# Izdvajanje bakra iz telefonskih kablova

**Lasić, Jakov**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*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:169:976140

*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

# IZDVAJANJE BAKRA IZ TELEFONSKIH KABLOVA

Diplomski rad

Jakov Lasić
R 73

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

# IZDVAJANJE BAKRA IZ TELEFONSKIH KABLOVA

JAKOV LASIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Sažetak

Sa porastom količina otpada postajemo sve svjesniji problema potrebe za zbrinjavanjem toga otpada. Odlaganje na odlagalištima nije pogodno zbog opasnih tvari koje se mogu naći u električnom i elektroničkom otpadu te zbog gubitka sekundarnih sirovina koja ostaju odložena na odlagalištima. Provedena su ispitivanja u svrhu recikliranja UTP i STP kabela metodama za oplemenjivanje mineralnih sirovina te su utvrđeni tehnološki pokazatelji separacije za korištene postupke. Metode koje su korištene za izdvajanje bakra iz navedenih kabela su postupci oplemenjivanja mineralnih sirovina na koncentracijskom stolu i spiralnom žlijebu.

Ključne riječi: EE otpad, UTP kablovi, recikliranje, separacija
Diplomski rad sadrži: 39 stranica, 9 tablica, 20 slika i 19 referenci
Jezik izvornika: hrvatski.
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Gordan Bedeković, izvanredni profesor RGNF
Ocjenjivači: Dr. sc. Gordan Bedeković, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Želimir Veinović, docent RGNF
Dr. sc. Dalibor Kuhinek, docent RGNF

Datum obrane: 17. rujna 2015.

University of Zagreb
FacultyofMining,Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

# SEPARATION OF COPPER VOICE AND TELEPHONE CABELS

JAKOV LASIĆ

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

Summary

With the increasing amount of waste we become aware of the problems with the need for disposal of waste. Landfilling is not suitable because of hazardous substances that can be found in the WEEE waste and because of the loss of secondry materials which remain deposited in landfills. Test were carried out for the purpose of recycling UTP and STP cables by methods of mineral processing, and tehnological indicators for separation procedures are determined. Metodes that were used to separating copper from these cables are mineral processing procedures at a shaking table and a spiral sluice.

Keywords: WEEE waste, UTP cabel, recycling, separation
Thesis contains: 39 pages, 9 tables, 20 pictures and 19 reefrences.
Orginal in: Croatian.
Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Gordan Bedeković, Associate professor
Reviewers: PhD Gordan Bedeković, Associate professor
PhD Želimir Veinović, Assistant Professor
PhD Dalibor Kuhinek, Assistant Professor

Date of defense: September 17, 2015

# SADRŽAJ

POPIS TABLICA ..... II
POPIS SLIKA ..... III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA ..... IV
1. UVOD ..... 1
2. EE OTPAD ..... 2
2.1.EE OTPAD DANAS ..... 4
2.2. EE OTPAD U BUDUĆNOSTI ..... 7
3. TELEFONSKI KABELI UTP I STP ..... 9
4. KONCENTRACIJSKI STOL ..... 11
5. STRATIFIKACIJA NA KONCENTRACIJSKOM STOLU ..... 16
6. SPIRALNI ŽLIJEB TIPA HUMPHREYS ..... 20
7. GRANULATOR UG 600 ..... 22
8. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA ..... 24
8.1. PROCEDURA ISPITIVANJA ..... 25
8.2. ISPITIVANJE NA KONCENTRACIJSKOM STOLU ..... 25
8.3. ISPITIVANJE NA SPIRALNOM ŽLIJEBU TIPA HUMPHREYS ..... 26
9. REZULTATI ..... 27
9.1. KONCENTRACIJSKI STOL ..... 28
9.2. SPIRALNI ŽLIJEB ..... 34
10. ZAKLJUČAK ..... 36
11. POPIS LITERATURE ..... 38

**POPIS TABLICA**

Tablica 7-1. Tehničke karakteristike granulatora UG 600 ..... 22
Tablica 9-1. Rezultati grube separaciju ..... 29
Tablica 9-2. Prikaz tehnoloških pokazatelja grube separacije..... 30
Tablica 9-3. Rezultati prvog čišćenja nakon grube separacije ..... 31
Tablica 9-4. Prikaz tehnoloških pokazatelja prvog čišćenja..... 32
Tablica 9-5. Rezultati nakon drugog čišćenja. ..... 33
Tablica 9-6. Prikaz tehnoloških pokazateljanakon drugog čišćenja..... 33
Tablica 9-7. Rezultati mjerenja sa spiralnog žlijeba..... 35
Tablica 9-8. Prikaz tehnoloških pokazatelja za spiralni žlijeb ..... 35

**POPIS SLIKA**

Slika 2-1. EE otpad (Spectra Media 2015) ..... 4
Slika 2-2. Trend sakupljene mase EE otpada u RH po stanovniku (AZO 2012). ..... 5
Slika 3-1. UTP kabel ..... 9
Slika 4-1. Razmještaj produkata na ploči koncentracijskog stola (Bedeković i Salopek 2010). ..... 11
Slika 4-2. Dijelovi koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968). ..... 12
Slika 4-3. Tipičan razmještaj produkata na ploči koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968). ..... 13
Slika 4-4. Idealna stratifikacija između letvica koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968). ..... 14
Slika 4-5. Poprečni presjek mineralnih zrna na glatkoj ploči koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968). ..... 15
Slika 5-1. Uloga letvice na kretanje zrna po ploči stola (Lešić i Marković 1968). ..... 16
Slika 5-2. Stratifikacija zrna na ploči stola (Lešić i Marković 1968). ..... 17
Slika 6-1. Spirala Humphreys RGN fakulteta u Zagrebu (1-bunker za doziranje materijala, 2-žlijeb) (Bedeković i Salopek 2010). ..... 20
Slika 6-2. Raspored produkata na spirali (Lešić i Marković 1968). ..... 21
Slika 7-1. Način sitnjenja telefonskog kabela tipa UTP (Spectra Media 2015). ..... 22
Slika 7-2. Osnovni djelovi granulatora UG 600 (Spectra Media 2015). ..... 23
Slika 9-1. Rezultati grube separacije u zavisnosti o nagibu stola. ..... 28
Slika 9-2. Rezultati drugog stupnja stratifikacije u zavisnosti o nagibu stola. ..... 30
Slika 9-3. Rezultati nakon dva čišćenja u zavisnosti o nagibu stola. ..... 32
Slika 9-4. Rezultati za spiralni žlijeb. ..... 34

**POPIS KORIŠTENIH OZNAKA**

| | | |
|---|---|---|
| $J$ | masa jalovine | kg |
| $K$ | masa koncentrata | kg |
| $U$ | masa ulaznog materijala | kg |
| $k$ | udio korisne komponente u koncentratu | % |
| $u$ | udio korisne komponente u ulazu | % |
| $m_k$ | masa korisne komponente u koncentratu | kg |
| $I_m$ | Iskorištenje mase | % |
| $I_k$ | Iskorištenje korisne komponente | % |
| $K_k$ | Kvaliteta koncentrata | % |
| $t$ | Vrijeme | s |

# 1. UVOD

Električni i elektronički otpad koji je najčešće označen kao EE-otpad spada u opasni otpad te ga nije dozvoljeno odlagati sa ostalim otpadom iz domaćinstva.

Pravilnikom o gospodarenju otpadom električnom i elektroničkom opremom propisani su uvjeti gospodarenja tim otpadom. Kako EE otpad ne bi završio na odlagalištima otpada, građani ne smiju svoje električne i elektroničke uređaje odlagati na način kao odlažu komunalni otpad. Kako bi spriječili neispravno i štetno odlaganje EE otpada, građani mogu u ovlaštenim trgovinama tj. onima većim od 400 m² koje prodaju EE uređaje iste vratiti (kao otpad) a da nisu dužni platiti nikakvu naknadu. Građani također mogu svoj EE otpad prodati ovlaštenom sakupljaču koji sukladno Zakonu ima dozvolu za sakupljanje EE otpada. Takve firme su dužne bez naknade i unutar 20 dana od poziva preuzeti EE otpad bez naknade uz uvjet da masa tog otpada prelazi 30 kg (Poslovni dnevnik 2014).

Velika brzina razvoja tehnologije dovodi do brzog zastarijevanja informatičke opreme. Sa novim proizvodima dolaze i nove mogućnosti, jednostavnija uporaba, bolje tehničke osobine i manja potrošnja električne energije. Novi proizvodi su bolji, kvalitetniji i uglavnom dosta ekonomičniji u odnosu na starije proizvode. Ovo su samo neki od mnogo razloga zbog kojih dolazi do odbacivanja takve vrste proizvoda (EUROSTAT 2011).

Uz kratak vijek trajanja takvih proizvoda sve više ih svake godine postaje EE otpad. Procjenjuje se da će godišnje količine nastalog otpada rasti za 3 % u razvijenim zemljama, dok će ta brojka u zemljama u razvoju dosezati i više od 10 % (EUROSTAT 2011).

Svi EE uređaji sadrže određenu količinu metala koji se recikliranjem može ponovo upotrijebiti. Mobilni telefoni se mogu uzeti za primjer jer imaju najkraći životni vijek od svih uređaja. Jedan mobilni telefon u prosjeku sadrži 250 mg srebra, 24 mg zlata, 9 mg barkra itd. (Schluep et al. 2009).

Sa organiziranim prikupljanjem EE otpada se počelo 2008. godine u Virovitici. Te godine je sakupljeno u prosjeku 1,29 kg po stanoviku, da bi od tada sakupljene količine počele izrazito rasti do 2010. g do brojke od 4,0 kg po stanovniku. U 2011. godini bilježi se lagani pad te je sakupljeno 3,95 kg po stanovniku (Spectra Media 2014).

Ako se zna da će u budućnosti biti sve teže i skuplje dolaziti do ruda i metala, može zaključiti da će otpad koji sadrži metale postat sve cjenjeniji.

## 2. EE OTPAD

EE otpad definiran je kao otpadna električna i elektronička oprema uključujući sklopove i sastavne dijelove, koji nastaju u gospodarstvu te EE otpad iz kućanstva - otpadna električna i elektronička oprema nastala u kućanstvima ili u proizvodnim i/ili uslužnim djelatnostima kada je po vrsti i količini slična EE otpadu iz kućanstva (NN 74/2007).

EE oprema i uređaji predstavljaju sve proizvode koji su za svoje pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima. Također kao i oprema za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje ili jakosti elektromagnetskog polja koja spada u kategorije iz dodatka 1 A toga pravilnika. Ta oprema namijenjena je korištenju pri naponu koji ne prelazi 1000 V za izmjeničnu i 1500 V za istosmjernu struju i ne uključuje ambalažu (Spectra Media 2015).

Vrste otpada, ovisno o svojstvima i mjestu nastanka, popis oznaka i obilježja opasnih svojstava otpada, djelatnosti obrađivanja, ponovne uporabe, recikliranja, odlaganja i kojega drugog oblika trajnog zbrinjavanja otpada te rokove provedbe, uredbom propisuje Vlada Republike Hrvatske.

Prema pravilniku o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 86/13) EE oprema se dijeli u 10 kategorija:

1. Mali kućanski uređaji,
2. Veliki kućanski uređaji,
3. Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije,
4. Oprema široke potrošnje za razonodu,
5. Električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata),
6. Medicinski uređaji (osim implantiranih uređaja),
7. Rasvjetna oprema,
8. Igračke, oprema za razonodu i športska oprema,
9. Instrumenti za nadzor i upravljanje,
10. Samoposlužni aparati.

Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) definira otpad kao svaku tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. Isti Zakon definira električni i elektronički otpad kao posebnu kategoriju otpada

ponajviše zbog toga što otpad sadrži opasne tvari i spada u kategoriju opasnog otpada. Zakon o otpadu (NN 74/2007) također propisuje Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom. Električki i elektronički otpad je bilo koja električna i elektronička oprema pokrivena definicijom otpada iz članka 2. ovoga Zakona te njihovi dijelovi.

Gospodarenje otpadom podrazumjeva određene postupke:

1. Izbjegavanje nastajanja otpada, ponovnu uporabu i smanjivanje opasnih svojstava,
2. Sakupljanje (odvojeno sakupljanje),
3. Transport,
4. Vrednovanje,
5. Obrada (mehanička, termička, biološka, kemijsko-fizikalna),
6. Recikliranje,
7. Odlaganje,
8. Monitoring.

Opasni otpad je otpad koji sadrži neka od svojstava: eksplozivnost, reaktivnost, zapaljivost, nadražljivost, štetnost, toksičnost, infektivnost, kancerogenost, mutagenost, teratogenost, ekotoksičnost, svojstvo oksidiranja, svojstvo nagrizanja, i svojstvo otpuštanja otrovnih plinova. Komunalni, industrijski, ambalažni, građevni, električki i elektronički otpad i otpadna vozila svrstavanju se u opasni otpad ako imaju neko od svojstava opasnog otpada (Zakon o održivom gospodarenu otpadom NN 94/13).

Osnovni ciljevi postupanja s otpadom (Veinović 2014) su:

1. Izbjegavanje i smanjivanje nastajanja otpada i smanjivanje opasnih svojstava otpada čiji nastanak se ne može spriječiti,
2. Sprječavanje nenadziranog postupanja s otpadom,
3. Iskorištavanje vrijednih svojstava otpada u materijalne i energetske svrhe i njegovo obrađivanje prije odlaganja,
4. Kontrolirano odlaganje otpada,
5. Saniranje otpadom onečišćenog tla,
6. Razvijanje i utvrđivanje programa sustavne edukacije o otpadu.

## 2.1. EE OTPAD DANAS

EE otpad (slika 2-1.) najbrže je rastući otpad u usporedbi s ostalim vrstama otpada. Problem je ne samo u njegovoj količini nego i u toksičnosti njegovih sastojaka kao što su olovo, berilij, živa i kadmij koji predstavljaju veliku opasnost za okoliš i zdravlje ljudi. Unatoč tome, industrija, vlade i potrošači do danas su poduzeli tek male korake u rješavanju tog gorućeg problema.



Slika 2-1. EE otpad (Spectra Media 2015)

Reciklaža EE otpada je na dosta niskoj razini. Postoji mnogo prerađivača električnog otpada koji iskreno pokušavaju prakticirati etičnost prema okolišu, no postoji i mnogo onih koji pod "recikliranjem" nude lažna rješenja.

Izvori iz industrijske prerade otpada govore da 50 % do 80 % EE otpada prikupljeno za recikliranje u SAD-u se ne reciklira, već se brodovima odvozi u zemlje kao što je Kina. Zbog takvog sistema i najjeftiniji prerađivači su primorani, zbog tržišne stvarnosti, da se priklone tom lošem sustavu. Pravo rješenje ovog problema leži u odgovornosti samog proizvođača (Važić 2004).

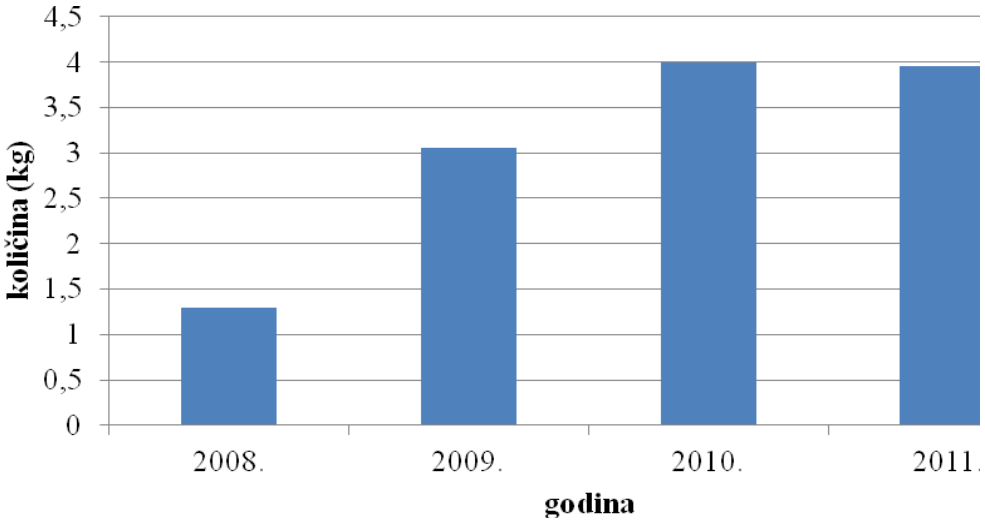
Stvari su se u današnje vrijeme pogoršale jer broj otpadnih računala i televizora konstantno raste. Budući da se CRT monitori zamjenjuju LCD monitorima dolazi do masovnog odbacivanja CRT monitora.

U 2010. godini u 27 zemalja članica Europske unije ukupna količina nastalog otpada u kućanstvima i količina otpada nastala kao posljedica ekonomskih aktivnosti

iznosi 2,502 milijardi tona, od toga je oko 4 % ili 101,3 milijun tona opasnoga otpada. Preračunato po glavi stanovnika proizvedeno je 5 tona otpada od toga 202 kg opasnog otpada u koji spada i EE otpad (EUROSTAT 2011).

U Hrvatskoj je na snazi Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) u kojem je EE otpad svrstan pod opasan otpad. Kako Hrvatska nema mogućnosti niti postrojenja za zbrinjavanje i obradu cijele količine elektroničkog otpada on se također izvozi u druge zemlje. Zakon obavezuje proizvođače ili uvoznike EE opreme da se sami pobrinu za njegovo skupljanje (Pavelić 2005). No, obzirom na efikasnost provođenja Zakona, sve je ostalo na savjesti pojedinih proizvođača i krajnjih korisnika da zbrinu svoj otpad. Na mnogo mjesta ne postoji organizirano prikupljanje ili su građani nedovoljno informirani o mogućnostima sigurnog odlaganja opasnog otpada, pa često ni njihova savjest nije dovoljna.

Na slici 2-2. prikazan je trend sakupljenih količina EE otpada po stanovniku u RH. Količine su to kojima ne možemo biti posebno zadovoljni iz dva razloga. Prvi je taj da je 2012. godine na snagu stupila nova direktiva Europske unije 2012/19/EU koja će značajno povećati količine koje se moraju prikupiti na godišnjoj razini. A drugi je taj što se prosjek od 3,95 kg po stanovniku odnosi na sav EE otpad tj. onaj prikupljen u kućanstvima i industriji. Međutim trenutna direktiva traži da se sakupi 4 kg po stanovniku samo iz kućanstva. Tada se količina sakupljenog otpada po stanovniku smanjuje na samo 2,19 kg, odnosno na prikupljeni otpad iz kućanstva (AZO 2012), što je gotovo dvostruko manje od zahtijevanog cilja.




Slika 2-2. Trend sakupljene mase EE otpada u RH po stanovniku (AZO 2012).

Sadašnja količina od 4 kilograma po stanovniku godišnje kao količinu koju bi svaka članica morala prikupiti, vrijedit će do kraja 2015. godine. Od 2016. godine količina koja će morati biti sakupljena je 45 % od prosjeka količine EE opreme stavljene na tržište u prethodne tri godine u toj zemlji članici. Količina će 2019. godine rasti na 65 % prosjeka količine EE opreme u prethodne tri godine (Europska komisija 2012).

## 2.2. EE OTPAD U BUDUĆNOSTI

Sa gledišta ekologije i očuvanja životnog prostora jedan od najvećih globalnih svjetskih problema je EE otpad. Specifičnost EE otpada je njegova složenost i brzina kojom elektronički proizvodi zastarijevaju i bivaju zamijenjeni novim. Osim toga elektronički otpad je vrijedan izvor sekundarnih sirovina i toksičan ukoliko je nepravilno obrađen. Brz napredak tehnologije, mali početni troškovi i čak planirano zastarijevanje proizvoda su rezultirali brzom rastu problema EE otpada u cijelom svijetu.

Napredak tehnologije je jedan od glavnih razloga nastajanja EE otpada i uvelike utječe na količine otpada. Vrijeme koje je potrebno za uvođenje inovacija i novih proizvoda sve je kraće i korisnici vlastite uređaje mijenjanju vrlo brzo. Životni vijek računalnog procesora kao glavnoga i vodećeg predstavnika integriranih krugova smanjilo se sa perioda od 4 godine do 6 godina koliko je iznosio 1997. godine na samo 2 godine u 2005. godini (Robinson 2009).

Za većinu uređaja životni vijek je manji od 10 godina što će uvelike doprinijeti količinama EE otpada u budućnosti (Robinson 2009).

EE otpad je dobar izvor metala. Naime svi takvi uređaji sadrže određenu količinu metala koja se recikliranjem može ponovno upotrijebiti.

Recikliranje EE otpada ima dvostruku važnost, osim smanjivanja onečišćenja, omogućava nam i štednju ograničenih prirodnih resursa koji se intenzivno koriste u raznim elektronskim aparatima (Pavelić 2005).

Opasne materije čine recikliranje EE opreme velikim izazovom. Kada je riječ o recikliranju EE otpada, sve postaje veoma kompliciranо. Postoji nekoliko vrsta toksičnih materijala koji se koriste prilikom proizvodnje računala. Tu su naravno i neki toksični kemijski elementi koji ostaju u samom računalu kao što su olovo, berilij, živa, kadmij itd, koji se teško mogu reciklirati. Bez pravilnog uklanjanja opasnih materija, kao što je PCB u kondenzatorima, oni ponovo mogu biti prisutni u obnovljivim metalima i otpadu nakon separacije (Važić 2004).

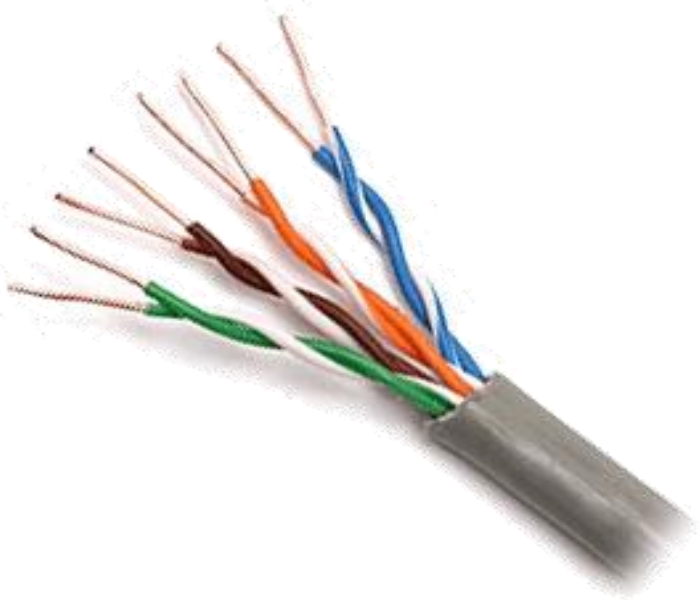
Odlaganje predstavlja najmanje poželjno rešenje i predstavlja posebnu opasnost, budući da nijedno tlo nije potpuno nepropusno. Može doći do curenja i istjecanja opasnih materija: žive, PCB iz kondenzatora i kadmija iz specifičnih plastika. Takvi materijali mogu iscuriti u tlo i podzemne vode što može predstavljati određeni problem ekosustavu. Značajne količine olova mogu stupiti u kontakt iz stakla CRT-a (katodne cijevi) sa raznim kiselinama koje se nalaze se na deponijama te dovesti do zagađenja podzemnih voda. Još

jedan problem predstavlja isparavanje žive iz EE otpada. Dodatno, nekontrolirani požari mogu povećati emisiju veoma toksičnih dioksina i furana uslijed prisustva širokog spektra opasnih materijala na deponijama (Veinović 2014).

Jedini način da se EE otpada zbrine adekvatno i smanji njegova količina je ponovna upotreba i recikliranje.

## 3.TELEFONSKI KABELI UTP I STP

UTP kabel (*engl. unshielded twisted pair*) predstavlja kategoriju upredenog kabla koji se sastoji od ukupno 4 odvojene parice (8 bakrenih žica) izoliranih plastičnom masom sa ili bez dodatka teflona, najčešće FEP (*eng. fluorinated ethylene propylene*) i prikazan je slikom 3-1. Ovakvi kablovi proizvode se, ovisno o gustoći upredanja i vrsti izolacije u raznim kategorijama kvalitete. Razlog upletenosti žica je smanjenje preslušavanja (*eng. crosstalk*) i vanjske interferencije. Preslušavanje je pojava kad promjenjiva struja u jednom vodiču uzrokuje indukciju napona u drugoj žici čime mijenja originalni signal u toj žici. Parica (*eng. twisted-pair*) je najzastupljeniji način kabliranja zbog niske cijene i jednostavnosti postavljanja konektora, te zbog činjenice da se upotrebljava i za telefonske instalacije. Danas se još uvijek dosta koriste UTP kablovi kategorije 5 kojima su izgrađene brojne LAN (lokalna računalna odnosno područna) mreže. Standard koji propisuje karakteristike ovih kablova je ANSI/TIA/EIA-568. Kablovi tipa STP odnosno ScTP kablovi se također proizvode u kategoriji 5 (Korać i Car 2014).



Slika 3-1. UTP kabel

Lokalna računalna mreža odnosno područna mreža LAN (*eng. Local area network*) namijenjena je povezivanju računalnih i drugih mrežnih uređaja na malim udaljenostima.

Te udaljenosti se odnose na kuće, zgrade, postrojenja, urede i sl. LAN mreže se spajaju pomoću posebnih specijalnih kablova a jedan od njih je i UTP kabel.

STP kabel se obično koristi u instalacijama koje prolaze uz druge instalacije da bi se smanjilo djelovanje elektromagnetske interferencije. Ovakvi kablovi po većini karakteristika slični su UTP kablovima, a razlika je samo u razini elektromagnetske zaštite koja osigurava i povećanje brzine prijenosa podataka. STP je zaštićeni podatkovni kabel s prepletenim parovima obično kategorije 5, 6 ili 7. Različite kategorije kabela razlikuju se po brzini prenošenja podataka i načinu upredenosti parica. Ovi telekomunikacijski kabeli primjenjuju se kao pretplatnički kabeli za povezivanje lokalnih telefonskih priključaka, u industrijskim postrojenjima te kod računalnih priključaka na internetsku mrežu.

Osnovna namjena STP-a je povezivanje mrežne kartice računala ili nekog drugog uređaja za mrežne uređaje i međusobno povezivanje samih mrežnih uređaja. Osnovna razlika između STP i UTP kabela je u konstrukciji kabela i popratnim komunikacijskim elementima što je kod oklopljenog kabela složenije te stoga i skuplje (Korać i Car 2014).

Svojstvo UTP kabela je mala cijena i jednostavna ugradnja, što značajno smanjuje cijenu rada i popratne opreme. UTP kabel sličan je STP kabelu ali bez vodljivog omotača, što ga čini neotpornim na šum i vanjske elektromagnetske utjecaje. Svaka parica samostalno je uvijena i potom su sve međusobno uvijene kako bi se povećala otpornost na vanjske utjecaje. Naravno, oko svih parica zajedno je zaštitni plastični omotač (Radić).

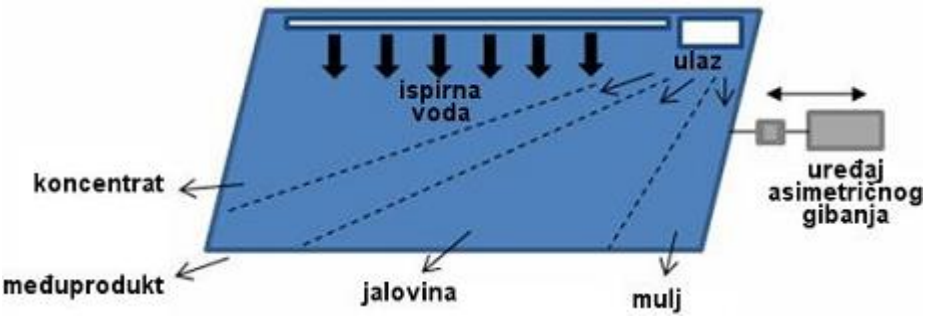
Za STP kabel ponekad se koristi naziv FTP *(engl. Foil screened Twisted Pair),* kada je u pitanju vodljiva folija kao oklop. Oko oklopa se nalazi plastični zaštitni omotač.

## 4. KONCENTRACIJSKI STOL

Gravitacijska koncentracija korisnih minerala vrši se uspješno za klase krupnoće od 50 mm (ili 40 mm) do 0,5 mm u suspenzijama, mješanim taložnicima i koritima (Lešić i Marković 1968), odnosno PT separatorima. Sitnije klase zahtjevaju druge strojeve za gravitacijsku koncentraciju ili druge postupke (često se koristi flotacija). U određenim slučajevima iz bilo kojih razloga koncentracijski stol (slika 4-1.) se ne može uvijek upotrijebiti, naročito kada se postiže gravitacijska koncentracija u tankom sloju vodene struje.

Ovaj postupak se vrši na koncentracijskim stolovima i spiralnim žlijebovima. Uspješnost gravitacijske koncentracije ovisi o koncentracijskom kriteriju i donjoj graničnoj krupnoći.

Zrna moraju biti dovoljno krupna i imati određenu težinu da bi se separirala na stolu. Sitna zrna korisnih minerala (mulj), ukoliko ostanu u suspenziji u vodi prije napuštanja površine na kojoj se trebaju stratificirati biti će izgubljena. Ona tada predstavljaju normalne gubitke uslijed nesavršenosti postupka koji je primijenjen (Lešić i Marković 1968).



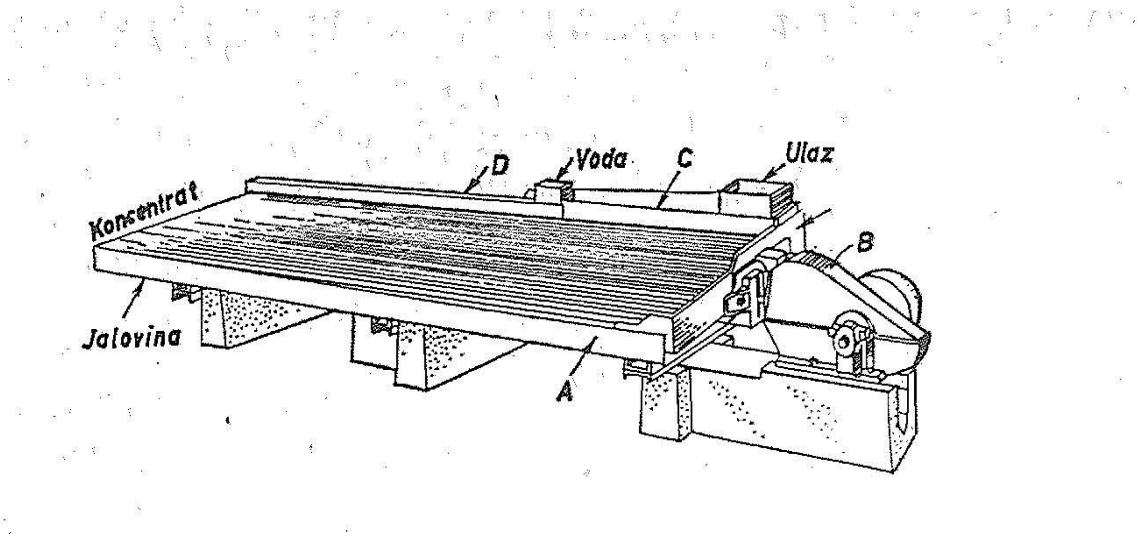

Slika 4-1. Razmještaj produkata na ploči koncentracijskog stola (Bedeković i Salopek 2010).

Koncentracijski stol je uređaj na kojem uz dotok vode dolazi do stratifikacije i raspodjele materijala na laki i teški proizvod. Stratifikacija se odvija na temelju koncentracije u tankom sloju vode, koncentracije u protočnom sloju vode, te dodatnih mehanizama koji podrazumijevaju užljebljenje i asimetrično gibanje ploče. Rezultat svega

prethodno navedenog je tipični razmještaj produkata na ploči koncentracijskog stola prikazan na slici 4-1, pri čemu je tok materijala manje-više dijagonalan (Bedeković i Salopek 2010).

Za ispitivanja je korišten koncentracijski stol Wilfley koji se sastoji od pravokutne ploče i uređaja za pogon. Ploča je užlijebljena, a njezin poprečni nagib može se mijenjati. U ovom ispitivanju korišteni su kutevi od 3, 6 i 9 stupnjeva. Uređaj za pogon omogućava asimetrično gibanje ploče tijekom kojeg dolazi do stratifikacije materijala na ploči.

Koncentracijski stol se sastoji od sljedećih djelova (slika 4-2.): ploča stola- A, pogonski motor (mehanizam) za asimetrično gibanje ploče stola-B, posuda za doziranje pulpe-C, žlijeb za raspodjelu vode- D, letvice na ploči, prostor za prikupljanje koncentrata, međuproizvoda te jalovine (Lešić i Marković 1968).




Slika 4-2. Dijelovi koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968).

Ploča stola (A) je paravokutnog ili romboedarskog oblika obično izrađena od plastike. Postavljena je u relativno horizontalnom položaju na klizače koji joj omogućavaju kretanje (lijevo-desno), paralelno svojoj dužnoj osi. Mehanizam- B dovodi do asimetričnog gibanja ploče stola tako da promjena smjera kretanja nastupa brže pri kretanju unaprijed nego pri kretanju unazad što dovodi do laganog kretanja materijala duž žljebova ploče. Bočni nagib stola može se podešavati.

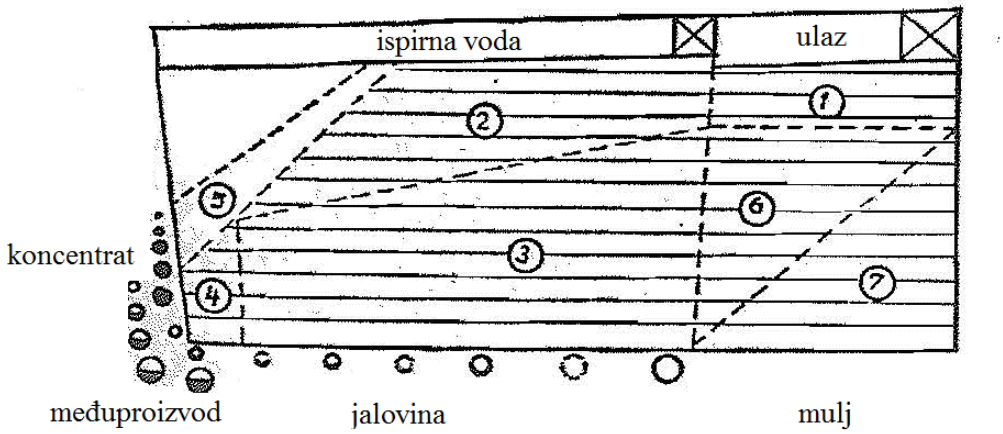
Površina ploče je obično prekrivena letvicama, postavljenim paralelno sa kretanjem ploče stola koje međusobno tvore uske žljebove. Dubina žljebova se smanjuje od strane

stola koja je bliža mehanizmu asimetričnog gibanja prema suprotnoj strani pražnjenja teških frakcija.

Površina ploče na strani pražnjenja teških zrna, bliža žlijebu D za raspodjelu vode obično nije užlijebljena. Za sakupljanje koncentrata, međuproizvoda i jalovine koriste se posude u koje materijal dolazi tako da ga usmjeravaju pokretne pregrade koje su postavljene duž prednje i bočne strane stola (lijeve) (Lešić i Marković 1968).

Na koncentracijskom stolu dolazi do izdvajanja rude prema gustoći.

Raspored odvajanja zrna teških materijala od lakih krupnih zrna i mulja prikazan je na (slici 4-3.).

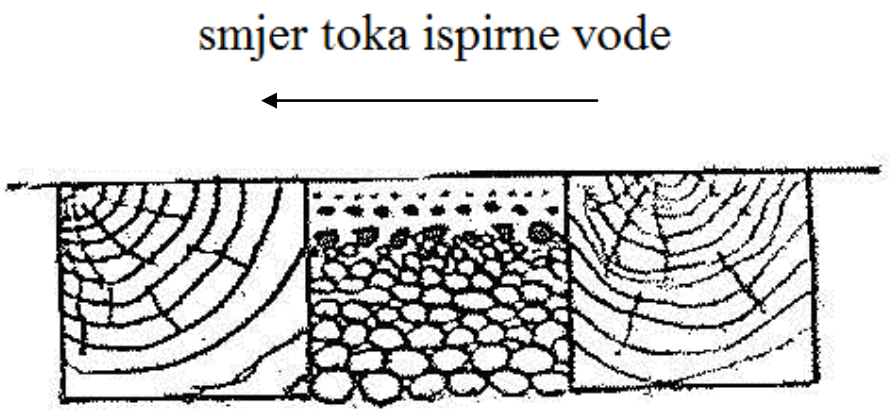



Slika 4-3. Tipičan razmještaj produkata na ploči koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968).

Pulpa se dozira u posudu (ulaz materijala) zajedno sa kontinuiranim dotokom vode. Na određenim dijelovima stola označenim brojevima od 1 do 7 mogu se zapaziti sljedeće pojave:

U području 1 u žljebovima se odvajaju krupna i teška zrna te se odvaja fini mulj koji nastavlja teći nizvodno (u smjeru pada vode) zajedno sa ispirnom vodom.

Krupnija zrna u žljebovima zauzimaju položaj kao na slici 4-4. koja prikazuje idealni način stratificiranja zrna materijala u žljebovima. U ovom području je najteže analizirati odvajanje krupnih i teških zrna od finog mulja u odnosu na preostala područja.




Slika 4-4. Idealna stratifikacija između letvica koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968).

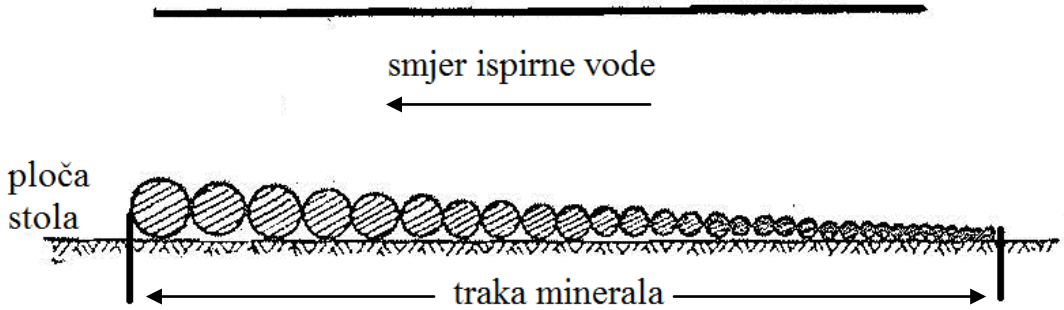
Prilikom pokretanja mehanizma stola i pritiska novopridošlog materijala, razvrstavanje zrna u gustoj posteljici vrši se prema gustoći.

U područje 2 ulaze zrna duž žljebova uslijed diferencijalnog kretanja ploče. Dubina žljebova se postupno smanjuje i zbog toga razdioba zrna ispirnom vodom postupno postaje mnogo jača i intezivnija. Gornji slojevi zrna (lakša zrna) kreću se niz ploču u žljebove nošena ispirnom vodom. To odvajanje se vrši po gustoći i krupnoći materijala.

U 3. područje prelaze gornji slojevi zrna iz područja 2. Tada dolazi do ponovne stratifikacije i prelaza lakih zrna iz gornjeg sloja u sljedeći niži sloj i plići žljeb te se konačno prazne na prednjem dijelu stola. Ovo kretanje zrna niz ploču i u pravcu kretanja ploče stola, različito je za razne krupnoće i položaje posteljica.

U 4. područje se sakupljaju najteža zrna iz područja 4 i 5. Tu se sakupljaju najkrupnija zrna teških minerala, smjesa sraslih zrna različite krupnoće i najsitnija zrna lakih minerala .

U 5. područje dolaze sitna teška, slobodna, i sitna teška srasla zrna. U ovom području koje nema žljebova vrši se koncentracija u tankom sloju vodene struje. Laka zrna (jalovina) i srasla zrna (međuproizvod) ispire voda u 2. i 4. područje. Kod ovog područja dolazi do izrazitog trenja zrna o površinu ploče stola i sporog kretanja usljed male brzine kretanja sloja vode u neposrednom dodiru sa pločom stola. Brzina toka gornjeg sloja vode je veća te zbog toga dolazi do kotrljanja krupnijih zrna nizvodno sa ispirnom vodom (slika 4-5).




Slika 4-5. Poprečni presjek mineralnih zrna na glatkoj ploči koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968).

Područje 6 je specifično po tome što se kod njega odvija sekundarno odvajanje finog mulja koji lebdi u tankom sloju vodene struje i prelazi u područje 7. U ovom području krupnija zrna klize duž žljebova i pregrupirajući se po krupnoći i odlaze u područje 3.

U 7. području se vrši završno izdvajanje lebdećih zrna mulja, dok krupnija zrna, laka i srednje teška odlaze duž žljebova u područje 6 i 3. Fini mulj u većini slučajeva sadrži zrnca gline i veoma lakih jalovina (metala) minerala te sitne tragove teških minerala (Lešić i Marković 1968).

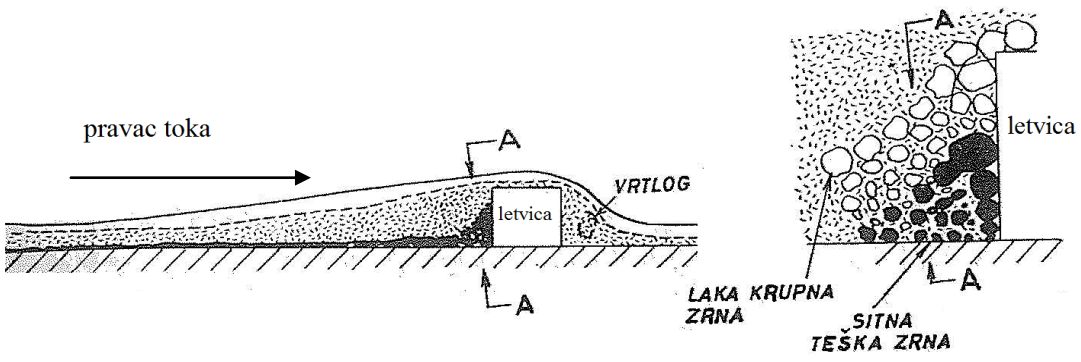
## 5. STRATIFIKACIJA NA KONCENTRACIJSKOM STOLU

Analizu kretanja zrna u tankom sloju vode moguće je izvršiti uzimajući u obzir razne čimbenike kao što su: različita brzina strujanja vode u tankom sloju na različitim dubinama, brzina kretanja zrna minerala uslijed sile teže, trenje između zrna minerala i površine ploče stola, kretanje zrna klizanjem i kotrljanjem pri određenom nagibu stola i pri određenoj dubini stola i dr.

Dubina sloja tečenja vode ima veliki utjecaj na raspodjelu brzina unutar toga sloja, odnosno na određenim razmacima od površine ploče preko koje protječe ispirna voda. Brzina vode maksimalna je na površini sloja, a na dnu je jednaka nuli.

Na zrno koje se nalazi na dnu sloja djeluju sila teže, trenje između zrna, trenje između čvrste površine ploče stola i sila potiska tečenja vode.

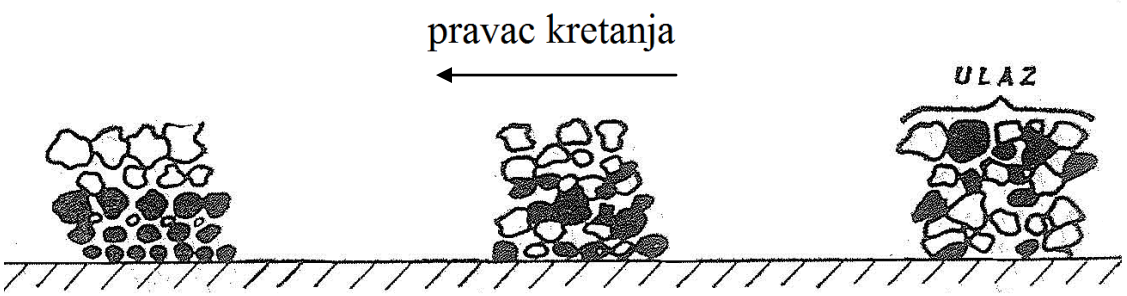
Uloga letvica na ploči stola je višestruka. Primjena letvica u velikoj mjeri doprinosi poboljšanju odvajanja minerala zrna od jalovine po gustoći i omogućuje odvajanje više slojeva zrna povećavajući kapacitet prerade ploče po jedinici površine. Upotrebom letvica omogućuje se stratifikacija po gustoći zrna. Slika 5-1. prikazuje položaj slojeva zrna različite gustoće. Na slici se može uočiti brže kretanje krupnih lakih zrna u smjeru strujanja vode i zadržavanje sloja teških zrna uz letvicu. Letvice se postavljaju okomito na smjer strujanja vode i njihova visina se postupno smanjuje prema strani pražnjenja ploče (Lešić i Marković 1968).




Slika 5-1. Uloga letvice na kretanje zrna po ploči stola (Lešić i Marković 1968).

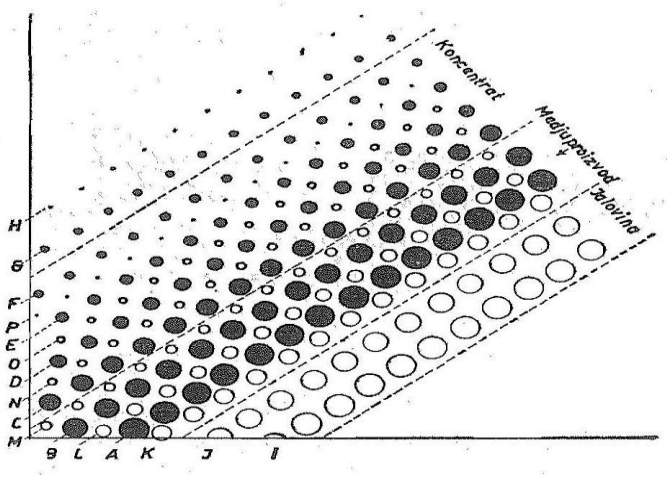
Budući da zrna veće gustoće zauzimaju položaj neposredno iznad ploče, to se kretanje teških zrna usporava u smjeru strujanja ispirne vode. Uzdužno kretanje ploče

omogućuje svojim asimetričnim gibanjem kretanje materijala uzduž ploče stola. Pri kretanju po ploči stola materijal se rasprostire duž žlijebova. Najsitnija i najteža zrna zauzimaju položaj na dnu, dok se u gornjem sloju nalaze krupna laka zrna. Faze i načini stratifikacije prikazani su na slici 5-2.




Slika 5-2. Stratifikacija zrna na ploči stola (Lešić i Marković 1968).

Rezultat kombiniranog djelovanja ispirne vode, asimetričnog gibanja ploče stola i letvica djeluje tako da se zrna veće gustoće kreću po ploči stola više u longitudinalnom smjeru, dok se laka zrna više kreću u (transverzalnom) pravcu strujanja ispirne vode. Sitna zrna također imaju veću tendenciju kretanja u pravcu pružanja letvica od krupnijih. Na strani pražnjenja sitna laka zrna zauzimaju isti položaj kao i krupna teška zrna ukoliko prethodna stratifikacija nije bila dovoljno efikasna. Raslojavanje prema gustoći i krupnoći zrna na strani pražnjenja stola prikazano je na slici 5-3. (Lešić i Marković 1968).




Slika 5-3. Idealan raspored zrna na ploči koncentracijskog stola (Lešić i Marković 1968).

Što se tiče krupnoće zrna na ploči koncentracijskog stola, ona ne smiju prelaziti debljinu sloja vode kod glatkih stolova, odnosno, maksimalna krupnoća zrna mora biti jednaka visini letvica kod užlijebljenih stolova. Drugi granični uvjet je da maksimalna krupnoća zrna ne smije prelaziti jednu trećinu širine žljeba kako bi se stratifikacija mogla nesmetano odvijati.

Jedan dio zrna mora biti dovoljno krupan i težak da bi se mogli istaložiti na ploči stola, prije nego voda koja nosi suspenziju napusti stol. Ako sav materijal odnese ispirna voda onda se ne može koristiti ovaj postupak odvajanja.

Stolovi bez žljebova (bez letvica) mogu koncentrirati korisne minerale veličine zrna približno od 10 mikrona do 100 mikrona (Lešić i Marković 1968). Stolovi koji imaju žljebove mogu prerađivati krupnija zrna minerala i npr. ugljen.

Postoje razni tipovi koncentracijskih stolova. Stol *Wilfley* je najrasprostranjeniji u oplemenjivanju mineralnih sirovina. Ploča stola je pravokutnog oblika, dužine oko 4,8 m, širine 1,2 m. Ploča je prekrivena linoleumom a užljebljenja se postižu preko drvenih letvica visine 12.5 mm i širine 6 mm (Lešić i Marković 1968). Krajevi letvica završavaju na različitoj dužini te zajednički čine dijagonalni pravac tako da jedna trećina površine stola na strani pražnjenja koncentrata ostaje bez žlijebova. Pored ovog postoje i drugi načini užljebljenja.

Razne vrste koncentracijskih stolova razlikuju se od Wilfleyovog po načinu užljebljenja, dimenzijama i mehanizmu koji proizvodi asimetrično gibanje ploče stola. Ploča stola može biti prekrivena linolenumom, plastičnim materijalom, gumom, drvom i sl. Užljebljenja mogu biti u pravcu tj. paralelna sa prednjom stranom stola, zakrivljena, pod kutom, dublja ili plića, međutim osnovni princip koncentracije uvijek ostaje isti neovisno o tipu užlijebljenja.

Stol *Butchart* odlikuje se posebnim zonama letvica koje su dijagonalno postavljene u odnosu na dužinu ploče.

Stol *Card* izrađen je sa udubljenjima trokutastog oblika na ploči koja zamjenjuje letvice.

Stol *Garfield* sličan je stolu Wilfley, razlika je samo što kod *Garfielda* cijela ploča prekrivena letvicama.

Stol *Plat-o* je posebno interesantan zbog toga što njegova ploča ima nekoliko platoa različitih nivoa. Nivo svakog platoa je za 1,5 mm do 10 mm veći od prethodnog (Lešić i Marković, 1968). Letvice su različite na svakom nivou, odnosno zoni odvajanja. Dodatne letvice u u određenim zonama omogućuju podizanje nivoa vode u tim zonama.

Radne karakteristike koncentracijskog stola se odnose na tip stola te puno ne odstupaju u odnosu na dane vrijednosti. Broj oscilacija stola je 150/min do 300/min, duljina hoda je 12 mm do 40 mm. Promjene u krupnoći materijala zahtijevaju reguliranje brzine i amplitude kretanja stola te količine vode. Na stolu se može vršiti gruba koncentracija i čišćenje, a pored koncentrata i jalovine dobiva se i međuprodukt. Kapacitet stola ovisi o vrsti sirovine i koncentracijskom kriteriju te obično iznosi od 5 t/24h do 200 t/24h**.** Manja vrijednost se odnosi na koncentracije veoma sitnih klasa zrna (oko 0,3 mm) i čišćenje. Veća vrijednost se odnosi na krupnije klase zrna (oko 3mm) i za grubu koncentraciju. U čišćenju ugljena gornje granične krupnoće oko 10 mm na stolu dimenzija 2,5 m × 5 m može se preraditi do 350 t /24 h. Proizvodni troškovi koncentracije obuhvaćaju utrošak energije (0,5 do 0,8 kW po stolu) radnu snagu i mehaničke popravke (Lešić i Marković 1968).

## 6. SPIRALNI ŽLIJEB TIPA HUMPHREYS

To je žlijeb koji se upotrebljava za koncentraciju sitnih klasa minerala u tankom sloju vodene struje. Uređaj se sastoji od korita od lijevanog željeza, plastike ili drugog materijala koje je spiralno uvijeno oko vertikalne osi, obično sa pet do šest zavoja (ovisno o prerađivanoj sirovini, pet za rude metala a šest za ugljen), bunkera za doziranje materijala, unutarnjeg žlijeba za ispirnu vodu, otvora za izlaz koncentrata i otvora za prolaz ispirne vode, te rezervoara sa miješalicom za pripremu suspenzije i pumpom za dovod suspenzije u žlijeb. Postoji više modifikacija ovoga uređaja koji su prilagođeni načinu i vrsti materijala za koji se koriste pa tako i u našem slučaju ima određenih izmjena. Za ispitivanje je korišten spiralni žlijeb Humphreys (slika 6-1.) koji se sastoji od 6 zavoja spojenih u žljeb širine 17 cm (tri segmenta čine jedan okret), 18 izlaza za tešku frakciju, bunkera za doziranje suspenzije volumena 7 $dm^3$. Duljina spiralnog žlijeba iznosi 9 m. Žlijeb je izrađen od tvrde plastike, a obložen je gumom. Promjer spirale iznosi 0,55 m, a visina 2,8 m (Bedeković i Salopek 2010).



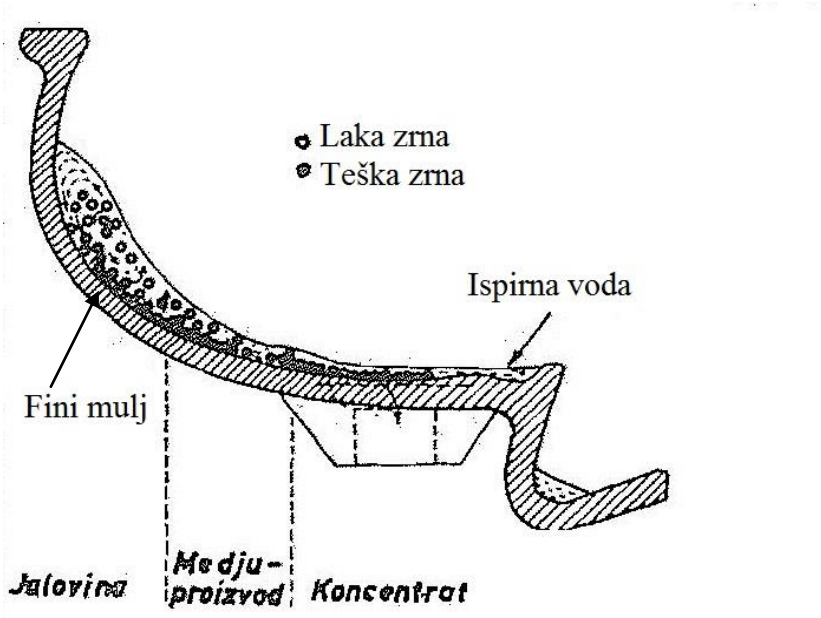

Slika 6-1. Spirala Humphreys RGN fakulteta u Zagrebu (1-bunker za doziranje materijala, 2-žlijeb) (Bedeković i Salopek 2010).

Sirovina u formi razrijeđene pulpe dovodi se u bunker za doziranje materijala. Teška zrna izdvajaju se kroz otvore za izlaz koncentrata na dnu korita a jalovina na donjem kraju spirale.

Sile koje djeluju na zrna minerala u tankom sloju vode koja teče niz spiralno korito su: sila teže, hidrodinamička sila vodene struje, trenje vode i zrna o površinu korita i centrifugalna sila. Centrifugalna sila djeluje tako da zrno uslijed inercije usmjerava prema vanjskom rubu spiralnog žlijeba. Najteža zrna se izdvajaju na dno korita gdje je brzina strujanja vode najmanja a trenje najveće te napuštaju žlijeb kroz otvore za izlaz teške frakcije. Sekundarni tok vode ili ispirna voda prolazi kroz „pojas“ materijala formiran duž cijelog žlijeba i na taj način omogućava lakšim zrnima eventualno „zarobljenim“ od strane teških zrna da se oslobode i da uslijed centrifugalne sile budu usmjerena prema vanjskom rubu spirale zajedno s ostalim lakim zrnima

Lakša zrna su odbačena prema vanjskom rubu žlijeba uslijed centrifugalne sile i hidrodinamičke sile vode dok se teža zbog veće mase talože znatno brže i to bliže unutarnjem rubu žlijeba. Do stratifikacije materijala u vertikalnoj ravnini doalzi na temelju ometanog taloženja, međuprostornog (pornog) strujanja i Bagnoldove sile. Sadržaj čvrstog u pulpi obično se kreće u rasponu od 20 % do 25 %.

Zrna finog mulja imaju toliko malu masu da se ne uspijevaju istaložiti i teku do kraja žlijeba gdje napuštaju žlijeb zajedno sa jalovinom (slika 6-2).




Slika 6-2. Raspored produkata na spirali (Lešić i Marković 1968).

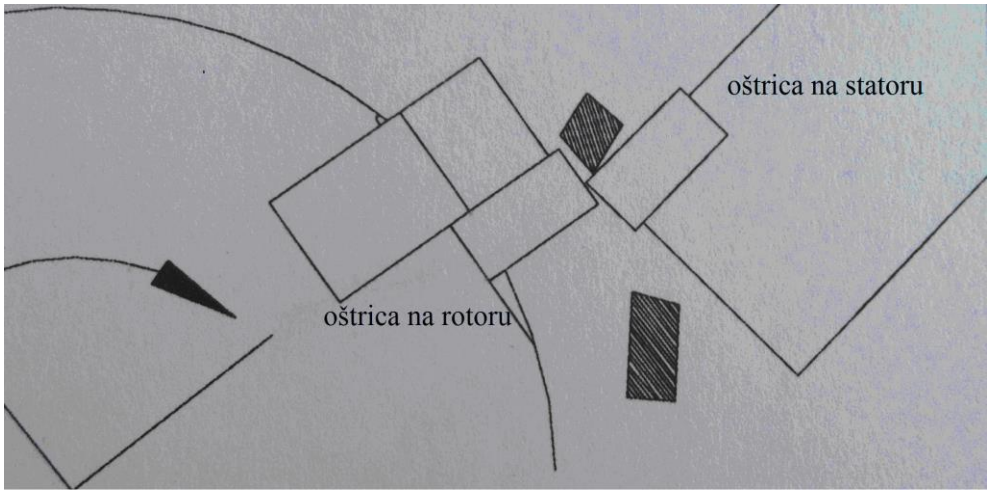
## 7. GRANULATOR UG 600

Uređaj koji je korišten za sitnjenje telefonskih kabela je Granulator UG 600 u tvrtki Specrta Media. Telefonski kablovi koji su usitnjeni bili su kablovi tipa UTP. U tablici 7-1. prikazane su tehničke karakteristike za korišteni granulator.

Tablica 7-1. Tehničke karakteristike granulatora UG 600

| | |
|---|---|
| TEŽINA | 6500 kg |
| DIMENZIJE SITA | 5 mm |
| BUKA | 90 dB |
| NAZIVNI NAPON | 400 V |
| SNAGA ELEKTROMOTORA | 65 kW |
| JAKOST STRUJE | 115 A |

Granulator UG se koristi uglavnom za sitnjenje proizvoda koji sadrže teške metale. Opremljen je rotorom izrađenim od čelika. Ovaj uređaj karakterizira velika dugotrajnost i pouzdanost iako se koristi za sitnjenje iznimno čvrstih materijala. Omogućava visoku kvalitetu rezanja materijala zbog svoje fleksibilnosti i mogućnosti podešavanja razmaka između rotora i starora (slika 7-1.) (Mewa 2014).

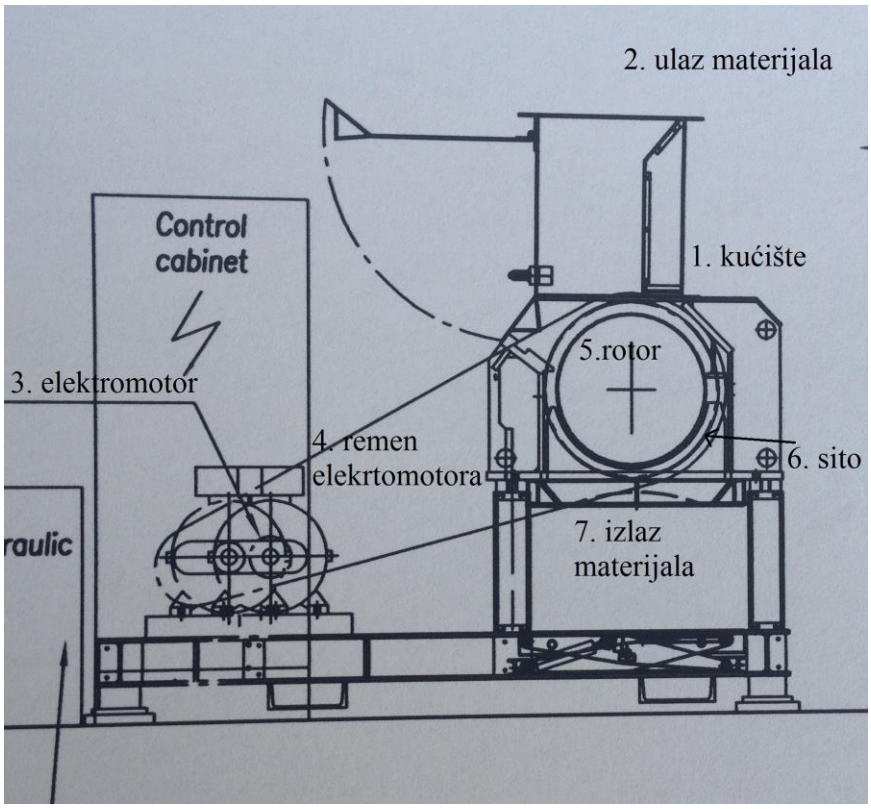



Slika 7-1. Način sitnjenja telefonskog kabela tipa UTP (Spectra Media 2015).

Do sitnjenja dolazi između noževa montiranih na rotor koji rotira u horizontalnoj ravnini i oštrica montiranih na statoru. Razmak između oštrice na rotoru i oštrice na statoru ne smije biti veći od 0,90 mm. (Spectra media 2015)

Granulator se sastoji od sedam osnovnih dijelova (slika 7-2.): kućišta, prostora za ulaza materijala, elektromotora, remena elektromotora, rotora, sita te prostora za izlaz materijala.

Materijal koji ulazi u granulator pada na rotor te dolazi do sitnjenja između noževa rotora i oštrica statora. Materijal se u prostoru sitnjenja zadržava toliko dugo dok se ne usitni na veličinu manju od otvora sita, nakon čega prolazi kroz sito i napušta granulator. Veličina proizvoda sitnjenja regulira se putem veličine otvora rešetke – za sitniji proizvod koristi se rešetka s manjim otvorima, a za krupniji proizvod rešetka s većim otvorima.




Slika 7-2. Osnovni djelovi granulatora UG 600 (Spectra Media 2015).

Sita koja su korištena su sito s otvorima veličine od 5 mm a može se koristiti i druga veća sita. Sito od 5 mm je najmanja veličina sita koja se koristi zbog čestog začepljenja sita i mogućih oštećenja sita. Noževi i oštrice se mogu skidati i dodavati, tako da se prema potrebi može mijenjati njihov broj pri sitnjenju ovisno o materijalu koji je potrebno usitniti.

## 8. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Laboratorijska ispitivanja su obavljena u Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Korištene postupke i radnje u svrhu ispitivanja se može podijeliti u nekoliko kategorija:

1. Sitnjenje je postupak pri kojemu se postiže određeni granulometrijski sastav, oslobađanje korisne od nekorisne komponente, te oblik zrna. Prvi stupanj u postupku sitnjenja je drobljenje čime se postiže 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. Sitnjenje je izvršeno u firmi Specrta Media na granulatoru UG 600.

2. Koncentracija mineralnih sirovina je prerada čvrstih mineralnih sirovina fizikalnim, fizikalno-kemijskim ili kemijskim postupcima radi odvajanja korisnih od nekorisnih sastojaka s ciljem dobivanja prodajnih produkata. Naime, korisne komponente u Zemljinoj kori ali i otpadu gotovo nikad se ne nalaze čiste, bez nekorisnih ili štetnih primjesa, tj. gotovo uvijek osim korisne sadrže i nekorisnu komponentu. Odvajanje se može postići jer se kod korisnih i nekorisnih komponenti razlikuju kemijske i/ili fizikalne značajke od kojih se sirovina sastoji.

3.Karakterizacijom uzoraka određene su karakteristike ulaznoga uzorka, granulometrijski sastav nakon sitnjenja, sadržaj metala i nemetala po klasama nakon klasiranja, te sadržaj metala i nemetala nakon separiranja pojedinih klasa određenim postupcima.

4. Izračun tehnoloških pokazatelja pomoću kojih se prati uspješnost separacije.

## 8.1. PROCEDURA ISPITIVANJA

Nakon što je dobiven ulazni uzorak iz firme Spectra Media isti je izvagan te je sijanjem utvrđeno koje veličine tj. klase prevladavaju u njemu. Uzorak je težio 6,8 kg a klasa materijala je bila veličine 5/1 mm. Utvrđeno je da se radi o telefonskom kabelu koji se koristi za spajanje na telefonsku mrežu tipa UTP i STP. Nakon toga je provedeno grubo razdvajanje te čišćenje. Ručno su razdvojeni metali od nemetala kako bi se odredio udio metala u uzorku a uzorci su skraćivani na Jonesovom djelitelju do približne mase od 750 g koja je potrebna za koncentracijski stol. Na koncentracijskom stolu su provedena ispitivanja sa tri uzorka od 250 g pri nagibima od 3, 6 i 9 stupnjeva. Na Humphreysovoj spirali početna masa uzorka je iznosila 4 kg. Uslijedila su ispitivanja separiranja zrna telefonskog kabela na koncentracijskom stolu i Humphreysovoj spirali.

## 8.2. ISPITIVANJE NA KONCENTRACIJSKOM STOLU

Separaciju na koncentracijskom stolu je izvođena na klasama zrna 5/1 mm koje su preporučene za separaciju sa nagibom koncentracijskog stola od 3, 6 i 9 stupnjeva. Prije početka ispitivanja odvagani su uzorci od 250 grama za svaki test. Ulazni uzorak je sadržavao 67,67 % bakra i 32,33 % PVC-a, ljepila i folije. Nakon provedenog probnog ispitivanja, vizualnim pregledom utvrđeno je da se jalovina sastoji od dosta male količine bakra i velike količine PVC-a a koncentrat se sastojao od većinske količine bakra koji je bio izmiješan sa manjom količinom PVC-a. Na osnovu tih pokazatelja koncentrat je podvrgnut kroz daljnje postupke čišćenja. Na probnim ispitivanja uzorcima je dodan deterdžent da dodatno pospješi razdvajanje komponenti. Uočeno je i da čestice ostaju plutati na površini vode iako im je gustoća veća od gustoće vode te da nakon par minuta u vodi kada se namoče potonu. Da bi se eliminirao ovaj hidrofobni efekt dodan je deterdžent u vodu te ostavljen u vodi nekoliko minuta dok sve čestice ne bi potonule. Na kraju izvršena su ispitivanja tako da je protok ispirne vode podešen na 4 litre u minuti, a protok dozirne vode 0,6 litara u minuti.

## 8.3. ISPITIVANJE NA SPIRALNOM ŽLIJEBU TIPA HUMPHREYS

Prije početka ispitivanja na spirali otvoreni su svi ispusti za teško frakciju. Ispusti su otvoreni tako da su dignuti svi čepovi iz žlijeba kako bi se teška frakcija mogla nesmetano sakupljati. U probnoj separaciji je utvrđeno da se čepovi moraju izvaditi jer se materijal sakupljao na čepovima i tako je dolazilo do začepljenja. Također je isprana spirala a posebno bunker budući da je iz prijašnjih procesa ostala mala količina glinovitih materijala. Nakon ispiranja cijevi za sakupljanje koncentrata, bunkera za pulpu i vađenja čepova izvedeni su pojedini testovi. Nakon probnog ispitivanja vizualnim pregledom je utvrđeno da će se jalovina koristiti za daljnje postupke čišćenja jer je sadržavala veliki postotak bakra i PVC-a. Prije samoga ispitivanja u uzorak je dodan deterdžent kako bi se smanjila površinska napetost vode i na taj način pospješila separacija. Ulazni uzorak je imao masu od 4000 g i sadržavao 67,67 % bakra.

## 9. REZULTATI

Nakon završetka ispitivanja i vaganja koncentrata i jalovine, ručnim odvajanjem je izdvojen metal tj. bakar od nemetala kako bi se odredila masa bakra u koncentratu. Tehnološki pokazatelji separacije izračunati su prema izrazima (5-1), (5-2) i (5-3) (Mostečak 2011).

Svaki postupak na koncentracijskom stolu je davao tri produkta a to su koncentrat (*K*) jalovina (*J*) i međuprodukt koji je se ponovo prerađivao. U spirali tipa Humphreys dobivali smo dva produkta koncentrat (*K*) i jalovinu (*J*) gdje je se jalovina daljnje prerađivala.

### Tehnološki pokazatelji separacije

Iskorištenje mase koncentrata $I_m$ računa se prema izrazu 5-1:

$$I_m = 100 \cdot \frac{K}{U}(\%) \quad , \tag{5-1}$$

gdje su:

$K$ - masa koncentrata (kg),

$U$ - masa ulaznog materijala (kg).

Kvalitetu koncentrata definira udio korisne komponente u koncentratu kao krajnjem produktu, a izračunava se prema izrazu:

$$K_k = 100 \cdot \frac{m_k}{K}(\%) \quad , \tag{5-2}$$

gdje su:

$m_k$ - masa korisne komponente u koncentratu (kg),

$K$ - masa koncentrata (kg).

Ako sa *k* označimo udio korisne komponente u koncentratu, a sa *u* udio u ulazu u postotku, dobije se izraz (5-3) za iskorištenje korisne komponente a računa kao odnos mase korisne komponente u koncentratu i mase korisne komponente u ulazu:

$$I_k = 100 \cdot \frac{K \cdot k}{U \cdot u}(\%) \quad , \tag{5-3}$$

gdje su:

*K* - masa koncentrata (kg),

*U* - masa ulaznog materijala (kg),

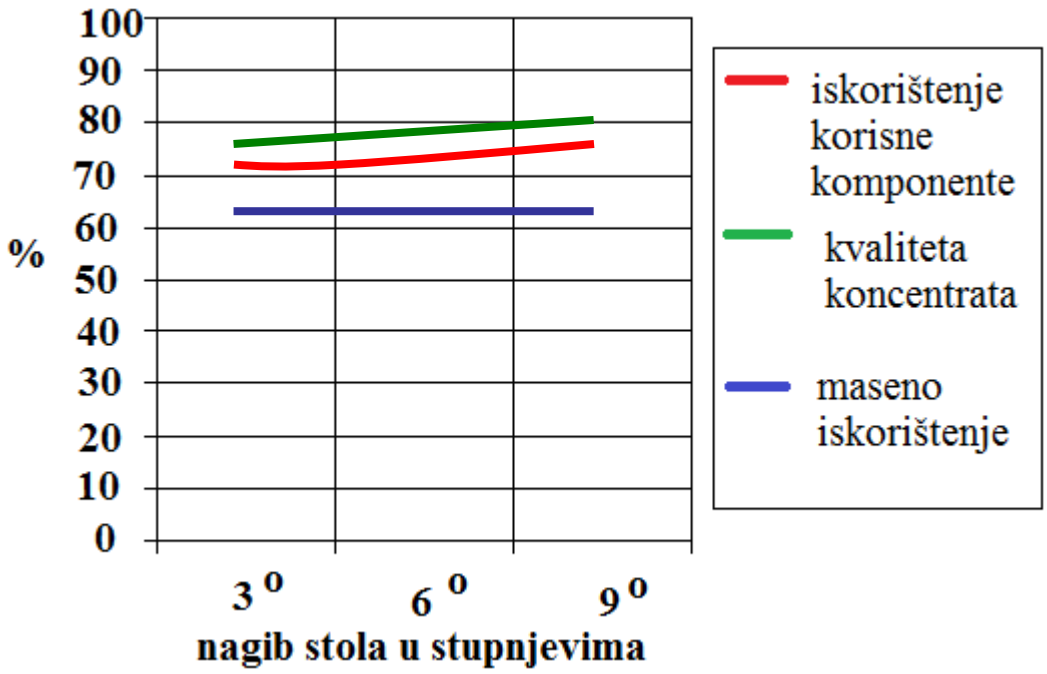
*k* - udio korisne komponente u koncentratu (%),

*u* - udio korisne komponente u ulazu (%).

## 9.1 KONCENTRACIJSKI STOL

Rezultati ispitivanja na koncentracijskom stolu prikazani su na slikama 9-1, 9-2 i 9-3 kroz sva tri tehnološka pokazatelja separacije.

Rezultati testova su prikazani u tablicama 9-1, 9-3 i 9-5. Izračunate vrijednosti testova provedenih na koncentracijskom stolu su prikazani u tablicama 9-2, 9-4 i 9-6. Nakon pripremljena tri uzoraka od 250 g, izvedeni su testovi pri nagibima ploče stola od 3, 6 i 9 stupnjeva, a za daljnje postupke obrade korišten je koncentrat. Klasa uzorka koji je korišten je 5/1 mm.




Slika 9-1. Rezultati grube separacije u zavisnosti o nagibu stola.

Na slici 9-1. je vidljivo da porastom nagiba stola raste iskorištenje korisne komponente i sadržaj korisne komponente u koncentratu.

Iskorištenje korisne komponente raste tako da pri kutu od 3 stupnja iznosi 72,35 %, kutu 6 stupnjeva 73,95 % te pri kutu od 9 stupnjeva iznosi 75,95 %.

Kvaliteta koncentrata raste pri istim nagibima od 76,50%, preko 78,20 % da bi pri kutu od 9 stupnjeva kvaliteta iznosila 75, 96 %.

Iskorištenje mase koncentrata je 64,00 % za sva tri kuta. Razlog tome je dobivena ista masa koncentrata (160 g) za sva tri uzorka od 250 g.

Masa jalovine za kutove 3, 6 i 9 stupnjeva iznosi 80 g. Budući da masa jalovine treba iznositi 90 g, pojavljuju se takozvani gubitci nastali uslijed neusavršenosti izvođenja određenog postupka te iznose 10 g za sva tri spomenuta kuta.

Tablica 9-1. Rezultati grube separacije.

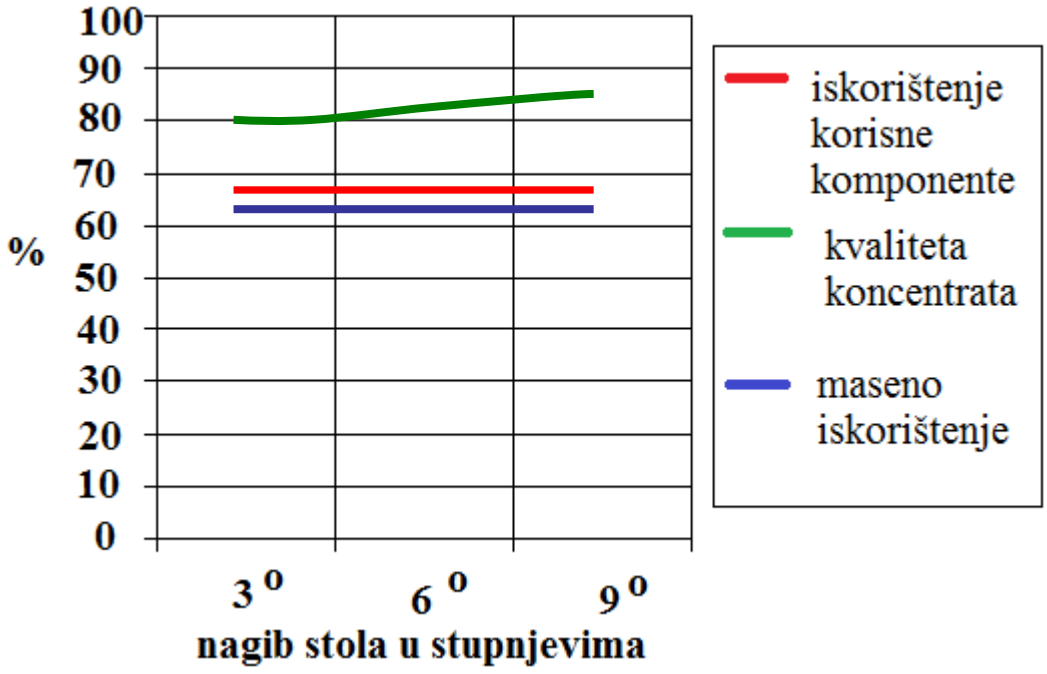
| Klasa | Nagib ploče stola | Vrijeme stratifik-acije | ULAZ | | | | KONCENTRAT | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Udio baka | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa ulaza | Udio bakra | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa konc. |
| mm | o | *t* s | *u* % | g | g | *U* g | *k* g | g | g | *K* g |
| 5/1 | 3 | 300 | 67,67 | 80,83 | 169,17 | 250,00 | 76,50 | 37,60 | 122,40 | 160,00 |
| 5/1 | 6 | 300 | 67,67 | 80,83 | 169,17 | 250,00 | 78,20 | 34,87 | 125,13 | 160,00 |
| 5/1 | 9 | 300 | 67,67 | 80,83 | 169,17 | 250,00 | 80,04 | 31,94 | 128,06 | 160,00 |

Tablica 9-2. Prikaz tehnoloških pokazatelja grube separacije.

| Klasa | Nagib ploče stola | Vrijeme stratifik-acije | Iskorištenje mase koncentrata | Sadržaj korisne komponente u koncentratu | Iskorištenje korisne komponente |
|---|---|---|---|---|---|
| mm | o | $t$ s | $I_m$ % | $K_k$ % | $I_k$ % |
| 5/1 | 3 | 300 | 64,00 | 76,50 | 72,35 |
| 5/1 | 6 | 300 | 64,00 | 78,20 | 73,95 |
| 5/1 | 9 | 300 | 64,00 | 80,04 | 75,96 |

Slika 9-2. prikazuje rezultate prvog čišćenja nakon grube separacije na koncentracijskom stolu u zavisnosti o nagibu stola. U ovom stupnju nagib je također 3, 6 i 9 stupnjeva.

Ulaz materijala u drugi stupanj je koncentrat iz grubog stupnja, tj. 160 g za svaki pojedini nagib stola.




Slika 9-2. Rezultati drugog stupnja stratifikacije u zavisnosti o nagibu stola.

Iskorištenje mase koncentrata prvog čišćenja iznosi približno 63 % za sva tri kuta nagiba stola. Razlog konstante leži u istoj masi ulaza za sva 3 kuta i približno istoj dobivenoj masi materijala u koncentratu.

Sadržaj korisne komponente u koncentratu raste tako da za kut od 3 stupnja iznosi 80,00 %, za kut od 6 stupnjeva je 82,60 % i 85,50 % za kut od 9 stupnjeva.

Iskorištenje korisne komponente je najveće na kutu od 9 stupnjeva i iznosi 66,76 %. Na kutovima od 3 i 6 stupnjeva iskorištenje korisne komponente iznosi 66,01 %, odnosno 66,60 %.

Udio bakra drugom stupnju stratifikacije najveći je na kutu od 9 stupnjeva i sadrži 85,50 % .

U ovom stupnju obrade masa jalovine za kutove 3, 6 i 9 stupnjeva je 45 g. Ovdje se također pojavljuju gubitci od 15 g za sva tri kuta.

Tablica 9-3. prikazuje podatke mjerenja za drugi stupanj stratifikacije u ovisnosti o nagibu stola.

Tablica 9-3. Rezultati prvog čišćenja nakon grube separacije.

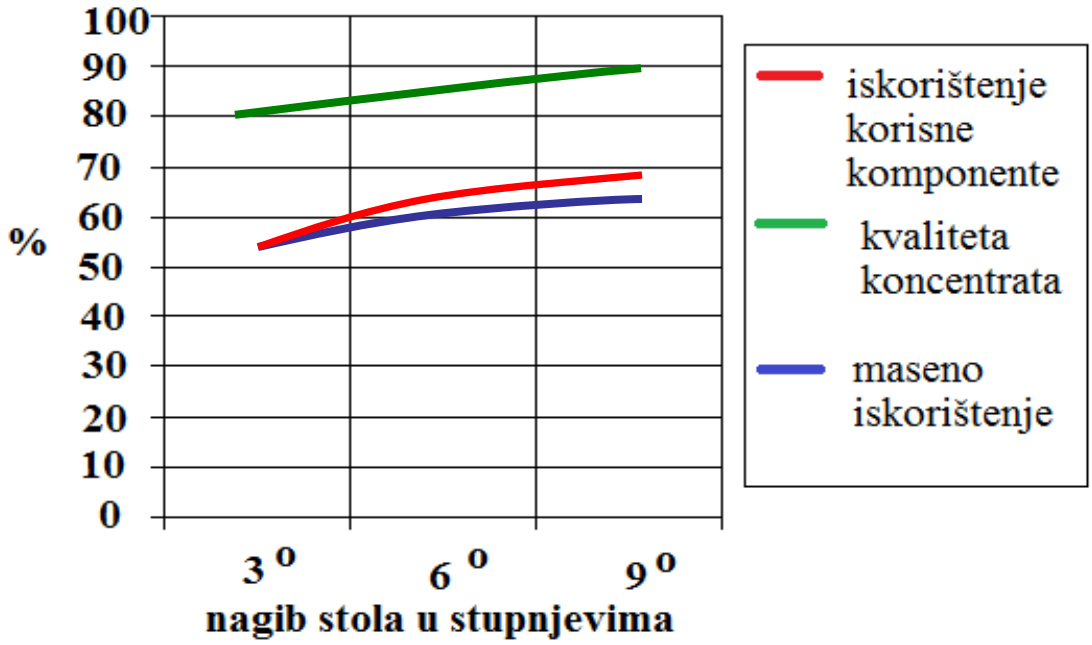
| Klasa | Nagib ploče stola | Vrijeme stratifik-acije | ULAZ | | | | KONCENTRAT | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Udio baka | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa ulaza | Udio bakra | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa konc. |
| mm | o | *t* s | *u* % | g | g | *U* g | *k* g | g | g | *K* g |
| 5/1 | 3 | 180 | 76,50 | 37,60 | 122,40 | 160,00 | 80,00 | 20,20 | 80,80 | 101,00 |
| 5/1 | 6 | 180 | 78,20 | 34,87 | 125,13 | 160,00 | 82,60 | 17,57 | 83,43 | 101,00 |
| 5/1 | 9 | 180 | 80,04 | 31,94 | 128,06 | 160,00 | 85,50 | 14,50 | 85,50 | 100,00 |

Tablica 9-4. Prikaz tehnoloških pokazatelja prvog čišćenja.

| Klasa | Nagib ploče stola | Vrijeme stratifik-acije | Iskorištenje mase koncentrata | Sadržaj korisne komponente u koncentratu | Iskorištenje korisne komponente |
|---|---|---|---|---|---|
| mm | o | $t$ s | $I_m$ % | $K_k$ % | $I_k$ % |
| 5/1 | 3 | 180 | 63,12 | 80,00 | 66,01 |
| 5/1 | 6 | 180 | 63,12 | 82,60 | 66,60 |
| 5/1 | 9 | 180 | 62,50 | 85,50 | 66,76 |

Slika 9-3. prikazuje rezultate nakon drugog čišćenja materijala na koncentracijskom stolu u zavisnosti o nagibu stola. U ovom stupnju nagib je također 3, 6 i 9 stupnjeva.

Ulaz materijala u treći stupanj je koncentrat iz drugoga stupnja, tj. 101 g za kut 3 i 6 a za kut od 9 stupnjeva iznosi 100 g.




Slika 9-3. Rezultati nakon dva čišćenja u zavisnosti o nagibu stola.

Kao što je vidljivo sa prethodne slike 9-3. sva tri tehnička pokazatelja najveća su pri kutu od 9 stupnjeva.

Iskorištenje korisne komponente najveće je na 9 stupnjeva i iznosi 68,92 %. Na ostala dva kuta od 3 i 6 stupnjeva iskorištenost korisne komponente je 55,13 % i 65,27 %.

Sadržaj korisne komponente u koncentratu je također najveći na kutu od 9 stupnjeva i iznosi 90,00 %. Sadržaj korisne komponente u koncentratu za kut od 3 stupnja iznosi 81,00 % i za kut 6 iznosi 86,50 %.

Iskorištenost mase koncentrata na kutu od tri stupnja iznosi 54,45 % i raste na 62,37 % na kut od 6 stupnjeva. Na kutu 9 stupnjeva iskorištenost je najveća i iznosi 64,50 %.

Kut od 9 stupnjeva je također i u trećem konačnom stupnju stratifikacije pokazao najbolje rezultate.

Tablica 9-5. prikazuje podatke mjerenja za treći stupanj stratifikacije u ovisnosti o nagibu stola.

Tablica 9-5. Rezultati nakon drugog čišćenja.

| Klasa | Nagib ploče stola | Vrijeme stratifik-acije | ULAZ | | | | KONCENTRAT | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Udio baka | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa ulaza | Udio bakra | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa konc. |
| mm | o | *t* s | *u* % | g | g | *U* g | *k* g | g | g | *K* g |
| 5/1 | 3 | 120 | 80,00 | 20,20 | 80,80 | 101,00 | 81,00 | 10,45 | 44,55 | 55,00 |
| 5/1 | 6 | 120 | 82,60 | 17,57 | 83,43 | 101,00 | 86,50 | 8,50 | 54,50 | 63,00 |
| 5/1 | 9 | 120 | 85,50 | 14,50 | 85,50 | 100,00 | 90,00 | 6,5 | 58,50 | 65,00 |

Tablica 9-6. Prikaz tehnoloških pokazatelja nakon dugog čišćenja.

| Klasa | Nagib ploče stola | Vrijeme stratifik-acije | Iskorištenje mase koncentrata | Sadržaj korisne komponente u koncentratu | Iskorištenje korisne komponente |
|---|---|---|---|---|---|
| mm | o | *t* s | $I_m$ % | $K_k$ % | $I_k$ % |
| 5/1 | 3 | 120 | 54,45 | 81,00 | 55,13 |
| 5/1 | 6 | 120 | 62,37 | 86,50 | 65,27 |
| 5/1 | 9 | 120 | 64,50 | 90,00 | 86,92 |

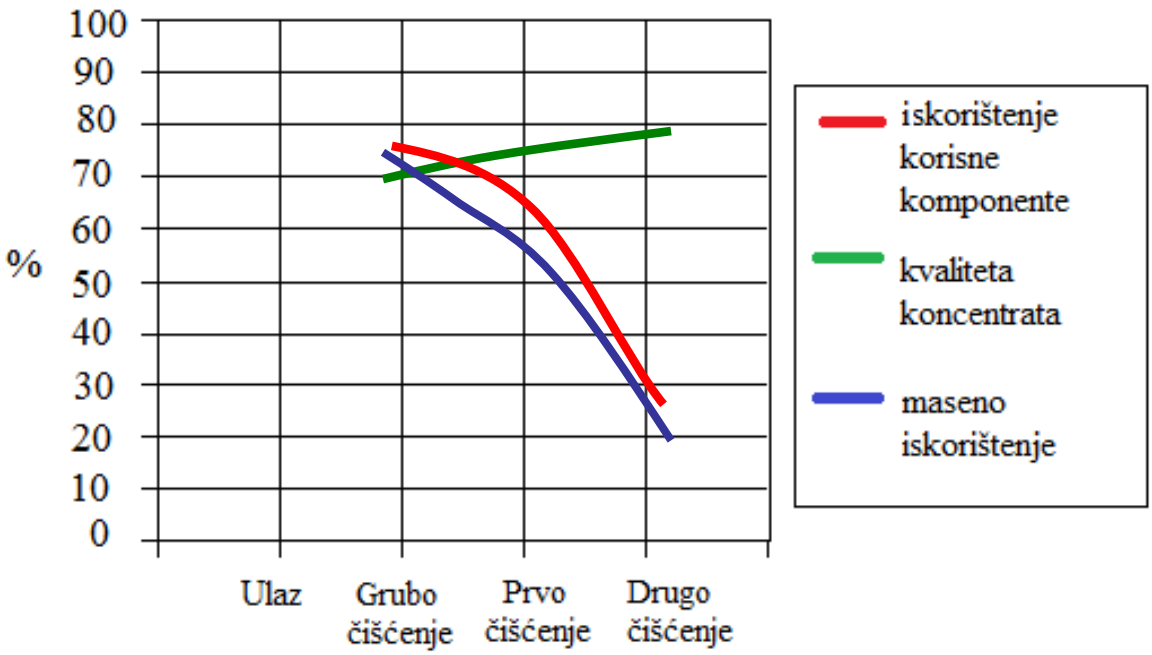
## 9.2. SPIRALNI ŽLIJEB

Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 9-4. a rezultati mjerenja su prikazani u tablici 9-7. Ispitivanja su se provela kroz 3 stupnja stratifikacije: grubo čišćenje, prvo čišćenje i drugo čišćenje.

Klasa uzorka je 5/1 mm, udio bakra u početnom uzorku je 67,67 % a početni uzorak je težio 4,00 kg.

Nakon grubog i prvog čišćenja dobivena jalovina je korištena za daljnje procese obrade materijala.

Na slici 9-4. prikazana su sva tri tehnološka pokazatelja separacije a u tablici 9-8. su prikazane njihove vrijednosti.




Slika 9-4. Rezultati za spiralni žlijeb.

Sa slike 9-4. vidljivo je da iskorištenje mase koncentrata opada sa brojem čišćenja. Iskorištenje mase koncentrata nakon grubog čišćenja je iznosila 73,75 %, da bi nakon toga naglo počelo padati na 57,35 % odnosno 27,67 % na prvom i drugom čišćenju.

Kvaliteta koncentrata odnosno sadržaj korisne komponente u koncentratu je bio najveći na drugom čišćenju a iznosio je 77,30 %. Kvaliteta koncentrata na grubom čišćenju je bila najmanja i iznosila je 70,50 %, da bi na prvom čišćenju postotak iznosio 75,60 %.

Najveće iskorištenje korisne komponente je bilo na grubom čišćenju a iznosilo je 76,72 %. Na prvom i drugom čišćenju postotak iskorištenja korisne komponente je 64,70 % odnosno 31,61 %.

Masa koncentrata nakon grubog, prvog i drugog čišćenje je iznosila: 970,00 g, 515,00 g i 1087,00 g.

Najbolje rezultate iskorištenja korisne komponente i iskorištenje mase koncentrata dobiveni su na grubom čišćenju. Kvaliteta koncentrata se konstantno povećavala sa brojem čišćenja.

Tablica 9-7. Rezultati mjerenja sa spiralnog žlijeba.

| Klasa | Čišćenje | Vrijeme stratifikacije | ULAZ | | | | JALOVINA | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Udio baka | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa ulaza | Udio bakra | Masa PVC-a | Masa bakra | Masa konc. |
| mm | o | $t$ s | $u$ % | g | g | $U$ g | $k$ g | g | g | $K$ g |
| 5/1 | grubo | 720 | 67,67 | 1293,20 | 2706,80 | 4000,00 | 70,50 | 855,5 | 2076,80 | 2950,00 |
| 5/1 | 1. | 480 | 67,67 | 1293,20 | 2706,80 | 4000,00 | 75,60 | 550,56 | 1734,26 | 2294,00 |
| 5/1 | 2. | 240 | 67,67 | 1293,20 | 2706,80 | 4000,00 | 77,30 | 224,64 | 855,71 | 1107,00 |

Tablica 9-8. Prikaz tehnoloških pokazatelja za spiralni žlijeb.

| Klasa | Čišćenje | Vrijeme stratifikacije | Iskorištenje mase koncentrata | Sadržaj korisne komponente u koncentratu | Iskorištenje korisne komponente |
|---|---|---|---|---|---|
| mm | o | $t$ s | $I_m$ % | $K_k$ % | $I_k$ % |
| 5/1 | grubo | 720 | 73,75 | 70,50 | 76,72 |
| 5/1 | 1. | 480 | 57,35 | 75,60 | 64,70 |
| 5/1 | 2. | 240 | 27,67 | 77,30 | 31,61 |

# 9. ZAKLJUČAK

U današnjem svijetu količine EE opreme konstantno raste i vrlo brzo zastarijeva. Uz kratak vijek trajanja sve više takvih proizvoda postaje otpad što rezultira porastom tog otpada od 3 % godišnje.

Prema propisima koje donosi Europska Unija minimalna količina sakupljenog otpada je 4 kilograma po stanovniku godišnje. Europska unija konstantno donosi i provodi propise u svrhu konstantnog povećanja sakupljanja EE otpada. U slijedećoj godini (2016.), količina otpada od 4 kilograma po stanovniku bi se trebala povećati. Propisi Europske Unije će iziskivati maksimalni trud Republike Hrvatske da zadovolji te minimalne potrebe.

U današnje vrijeme iskapaju se mineralne sirovine koje sadrže manje od 0,5 % rude metala. Budući da u svom sastavu UTP kablovi sadrže velik postotak bakra (može iznositi i do 70 %), predstavljaju jedan od razloga za određivanje učinkovitog procesa za njihovo recikliranje.

Ispitivanje na koncentracijskom stolu sa klasom 5/1 mm pokazuje da se može postići veliko iskorištenje korisne komponente koje može doseći i iznad 70 %. Kvaliteta koncentrata tj. sadržaj korisne komponente na najpogodnijem kutu od 9 stupnjeva je za svako mjerenje iznosila od 80 % pa sve do 90 %. Kvaliteta koncentrata je u grubom stupnju čišćenje iznosila 80,04 %, da bi u drugom i trećem stupnju iznosila 85,5 % odnosno 90 %. Iskorištenost mase na kutu nagiba stola od 9 stupnjeva je u prosjeku bila 63,6 %. Sa ovakvim karakteristikama koncentracijski stol bi se mogao koristiti za čišćenje odnosno povećavanje metala bakra u uzorku materijala. Koncentracijski stol je se pokazao kao dobro rješenje za izdvajanje bakra iz UTP kablova. U svrhu postizanja još boljeg rezultata trebalo bi se dodatno smanjiti klasu ulaznog materijala. U klasi 5/1 je bilo ponešto bakra koji se nije uspio odvojio od PVC-a. Materijal kao takav je bilo nemoguće razdvojiti na koncentracijskom stolu što je u konačnici rezultiralo i manjim postotkom u rezultatu. U svrhu dodatnog postizanja boljeg rezultata korisno bi bilo provesti dodatna ispitivanja sa manjom klasom zrna u uzorku.

Testovi provedeni na spiralnom žlijebu pokazuju da je kvaliteta koncentrata konstantno raste sa brojem čišćenja. Iskorištenje korisne komponente i mase koncentrata su padali sa brojem čišćenja što znači da su bili najveći na grubom čišćenju.

Kako bi se dodatno povećalo razdvajanje bakra od PVC-a na spiralnom žlijebu su potrebne određene preinake. Izlaz za tešku frakciju se često začepljivao pod stalnim

dolaskom novopridošlih zrna bakra. Razlog začepljenja je bio mali otvor za tešku frakciju te mala širina cijevi za odvod teške frakcije. U svrhu postizanja što boljeg rezultata potrebne su navedene preinake uz uvjet da se smanji klasa ulaza materijala.

Gledajući i jednostavnost izvođenja određenog postupka za izdvajanja metala bakra iz UTP kablova koncentracijski stol se pokazao kao jednostavniji i lakši za korištenje. Svi ovi navedeni razlozi su doveli do određenog smanjenja ostvarenog rezultata na spiralnom žlijebu koji nije dovoljno prilagođen izdvajanju minerala bakra iz UTP kablova za klasu 5/1 mm, u odnosu na koncentracijski stol.

## 10. POPIS LITERATURE


AZO, 2012. Izvješće o električnom i elektroničkom otpadu za 2011. godinu, Zagreb: Agencija za zaštitu okoliša.

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

Europska komisija, 2012. Direktiva 2012/19/EU europskog parlamenta i vijeća, Brisel: Europska komisija.

EUROSTAT, 2011, Waste statistics, URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics, (15.06. 2015.)

KORAĆ, M., CAR, D., 2014. Uvod u računalne mreže, radni materijal, Otvoreno učilište Algebra.

LEŠIĆ,Đ., MARKOVIĆ, S., 1968. Priprema mineralnih sirovina, Beograd, Građevinska knjiga.

MEWA, Podatci o granulatoru.
URL: http://www.environmental-expert.com/products/mewa-model-uni-cut-ug-granulator-19243#secVideo (10.05. 2015.)

MOSTEČAK, A., 2011. Separacija otpadne plastike, Rad za Rektorovu nagradu, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Narodne novine broj 74/07, Zakon o otpadu, 2007.

Narodne novine broj 94/13, Zakon o održivom gospodarenju otpadom, 2014.

Narodne novine broj 86/13, Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom, 2013.

PAVELIĆ, G.,2005. Ergonomija računalne i programske opreme, seminar, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računalstva.

POSLOVNI DNEVNIK (15.5.2014.) URL: http://www.poslovni.hr/hrvatska/kako-besplatno-zbrinuti-elektricni-i-elektronicki-otpad-271620 (20.5. 2015.)

RADIĆ, D.,205. Informatička abeceda , UTP, STP komunikacijski kabel, URL: http://www.informatika.buzdo.com/s485-utp-stp-kabel.htm (12.04. 2015.)

ROBINSON, B. H., 2009. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts, Science of the Total Environment 408, str. 183-189.

SCHLUEP, M., HAGELUEKEN, C., KUEHR, R., MAGALINI, F., 2009. Recycling-from e-waste to resources, United Nations University.

SPECTRA MEDIA, 2015. Zbrinjavanje otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme (EE Otpad), Zagreb:Spectra Media.

SPECTRA MEDIA, 2014. Gospodarenje EE otpadom u Hrvatskoj, Zagreb: Spectra Media.

VAŽIĆ, M., 2004. Elektronički otpad, seminar, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računalstva.

VEINOVIĆ, Ž., 2014. Gospodarenje otpadom, Zagreb: Rudarsko geološko naftni fakultet.