBOTA, I., 2015/2016. Čišćenje tla. Predavanja. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet. (neobjavljeno)

STRAŽIŠAR, J., SEŠELJ, A., 1999. Attrition as a process of comminution and separation. Powder Tehcnology, 105 _1999., str 205-209

Veliki rečnik 2017. URL: https://velikirecnik.com/2017/09/29/parafin/#prettyPhoto (17.7.2018.)

Prilozi

Prilog 1 Rezultati koncentracije atricije

Brzina vrtnje imp.	Vrijeme atr.	ULAZ				KONCENTRAT				JALOVINA						
		Udio	Masa	Masa paraf.	Masa ulaza	Udio	Masa plastike	Masa paraf.	Masa konc.	Masa paraf.	Masa plastike	Masa jalovine	Iskorištenje mase konc.	Sadržaj korisne komp u konc.	Iskorištenje korisne komponente
v	t		mo		U		mk		K				Im (%)	k (%)	Ik (%)
okr/min	s	%	g	g	g	%	g	g	g	g	g	g			
860	10	1,2939	98,7481	1,2944	100,0425	0,7168	98,7481	0,7129	99,461	1,2944	-	1,2944	99,4187	99,2832	100
860	15	1,1179	99,1761	1,1208	100,2629	0,465	99,1761	0,4633	99,6394	1,1208	-	1,1208	99,3781	99,535	100
860	20	1,4755	98,5964	1,4766	100,073	0,7529	98,5964	0,748	99,3444	1,4766	-	1,4766	99,2719	99,2471	100
410	15	0,8763	99,4762	0,8794	100,3556	0,5227	99,4672	0,5227	99,9989	0,8794	-	0,8794	99,6446	99,4683	99,991
1400	15	0,7464	99,3136	0,7469	100,0605	0,6909	99,3136	0,6909	100,0045	0,7469	-	0,7469	99,944	99,3091	100
860	10	0,7711	99,6829	0,7746	100,4521	0,7684	99,6829	0,7719	100,4548	0,7746	-	0,7746	100,0027	99,2316	100
860	15	0,6596	99,899	0,6633	100,5682	0,4965	99,899	0,4985	100,3984	0,6633	-	0,6633	99,8312	99,5026	100
860	20	2,1914	98,009	2,1959	100,2049	0,7124	98,009	0,7032	98,7122	2,1959	-	2,1959	98,5104	99,2876	100
410	15	2,5776	97,9581	2,5918	100,5499	0,9798	97,9581	0,9693	98,9274	2,5918	-	2,5918	98,3864	99,0202	100
1400	15	1,6704	98,6382	1,6746	100,2524	1,216	98,6382	1,2145	99,8797	1,6746	-	1,6746	99,6282	98,757	100