

# Gravitacijska koncentracija kremenog pijeska

---

**Kuzmanić, Tamara**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:669586>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



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

GRAVITACIJSKA KONCENTRACIJA KREMENOG PIJESKA  
Diplomski rad

Tamara Kuzmanić

R-172

Zagreb, 2018.

## GRAVITACIJSKA KONCENTRACIJA KREMENOG PIJESKA

TAMARA KUZMANIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Sažetak

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja koncentracije kvarcnog pijeska postupcima gravitacijske koncentracije (koncentracijskim stolom i spiralnim žlijebom – Humphreysovom spiralom). Cilj rada je ispitati mogućnost koncentracije kvarcnog pijeska gravitacijskom koncentracijom uz postizanje kvalitete koncentrata koji zadovoljava uvjete kvalitete za plasiranje na tržište. Provedena su dva seta ispitivanja na koncentracijskom stolu pri različitim nagibima koncentracijskog stola ( $3^\circ$ ,  $6^\circ$  i  $9^\circ$ ), jedan s ciljem postizanja što veće kvalitete koncentrata i jedan s ciljem postizanja što većeg masenog iskorištenja. Ukupno je napravljeno ispitivanje na 6 uzoraka kvarcnog pijeska na koncentracijskom stolu. Na spiralnom žlijebu provedena su 4 ispitivanja pri različito podešenim parametrima (otvori ispusta za tešku frakciju, gustoća suspenzije i protok ispirne vode). Uspoređeni su tehnološki pokazatelji uspješnosti koncentracije pojedinih ispitivanja, odnosno postignuta kvaliteta koncentrata utvrđena kemijskom analizom uspoređena je s uvjetima kvalitete za plasiranje na tržište.

Ključne riječi: kremen i pijesak, gravitacijska koncentracija, oplemenjivanje, koncentracijski stol, Humphreysova spirala

Diplomski rad sadrži: 53 stranice, 14 tablica, 25 slika i 20 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Dr. sc. Gordan Bedeković, redoviti profesor, RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Gordan Bedeković, redoviti profesor, RGNF  
Dr. sc. Ivan Sobota, docent, RGNF  
Dr. sc. Tomislav Korman, docent, RGNF

Datum Obrane: 28.09.2018., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

## GRAVITY CONCENTRATION OF QUARTZ SAND

TAMARA KUZMANIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Institute of Mining and Geotechnical Engineering  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Abstract

This thesis presents the results of concentration tests carried out on quartz sand using gravity concentration methods (shaking table and spiral concentrator – Humphreys spiral). The aim of the thesis is to examine the possibility of concentrating quartz sand using gravity concentration methods to achieve concentrate quality that satisfies the quality requirements of the marketplace. Two sets of tests were carried out using a shaking table at different shaking table inclination ( $3^\circ$ ,  $6^\circ$  i  $9^\circ$ ), one set aiming to achieve higher concentrate quality and the other set aiming to achieve higher recovery. Tests were carried out on 6 samples of quartz sand using shaking the table. Using a spiral concentrator, 4 tests were carried out with different parameter (heavies openings, slurry density and wash water flow) adjustment. The concentration efficiency indicators of each test were compared i.e. achieved concentrate grades determined by chemical analysis were compared with the quality requirements for market placement.

Keywords: quartz sand, gravity concentration, mineral processing, shaking table, Humphreys spiral

Thesis contains: 53 pages, 14 tables, 25 figures i 20 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The 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  
Assistant Professor Tomislav Korman, PhD

Date of defense: september, 28 2018.

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA .....	V
POPIS PRILOGA .....	V
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA .....	VI
1. Uvod .....	1
2. Prikaz raspoloživih literaturnih podataka i dosadašnje istraživanje .....	3
2.1. Tvrtka „Kremen d.d.“ .....	3
2.2. Proces oplemenjivanja kvarcnog pijeska u tvrtci „Kremen d.d.“ .....	5
2.3. Do sada provedena ispitivanja i rezultati .....	8
3. Teorijske osnove .....	11
3.1. Gravitacijska koncentracija .....	11
4. Laboratorijska ispitivanja .....	14
4.1. Opis uzorka .....	14
Granulometrijska analiza .....	14
Kemijska analiza .....	17
Određivanje gustoće .....	18
4.2. Opis uređaja .....	19
Koncentracijski stol .....	19
Spiralni žlijeb (Humphreys-ova spirala) .....	23
4.3. Rezultati i diskusija .....	27
Koncentracijski stol .....	27
Spiralni žlijeb (Humphreys-ova spirala) .....	33
5. Zaključak .....	39
6. Literatura .....	40
Prilozi .....	42

## POPIS SLIKA

<i>Slika 2-1 Lokacija ležišta i oplemenjivačkog postrojenja „Ravno“ – satelitski prikaz (iSlovenija 2018) .....</i>	<i>4</i>
<i>Slika 2-2 Lokacija ležišta i oplemenjivačkog postrojenja „Ravno“ – prikaz na geografskoj karti (iSlovenija 2018).....</i>	<i>4</i>
<i>Slika 2-3 Lokacija ležišta i oplemenjivačkog postrojenja „Ravno“ – detaljan satelitski prikaz (iSlovenija 2018) .....</i>	<i>5</i>
<i>Slika 2-4 Segregacijska shema oplemenjivačkog postrojenja u pogonu „Ravno“ (Kremen d.d. 2017) .....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 4-1 Vibracijsko sito „FRITSCH – Analysette 3“ .....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 4-2 Dijagram granulometrijskog sastava ulaznog materijala .....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 4-3 Uređaj „Oxford Analytical LabX-3500 OI“ .....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 4-4 Različiti raspored žlijebova na koncentracijskom stolu (Pryor 1965).....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 4-5 Dijelovi koncentracijskog stola Wilfley (Bedeković i Salopek 2010).....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 4-6 Spiralni žlijeb Humphreys (Bedeković i Salopek 2010).....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 4-7 Shematski prikaz spiralnog žlijeba Humphreys (Bedeković i Salopek 2010) .....</i>	<i>26</i>
<i>Slika 4-8 Poprečni presjek spiralnog žlijeba (Anderson et al 2014).....</i>	<i>26</i>
<i>Slika 4-9 Ispitivanje na koncentracijskom stolu .....</i>	<i>27</i>
<i>Slika 4-10 Maseno iskorištenje – koncentracijski stol .....</i>	<i>29</i>
<i>Slika 4-11 Kvaliteta koncentrata – koncentracijski stol.....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4-12 Iskorištenje korisne komponente u koncentratu – koncentracijski stol.....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4-13 Gubici materijala – koncentracijski stol .....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 4-14 Ispitivanje na spiralnom žlijebu – bliži prikaz .....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 4-15 Ispitivanje na spiralnom žlijebu .....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 4-16 „Laka frakcija“ (1. test).....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 4-17 „Teška“ frakcija (1. test) .....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 4-18 Maseno iskorištenje – spiralni žlijeb.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 4-19 Kvaliteta koncentrata – spiralni žlijeb.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 4-20 Iskorištenje korisne komponente u koncentratu – spiralni žlijeb.....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 4-21 Gubici materijala – spiralni žlijeb .....</i>	<i>37</i>

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 2-1 Uvjeti kvalitete (Kremen Novo Mesto 2008; Kremen d.d. 2018)</i> .....	8
<i>Tablica 2-2 Rezultati sijanja RstF (Žmavčič 1991)</i> .....	8
<i>Tablica 2-3 Rezultati sijanja Rp (Žmavčič 1991)</i> .....	9
<i>Tablica 2-4 Prosječne vrijednosti na temelju 59 analiza sijanjem (Ciglar 1987)</i> .....	9
<i>Tablica 2-5 Prosječne vrijednosti kemijske analize pranog pijeska (Ciglar 1987)</i> .....	10
<i>Tablica 2-6 Rezultati kemijske analize flotiranog pijeska (Kremen d.d. 2014)</i> .....	10
<i>Tablica 4-1 Rezultati granulometrijske analize ulaznog materijala (pranog kvarcnog pijeska)</i> .....	15
<i>Tablica 4-2 Fotografski prikaz pojedinih klasa ulaznog materijala</i> .....	16
<i>Tablica 4-3 Kemijski sastav ulaznog materijala (pranog kvarcnog pijeska)</i> .....	17
<i>Tablica 4-4 Rezultati ispitivanja – koncentracijski stol</i> .....	28
<i>Tablica 4-5 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska ("lake" frakcije)</i> .....	32
<i>Tablica 4-6 Parametri ispitivanja na spiralnom žlijebu</i> .....	35
<i>Tablica 4-7 Rezultati ispitivanja na spiralnom žlijebu</i> .....	35
<i>Tablica 4-8 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska ("lake" frakcije)</i> .....	38

## POPIS PRILOGA

<i>Prilog 1 Rezultati kemijske analize pranog kvarcnog pijeska (ulazni materijal)</i> .....	43
<i>Prilog 2 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 3°)</i> .....	44
<i>Prilog 3 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 6°)</i> .....	45
<i>Prilog 4 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 9°)</i> .....	46
<i>Prilog 5 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 3°, povećanje iskorištenja korisne komponente)</i> .....	47
<i>Prilog 6 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 6°, povećanje iskorištenja korisne komponente)</i> .....	48
<i>Prilog 7 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 9°, povećanje iskorištenja korisne komponente)</i> .....	49
<i>Prilog 8 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (spiralni žljeb, 1. pokus)</i> .....	50
<i>Prilog 9 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (spiralni žljeb, 2. pokus)</i> .....	51
<i>Prilog 10 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (spiralni žljeb, 3. pokus)</i> .....	52
<i>Prilog 11 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (spiralni žljeb, 4. pokus)</i> .....	53

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA

$v$	– konačna brzina padanja čestice	m/s
$d$	– promjer čestice	m
$\rho_s$	– gustoća čestice	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_f$	– gustoća fluida	kg/m <sup>3</sup>
$g$	– gravitacija	m/s <sup>2</sup>
$\eta$	– dinamički viskozitet fluida	kg/m·s
$m$	– masa	kg
$\rho_u$	– gustoća uzorka	kg/m <sup>3</sup>
$I_m$	– maseno iskorištenje	%
$k$	– kvaliteta koncentrata	%
$I_k$	– iskorištenje korisne komponente u koncentratu	%
$K$	– masa koncentrata	kg
$U$	– masa ulaza	kg
$m_k$	– masa korisne komponente u koncentratu	kg
$u$	– postotni sadržaj korisne komponente u ulazu	%



# 1. Uvod

Kvarc ili kremen (kemijske formule  $\text{SiO}_2$ ) je mineral koji kristalizira u trigonskom sustavu, ima relativnu tvrdoću 7 po Mohsovoj ljestvici (ujedno je i jedan od minerala Mohsove ljestvice tvrdoće) i gustoću od približno  $2,6 \text{ g/cm}^3$ . Kvarc je najrasprostranjeniji mineral u Zemljinoj kori. Poznato je desetak kristalnih polimorfni modifikacija  $\text{SiO}_2$ , a neke od njih su tridimit, kristobalit itd. (Vrkljan 2001). Kvarcni pijesak je pijesak koji je po svojem kemijskom sastavu većinski  $\text{SiO}_2$  uz primjese ostalih minerala kao što su glina i teški minerali (npr. magnetit, biotit, hematit itd.). Obzirom na veličinu mineralnih zrna, kremeni pijesak se dijeli u 3 skupine (Vrkljan 2011):

- Sitni pijesak – klasa 0,25/0,1 mm
- Srednje krupni pijesak – klasa 0,5/0,25 mm
- Krupni pijesak – klasa +0,5 mm (ili 2/0,5 mm)

Kvarcni pijesak ima vrlo široku primjenu, ovisnu o svojim fizičko – kemijskim značajkama (kemijskom sastavu, granulometrijskom sastavu, sadržaju vlage itd.). Koristi se u različitim industrijskim granama, prvenstveno u staklarskoj industriji kao glavna sirovina za izradu stakla, zatim u ljevaoničkoj industriji (za izradu kalupa i jezgri, za izradu vatrostalnog materijala, za oblaganje peći), kao punilo u proizvodnji premaza i boja, u industriji građevnog materijala, u filtraciji vode, u naftnoj industriji itd. Za uporabu u određenim industrijama kvarcni pijesak mora ispunjavati određene uvjete koji se tiču kemijskog sastava, granulometrijskog sastava itd. Rovni pijesak rijetko kada, pogotovo u vrijeme kada su u većini ležišta kvarcnog pijeska iscrpljeni najkvalitetniji djelovi, zadovoljava uvjete propisane od industrije gdje se želi plasirati na tržište, stoga se mora podvrgnuti raznim oplemenjivačkim procesima. Oplemenjivačkim procesima uklanjaju se nepoželjne primjese i nečistoće iz kvarcnog pijeska čime se povećava kvaliteta pijeska, a time i njegova cijena (Vrkljan 2011).

U ovome radu, provedena su ispitivanja oplemenjivanja kvarcnog pijeska gravitacijskom koncentracijom – koncentracijskim stolom i spiralnim žlijebom, analiza dobivenih rezultata ispitivanja (zadovoljavaju li finalni produkti uvjete kvalitete) te njihova međusobna usporedba.

Cilj rada bio je utvrditi je li moguće zamjeniti trenutno postojeće oplemenjivačko postrojenje „Ravno“ tvrtke „Kremen Novo Mesto (Kremen d.d.)“ u kojemu se kvarcni pijesak

oplemenjuje pomoću flotacije uz upotrebu skupih reagenasa i relativno veliki utrošak energije za pokretanje svih potrebnih uređaja postrojenja.

Uzorak kvarcnog pijeska na kojemu je provedeno ispitivanje uzet je iz separacijskog procesa neposredno prije ulaza pijeska u proces flotacije. Očekivani rezultati su da će koncentrat dobiven gravitacijskom koncentracijom („laka“ frakcija) dati nešto lošije rezultate s obzirom na kvalitetu koncentrata (u odnosu na onaj dobiven flotacijom), ali da će koncentrat zadovoljavati uvjete kvalitete za plasiranje na tržište.

## 2. Prikaz raspoloživih literaturnih podataka i dosadašnje istraživanje

### 2.1. Tvrtka „Kremen d.d.“

Skupinu Kremen d.d. čine poduzeća za dobivanje, preradu, proizvodnju i prodaju kvarcnih sirovina (kvarcnih pijesaka i kvarcita) te izradu vatrostalnih materijala (vlažne, suhe, specijalne suhe i specijalne plastične mase). Grupacija Kremen d.d. svoje poslovanje izvodi u skladu sa standardom ISO 9001 i okolišnim standardom ISO 14001 Svoju djelatnost izvode u kooperaciji sa strateškim partnerima, poduzećima PD Refractories CZ i EKW GmbH (Kremen Novo Mesto 2017).

U poslovnoj skupini Kremen d.d. pridobivaju se i obogaćuju kvarcne sirovine (kvarcni pijesci i šljunak, kvarcit-rožnjak), prvenstveno za potrebe staklarske industrije, ljevarske i metalurške industrije, izolacijske industrije, graditeljstva, kemijske, filtarske i keramičarske industrije, industrije vatrostalnih silika opeka i industrije vodenog stakla i zeolita. Iz vlastitih sirovina proizvode vlačne i suhe kisele vatrostalne mase za oblaganje kupolnih i indukcijskih peći za sivu, obojenu, nodularnu i čeličnu leguru, te za oblaganje lijevnih lonaca i žlica, koje se koriste u ljevaonicama i čeličanicama. Kao dodatak suhim i vlažnim ogrjevnim masama izrađuje se i paleta specijalnih suhих vatrostalnih masa i specijalnih plastičnih vatrostalnih masa.

Kremenij pijesak se na kopu „Ravno“ eksploatira površinski jer se korisni slojevi nalaze pod razmjerno plitkim humusnim i glinovitim slojem. Površinska eksploatacija omogućava selektivno mehaničko otkopavanje različitih kvaliteta pijeska sa širokog otvorenog kopa i njegovo neposredno utovarivanje u kamione. Krovina se odstranjuje bagerima i buldožerima, tovari se u kamione i odvozi na deponije s kojih odlazi na separaciju. U periodu od svibnja do rujna na tom kopu se ne izvodi eksploatacija zbog nastajanja ugroženih životinjskih vrsta unutar samog kopa. U tom periodu se prethodno dobivena mineralna sirovina s deponija odvozi na separaciju, koja radi i tijekom perioda kada se ne eksploatira nova mineralna sirovina (Žmavčič 1991).

Ležište Raka-Ravno je najveće nalazište kremenog pijeska u Dolenjskoj Sloveniji. Kompleks zauzima površinu od približno 1,25 km<sup>2</sup>. Poduzeće Kremen d.d. je započelo s eksploatacijom ležišta 1958.godine. Ležište se nalazi oko 20 km sjevero zapadno od Novog Mesta i južno od sela Raka. Teren je djelomično prekriven njivama i travnjacima, a dijelom šumom. Dostupan je cestom Novo Mesto-Šentjernež-Raka ili cestom Novo Mesto-Otočec

odvojkom za Raku. Lokacija ležišta (i oplemenjivačkog postrojenja) „Ravno“ prikazana je na slikama 2-1, 2-2 i 2-3.

Ležište kremenog pijeska „Ravno“ čini brežuljkasti teren s visinskim razlikama do 70 m (visinska razlika između 160 i 230 m nadmorske visine) i leži na sjevernoj periferiji Krškog polja. Površinske vode otječu u potok Lokavec i potok Račna, koji teku u smjeru sjever-jug i utječu u rijeku Krku koja teče otprilike 2,5 km južnije od ležišta. Razina podzemne vode varira s godišnjim oborinskim ciklusima do 1 m. Klima je kontinentalna s vrućim i suhim ljetima te hladnim zimama s obilnim padalinama (Žmavčič 1991).



Slika 2-1 Lokacija ležišta i oplemenjivačkog postrojenja „Ravno“ – satelitski prikaz (iSlovenija 2018)



Slika 2-2 Lokacija ležišta i oplemenjivačkog postrojenja „Ravno“ – prikaz na geografskoj karti (iSlovenija 2018)



*Slika 2-3 Lokacija ležišta i oplemenjivačkog postrojenja „Ravno“ – detaljan satelitski prikaz (iSlovenija 2018)*

Na području ležišta krovinu naslaga kremenih pijesaka čine smeđe, crveno smeđe, sivo smeđe do sive pretežito pjeskovite gline, koje prelaze u plastične gline. Krovina je u prosjeku debljine od 5 do 9 m, a na pojedinim dijelovima i do preko 15 m (ali ti dijelovi ne ulaze u otkopno područje).

Naslage kremenih pijesaka čine žućkast, crvenkast do smeđ pijesak različitih nijansi. Pijesak se razlikuje po granulometrijskom sastavu, sadržaju teških minerala i gline. Sloj kremenog pijeska debljine je do 11,5 m, a debela glinovita krovina se prije otkopavanja odstranjuje na rub ležišta ili na već otkopane dijelove ležišta. Po završetku eksploatacije, planira se prenamjena terena dijelom za poljoprivredu i dijelom za šumske površine. Završne kosine se formiraju ovisno o namjeni zemljišta po završetku eksploatacije (Žmavčič 1991).

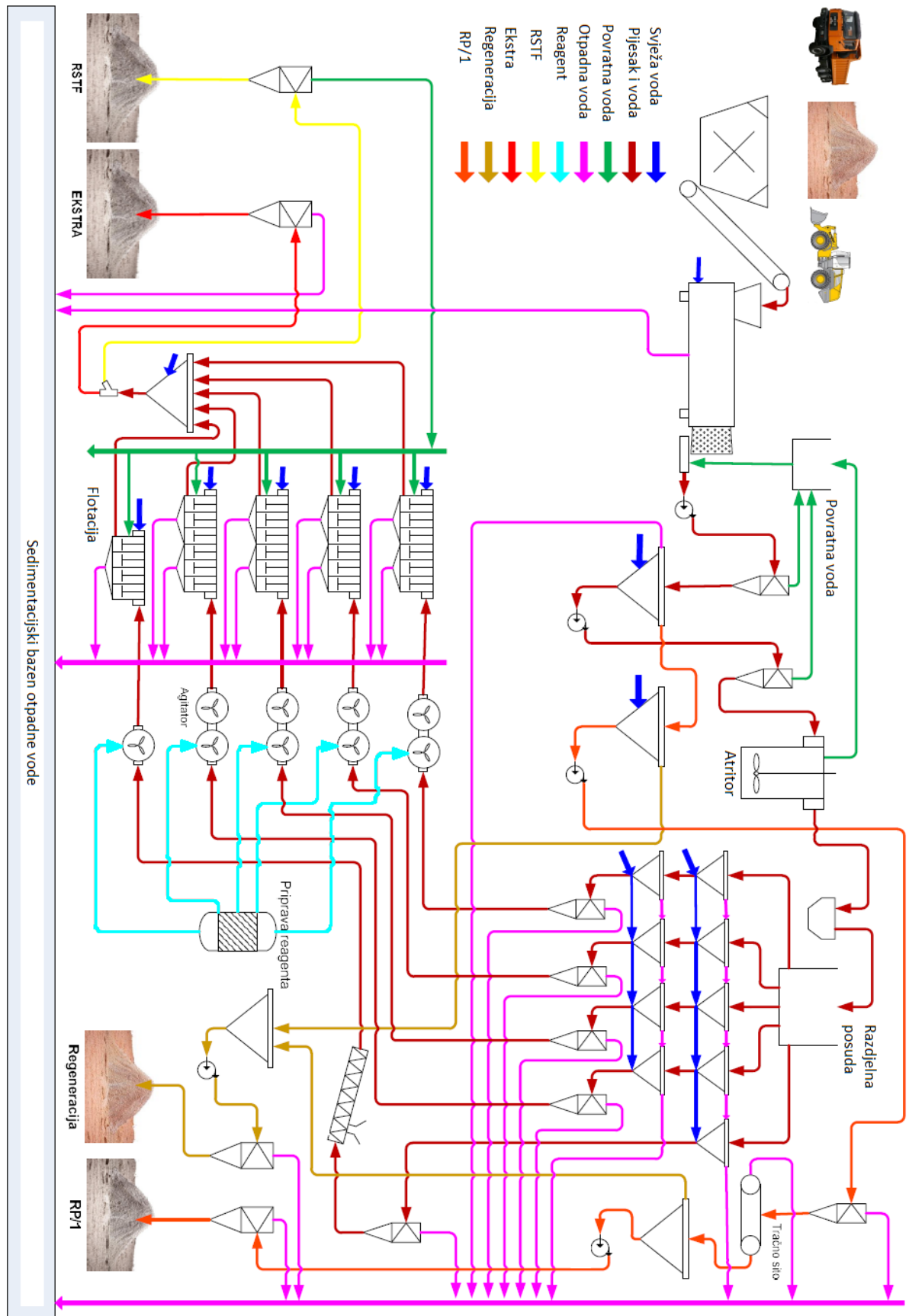
## 2.2. Proces oplemenjivanja kvarcnog pijeska u tvrtci „Kremen d.d.“

Poduzeće „Kremen d.d.“ obogaćuje kvarcne pijeske pranjem, atriranjem i flotacijom, u separacijskom (oplemenjivačkom) postrojenju Ravno cca 3 km udaljenom od pješčare. Pijesak se do separacije doprema kamionskim transportom. Kapacitet separacijskog postrojenja je oko 125 000 tona obogaćenog kvarcnog pijeska godišnje (s tim da je postrojenje za separaciju u pogonu 24 sata dnevno cijele godine, izuzev nužnih remonta i popravaka) (Kremen d.d. 2017).

U postrojenju za separaciju „Ravno“ (separacijsko postrojenje tvrtke „Kremen d.d.“) glavni su finalni produkti staklarski i ljevaonički kvarcni pijesci. Pijesak mokrim postupkom iz prihvatnog bunkera ulazi u sustav međusobno povezanih hidroklasifikatora i hidrociklona, gdje se izdvajaju sitne čestice (pijesak se „pere“). Flotabilni pijesak se, s prethodnim atriranjem u atricijskim ćelijama, transportira u flotacijske ćelije (uz dodavanje flotacijskih reagenasa) kako bi se separirali minerali nositelji željeza, aluminijska, titana. Prani ljevački pijesak i flotiran (staklarski) pijesak se nakon zgušnjavanja u hidrociklonima skladište na deponije za konačne proizvode. Otpadna voda odlazi u zemljane sedimentacijske bazene iz kojih se djelomično vraća u potok Račno, a ostatak očišćene vode se ponovno koristi u procesu primarnog pranja (u bubnju za pranje). Separacijski postupak prikazan je na slici 2-4.

Finalni produkti separacijskog postrojenja „Ravno“ su (Kremen Novo Mesto 2008):

- RstF (Ravno, staklarski, flotirani): pran, klasiran, atriran i flotiran pijesak; koristi se za izradu bijelog ambalažnog stakla, sanitarne keramike, porculana, vodnog stakla i zeolitsko-ionskih izmjenjivača
- RP (Ravno prani): pran i klasiran pijesak; koristi se u ljevaonicama (kod ljevanja manjih odljevaka glatke površine), u proizvodnji asfalta, izolacijskih materijala, siporeksa i druge namjene u građevini.



Slika 2-4 Segregacijska shema oplemenjivačkog postrojenja u pogonu „Ravno“ (Kremen d.d. 2017)

Kvaliteta finalnih produkata redovno se provjerava u internom kemijsko-tehnološkom laboratoriju. Uvjeti kvalitete prilagođavaju se svakom pojedinom kupcu temeljem njihovih potreba. U tablici 2-1 dane su vrijednosti uvjeta kvalitete tj. kemijskog sadržaja koje finalni produkti trebaju zadovoljiti.

Tablica 2-1 Uvjeti kvalitete (Kremen Novo Mesto 2008; Kremen d.d. 2018)

	Rp	RstF
SiO <sub>2</sub> (min.) %	97,00	98,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (max.) %	0,35	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (max.) %	1,50	0,60
TiO <sub>2</sub> (max.) %	0,35	0,22
K <sub>2</sub> O + MgO (max.) %	0,25	0,08*
Gubitak žarenjem (max.) %	**	0,30

\*u skladu sa sadašnjim zahtjevima kupaca potrebno je mjeriti samo K<sub>2</sub>O

\*\*nema podataka

### 2.3. Do sada provedena ispitivanja i rezultati

Prosječni rezultati sisanja, na temelju 57 uzoraka, uzorkovanih od svibnja 1989. do srpnja 1990. za staklarski pijesak RstF (pran i flotiran), prikazani su u tablici 2-2.

Tablica 2-2 Rezultati sisanja RstF (Žmavčič 1991)

Veličina otvora sita (mm)	0,500	0,315	0,250	0,160	0,125	0,090	0,063	0 (dno)
prosjek (%)	0,14	0,55	4,18	31,13	25,75	29,58	7,87	0,79
min. (%)	0,10	0,10	0,50	11,30	10,30	1,10	0,90	0,10
maks. (%)	0,40	1,30	7,40	50,30	49,00	62,60	34,40	4,10
st.dev. (%)	0,06	0,29	1,91	9,57	9,61	16,41	7,46	0,75
k.var. (%)	42,48	52,36	45,64	30,74	37,32	55,48	94,82	94,17

prosjek - prosječna vrijednost

min. - minimalna vrijednost

maks. – maksimalna vrijednost

st.dev. – standardna devijacija

k.var. – koeficijent varijacije



Prosječne vrijednosti analize sijanjem za ljevaonički pijesak Rp (pran) na temelju 19 uzoraka, za svaku godinu (za 1990 g. samo prvo polugodište), prikazani su u tablici 2-3.

Tablica 2-3 Rezultati sijanja Rp (Žmavčić 1991)

Veličina otvora sita (mm)	0,500	0,315	0,250	0,160	0,125	0,090	0,063	0 (dno)
1988. Mas. udio (%)	0,10	0,40	3,11	36,42	20,49	32,01	6,17	1,22
1989. Mas. udio (%)	0,42	1,46	5,43	28,78	21,52	32,99	7,57	1,83
1990. Mas. udio (%)	0,13	0,21	1,17	19,05	24,42	46,23	7,24	1,57

U tablici 2-4 prikazane su prosječne vrijednosti dobivene sijanjem na temelju 59 uzoraka pranog i 59 uzoraka flotiranog pijeska, provedenim 1987. godine.

Tablica 2-4 Prosječne vrijednosti na temelju 59 analiza sijanjem (Ciglar 1987)

Granulacija pran-flotiran		
veličina zrna (mm)	pran pijesak (%)	flotiran pijesak (%)
1,0-0,5	0,5	0,5
0,5-0,3	3,3	3,7
0,3-0,2	18,3	19,0
0,2-0,1	73,4	73,0
-0,1	5,2	3,9

Maseni udio nekorisne komponente u procesu pranja i flotacije je od 25 do 35%.

Sadržaj teških minerala u pijesku varira od 0,2 do 2,5 %. Obično zaglinjeniji pijesak sadrži više teških minerala i obratno. Uglavnom se teški minerali nalaze u klasi -0,2 mm. Brojne mineraloške i rentgenske analize, koje su napravljene na uzorcima pijeska, pokazuju da su u pijesku prisutni slijedeći teški minerali (prozirni i neprozirni): cirkon, pirokseni, amfiboli+klorit, biotit, titanit, turmalin, granat, epidotova skupina, stavrolit, rutil, disten, andaluzit, silimanit, volastonit, monazit, magnetit, hematit i željezovi hidroksidi, leukoksen i ilmenit (Žmavčić 1991).

Granulat pijeska iznad 0,2 mm sadrži do 0,1% teške frakcije, dok granulat pijeska ispod 0,2 mm sadrži do 0,5% teške frakcije (na temelju mikroskopske analize) (Ciglar 1987).

Kemijska analiza uzoraka je pokazala da prani pijesci sadrže od 0,3 do 0,112 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i od 0,5 do 0,1 % TiO<sub>2</sub>. Flotirani pijesci sadrže od 0,015 do 0,06 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i od 0,09 do 0,01 %

TiO<sub>2</sub>. U tablici 2-5 prikazane su dobivene prosječne vrijednosti kemijske analize pranog pijeska.

*Tablica 2-5 Prosječne vrijednosti kemijske analize pranog pijeska (Ciglar 1987)*

Komponenta	Maseni udio (%)
SiO <sub>2</sub>	98,650
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,300
TiO <sub>2</sub>	0,027
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,200
CaO	0,310
MgO	0,360
Alkalije	0,109
gubitak žarenjem	0,040

Kemijska analiza flotiranog pijeska iz 2014. godine dala je rezultat prikazan u sljedećoj tablici (Tablica 2-6). Kemijska analiza rađena je u svrhu izdavanja potvrde o kvaliteti kupcu.

*Tablica 2-6 Rezultati kemijske analize flotiranog pijeska (Kremen d.d. 2014)*

Komponenta	Maseni udio (%)
SiO <sub>2</sub>	99,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,279
TiO <sub>2</sub>	0,123
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,081
K <sub>2</sub> O	0,039

### 3. Teorijske osnove

#### 3.1. Gravitacijska koncentracija

U novije vrijeme, rudarske kompanije ponovno se okreću sustavima koji koriste gravitacijsku koncentraciju uslijed povećanja cijena reagenata za flotaciju, relativne jednostavnosti procesa gravitacijske koncentracije te zbog činjenice da isti skoro da nema utjecaj na okoliš.

Metode gravitacijske koncentracije razdvajaju/separiraju minerale različitih specifičnih težina (gustoće) temeljem njihovog relativnog kretanja (uzrokovano gravitacijom, te ostalih sila, ovisno o uređaju) u odnosu na fluid (najčešće voda ili zrak). Za efikasnu separaciju ključno je da postoji značajna razlika u gustoći između korisnih i nekorisnih komponenata (Finch i Wills 2016).

Gravitacijska koncentracija se temelji na različitim brzinama taloženja ili konačnoj brzini taloženja čestica različite gustoće i veličine. Kod gravitacijske koncentracije međusoban utjecaj mase i oblika čestica određuju njihovo kretanje u vodi (Pryor 1965). Sile koje utječu na čestice koje se talože u fluidu prilikom uvjeta slobodnog taloženja su gravitacija, uzgon u fluidu i težina zrna ili čestica.

Dobro je poznato da je efikasnost gravitacijske koncentracije manja, što je raspon veličine čestica na ulazu u proces veći (Gupta i Yan 2016).

Kretanje čestica u fluidu ne ovisi samo njihovoj gustoći, već i o njihovoj veličini – velike čestice će se puno efikasnije separirati od onih sitnijih. Efikasnost razdvajanja raste povećanjem promjera čestica, koje bi svakako morale biti dovoljno krupne da se kreću u skladu s Newtonovim zakonom (Finch i Wills 2016). Čestice moraju biti dovoljno krupne da bi se taložile prema Newtonovom zakonu taloženja, dok one čestice koje su toliko sitne da se talože prema Stokesovom zakonu taloženja nisu pogodne za separaciju jednostavnim metodama gravitacijske koncentracije (Pryor 1965).

Čestice promjera manjeg od oko 0,05 mm (50  $\mu\text{m}$ ) talože se prema Stokesovom zakonu taloženja. Stokesov zakon taloženja nam omogućava izračun konačne brzine padanja sferične čestice u laminarnim uvjetima strujanja.

Stokesov zakon taloženja može se izraziti pomoću sljedeće formule (Finch i Wills):

$$v = \frac{gd^2(\rho_s - \rho_f)}{18\eta} \quad (3-1)$$

gdje je:

$v$  – konačna brzina padanja čestice (m/s)

$d$  – promjer čestice (m)

$\rho_s$  – gustoća čestice (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_f$  – gustoća fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  – gravitacija (m/s<sup>2</sup>)

$\eta$  – dinamički viskozitet fluida (kg/m·s)

Čestice promjera većeg od oko 0,5 mm talože se prema Newtonovom zakonu taloženja. Newtonov zakon taloženja daje podatak o konačnoj brzini padanja sferične čestice u turbulentnim uvjetima strujanja. Newtonov zakon taloženja može se izraziti pomoću sljedeće formule (Finch i Wills 2016):

$$v = \left( \frac{3gd(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3-2)$$

gdje je:

$v$  – konačna brzina padanja čestice (m/s)

$d$  – promjer čestice (m)

$\rho_s$  – gustoća čestice (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_f$  – gustoća fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  – gravitacija (m/s<sup>2</sup>)

Za čestice klase veličine 0,5/0,05 mm koriste se eksperimentalni podaci.

Prednosti gravitacijske koncentracije u odnosu na flotaciju su (Gupta i Yan 2016):

- niži troškovi po toni koncentrata
- niža instalirana snaga potrebna za tonu koncentrata
- ne zahtjeva skupe reagense
- manji utjecaj na okoliš (uslijed izostanka uporabe organskih i anorganskih kemikalija)

Gravitacijska koncentracija je također često korištena u ostalim industrijskim procesima, kao što su uklanjanje sitnih zrna (eng. degritting) u prehrambenoj industriji, pulpi za izradu papira, recikliranju čvrstog otpada, recikliranju sitneži iz metalne industrije itd. (Fuerstenau i Han 2003).

## 4.Laboratorijska ispitivanja

### 4.1. Opis uzorka

#### Granulometrijska analiza

Provedeno je ispitivanje granulometrijskog sastava ulaznog materijala za postupke koncentracije. Kvarcni pijesak uzet je iz separacijskog postrojenja „Ravno“ 28.11.2017., nakon što je prethodno klasiran i „opran“ u postrojenju te predstavlja sirovinu koja ulazi u proces flotacije.

Granulometrijska analiza provedena je mokrim sijanjem pomoću laboratorijskog elektromagnetskog vibracijskog sita „FRITSCH – Analysette 3“, prikazanog na slici 4-1, na sitima sa sljedećim veličinama otvora: 1,0; 0,5; 0,25; 0,18; 0,1 i 0,063 mm.

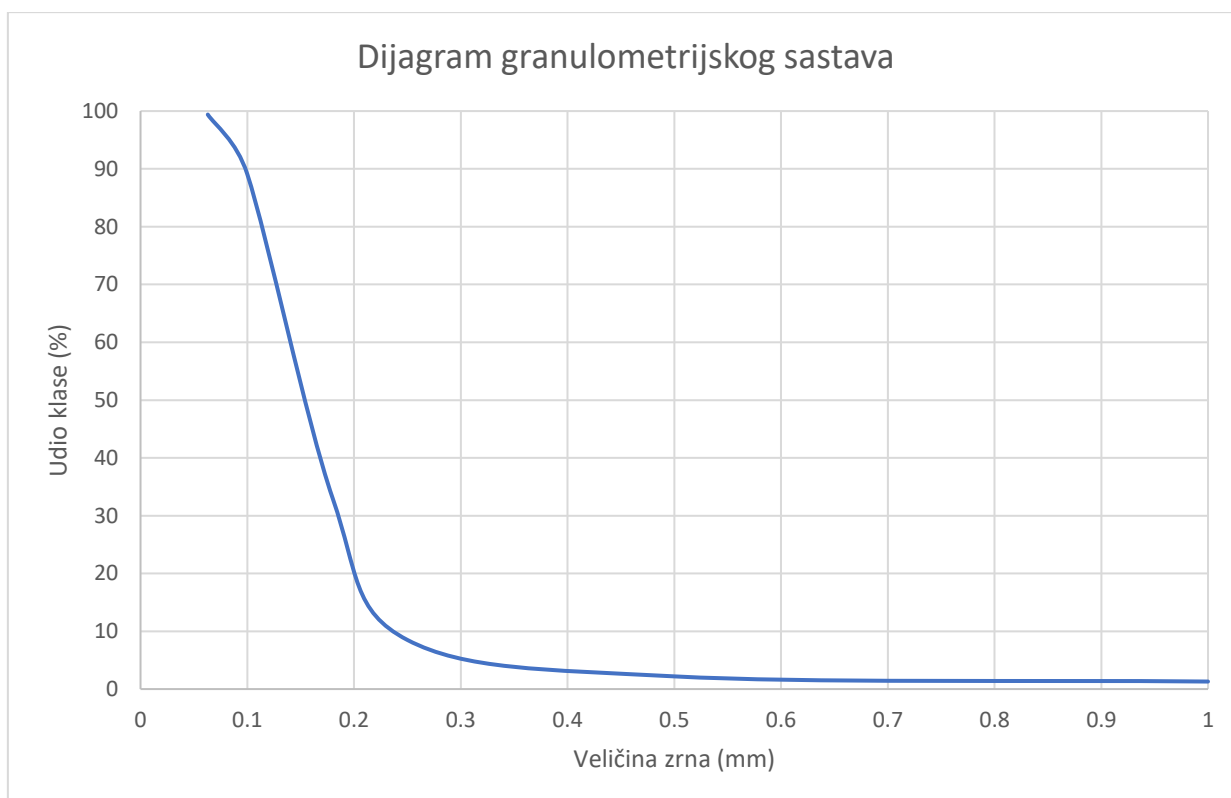


Slika 4-1 Vibracijsko sito „FRITSCH – Analysette 3“

Izdvojene klase osušene su u sušioniku pri temperaturi od 105 °C te su nakon sušenja izvagane na analitičkoj vagi „METTLER - Toledo“ preciznosti očitavanja do 0,01 g. Masena raspodjela pojedinih klasa prikazana je u tablici 4-1. Na temelju dobivenih rezultata napravljen je dijagram granulometrijskog sastava, koji je prikazan na slici 4-2. Fotografski prikaz pojedinih klasa nalazi se u tablici 4-2, a na prikazanim fotografijama mogu se raspoznati zrna kvarca (blijedo-žutkaste boje) od zrna teških minerala (tamna obojenja) te se može vidjeti kako se udio zrna teških minerala razlikuje u pojedinim klasama.








*Tablica 4-1 Rezultati granulometrijske analize ulaznog materijala (pranog kvarcnog pijeska)*

Klasa (mm)	Maseni udio		Σ (%)
	(g)	(%)	
+1	1,91	1,3	1,3
1/0,5	1,35	0,9	2,2
0,5/0,25	9,04	6,3	8,5
0,25/0,18	35,33	24,5	33,0
0,18/0,1	80,77	56,1	89,1
0,1/0,063	14,89	10,3	99,4
-0,063	0,79	0,6	100,0
Σ	144,08	100,0	



*Slika 4-2 Dijagram granulometrijskog sastava ulaznog materijala*

Tablica 4-2 Fotografski prikaz pojedinih klasa ulaznog materijala

Klasa (mm)	
+1	
1/0,5	
0,5/0,25	
0,25/0,18	
0,18/0,1	
0,1/0,063	
-0,063	



## Kemijska analiza

Kemijska analiza ulaznog uzorka napravljena je u internom kemijsko - tehnološkom laboratoriju tvrtke Kremen d.d.

Kemijska analiza napravljena je pomoću uređaja „Oxford Analytical LabX-3500 OI“, prikazanog na slici 4-3. Uređaj „Oxford Analytical LabX-3500 OI“ koristi rendgensku fluorescentnu spektroskopiju za određivanje kemijskog sastava uzorka.

Dobiveni rezultati analize kemijskog sastava ulaznog materijala predviđenog za ispitivanja prikazani su u tablici 4-3.



*Slika 4-3 Uređaj „Oxford Analytical LabX-3500 OI“*

*Tablica 4-3 Kemijski sastav ulaznog materijala (pranog kvarcnog pijeska)*

Komponenta	Maseni udio (%)
SiO <sub>2</sub>	98,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,425
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,283
TiO <sub>2</sub>	0,438
K <sub>2</sub> O	0,055

## Određivanje gustoće

Gustoća tvari, pri određenoj temperaturi definirana je kao masa tvari u jedinici volumena (gustoća=masa/volumen). U međunarodnom sustavu mjernih jedinica gustoća se izražava u kilogramima po metru kubičnom ( $\text{kg/m}^3$ ) (Bedeković i Salopek 2008). Gustoća vode je za svaku temperaturu poznata, te ona pri  $3,98\text{ }^\circ\text{C}$  iznosi  $1\text{ g/cm}^3$ . Gustoća čestica uzorka određuje se laboratorijski pomoću tzv. piknometra, male vatrostalne bočice sa šupljim staklenim čepom. Kod određivanja gustoće čestica problem je odrediti gustoću pojedine čestice što se očito ne bi moglo učiniti mjerenjem mase i volumena svake pojedine čestice u uzorku. Problem se rješava posredno: "volumen zrnaca zamijenimo jednakim volumenom vode" (Kvasnička i Domitrović 2007). Piknometar (grč.) je staklena tikvica točno određenog volumena koja služi za određivanje relativne gustoće tekućina na temelju usporedbe težina jednakih volumena nepoznate i poznate tekućine (npr. vode). Zatvara se staklenim čepom s probušenom rupom u sredini kroz koju istječe višak tekućine (Proleksis enciklopedija 2012).

Čist i suh piknometar izvažuje se analitičkom vagom ( $m_1$ ). U piknometar se stavlja uzorak te se izvažuje piknometar s uzorkom ( $m_2$ ). Zatim se u piknometar s uzorkom ulijeva destilirana voda. Kapilarni dio čepa u potpunosti mora biti ispunjen vodom kako bismo bili sigurni da u piknometru nije preostalo nimalo zraka. Da bi izašli mjehurići zraka piknometar se protrese. Vaganjem se određuje masa piknometra s uzorkom i vodom ( $m_3$ ). Na kraju se u piknometar ulijeva samo voda i važe se ( $m_4$ ) (Bedeković 2008).

Gustoća uzorka određuje se preko izraza:

$$\rho_u = \frac{m}{m+p-z} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4-1)$$

gdje je:

m – masa uzorka  $m = m_2 - m_1$

p – masa piknometra s vodom ( $m_4$ )

z – masa piknometra s uzorkom i vodom ( $m_3$ )

Gustoća uzorka

$$\rho_u = \frac{42,80 - 29,45}{(42,80 - 29,45) + 79,56 - 87,85}$$
$$\rho_u = 2,64 \text{ g/cm}^3$$

## 4.2. Opis uređaja

### Koncentracijski stol

Koncentracijski stol je uređaj koji se sastoji od blago nagnute površine stola (ploče), na koju se (pri gustoći od približno 25% mas. čvrstih čestica u vodi) doziraju čestice koje su tada distribuirane i separirane preko stola uslijed gibanja stola i toka vode. Ispirna voda se distribuira uzduž koncentracijskog stola koji longitudinalno vibrira (relativno sporom kretanjem prema naprijed i brzim povratom) što uzrokuje kretanje čestica uzduž stola u smjeru gibanja koncentracijskog stola. Koncentracijski stolovi na sebi imaju „žlijebove“ koji su uglavnom paralelni s uzdužnom osi stola, te se postupno snižavaju od mjesta ulaza materijala prema suprotnom kraju koncentracijskog stola. Prilikom takvog gibanja i strujanja vode, čestice su izložene dvijema silama (jednoj uslijed gibanja stola i jednoj uslijed strujanja vode) čija rezultanta uzrokuje kretanje čestica dijagonalno preko koncentracijskog stola. Separacijski nož na kraju koncentracijskog stola omogućuje separaciju ulaznog materijala u dvije frakcije: tešku frakciju i laku frakciju. U većini slučajeva, linija separacije je jasno vidljiva golim okom na samom koncentracijskom stolu, tako da je separacijski rez lako podesiv.

Separacija na koncentracijskom stolu može se kontrolirati i podešavati raznim varijablama, kao što su protok ispirne vode, gustoća pulpe i nagib koncentracijskog stola. Za efikasno separiranje bitan je granulometrijski sastav ulaznog materijala. Ukoliko je u ulazu prisutan širok raspon veličina čestica, separacija neće biti učinkovita. To se u praksi postiže upotrebom hidroklasifikatora.

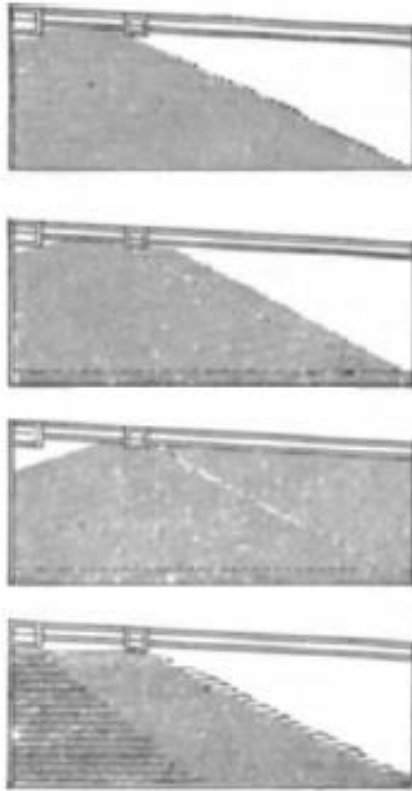
Stolovi kojima je veličina ulaza u rasponu od 3 mm do 100  $\mu\text{m}$  često se nazivaju „stolovi za pijesak“. Kapacitet koncentracijskih stolova varira ovisno o veličini čestica ulaznog materijala i kriterijima separacije; mogu doseći kapacitet od 2 t/h (čestica pijeska veličine 1,5 mm) i do oko 1 t/h finog pijeska. Sitnije čestice ulaznog materijala zahtjevaju veću brzinu i kraću duljinu longitudinalnih kretanja stola (Finch i Wills 2016).

Koncentracijski stolovi primarno se koriste za separaciju minerala kositra, željeza, tantala, barija, titanija, cirkonija, te (rijeđe) zlata, srebra, torija i uranija. U novije vrijeme koriste se za izdvajanje vrijednih metala prilikom recikliranja elektroničkog otpada (Finch i Wills 2016).

Wilfley koncentracijski stol, najpopularniji je od niza koncentracijskih stolova (prema Fuerstenau i Han 2003), a sastoji se od pravokutne ploče s užljebljenjima i pogonskog uređaja, a nagib ploče je promjenjiv (ovisno o potrebama separacije) (Bedeković i Salopek 2010). Gibanje stola je asimetrično, jer kada bi u oba smjera kretnje stola bile primjenjivane iste sile, materijal bi se na koncentracijskom stolu kretao jednakim pomacima naprijed – nazad (zapravo bi manje-više ostao na istom mjestu, odnosno ne bi bilo longitudinalnog kretanja materijala). Asimetrično gibanje česticama materijala predaje kinetičku energiju, pomoću koje se one kreću duž uzdužne osi stola (longitudinalno). Uslijed strujanja vode, čestice materijala kreću se niz nagib koncentracijskog stola (poprečno). Strujanje vode pojedinu česticu prenosi preko žlijeba i prenosi u slijedeći žlijeb, i na taj način se materijal kreće žlijeb po žlijeb niz nagib stola, dok ne dođe do izlaza sa ploče koncentracijskog stola. Čestice koje su u kontaktu s površinom koncentracijskog stola kreću se duž osi stola kao rezultat gibanja stola (Pryor 1965).

Na čestice manje gustoće i manjih dimenzija veći utjecaj ima strujanje vode, dok na one veće gustoće i dimenzija veći utjecaj ima gibanje koncentracijskog stola. Na taj način se sitne i lakše čestice “prelijevaju” preko žljebova i ulaze u laku frakciju, dok se one teže i veće kreću duž žljebova i završavaju u teškoj frakciji. Među dvijema česticama iste gustoće, ona većih dimenzija kretat će se brže. Razlika u gustoći i masi između čestica teške i lake frakcije određuje raspon veličine čestica potreban za efikasno separiranje.

Postoji čitav niz rasporeda žljebova na koncentracijskim stolovima, a neki od njih prikazani su na slici 4-4.



*Slika 4-4 Različiti raspored žlijebova na koncentracijskom stolu (Pryor 1965)*

Prilikom odabira koncentracijskog stola, treba u obzir uzeti slijedeće značajke (Pryor 1965):

- tip žlijebova
- materijal od kojega je načinjena površina koncentracijskog stola
- brzina gibanja koncentracijskog stola
- način doziranja

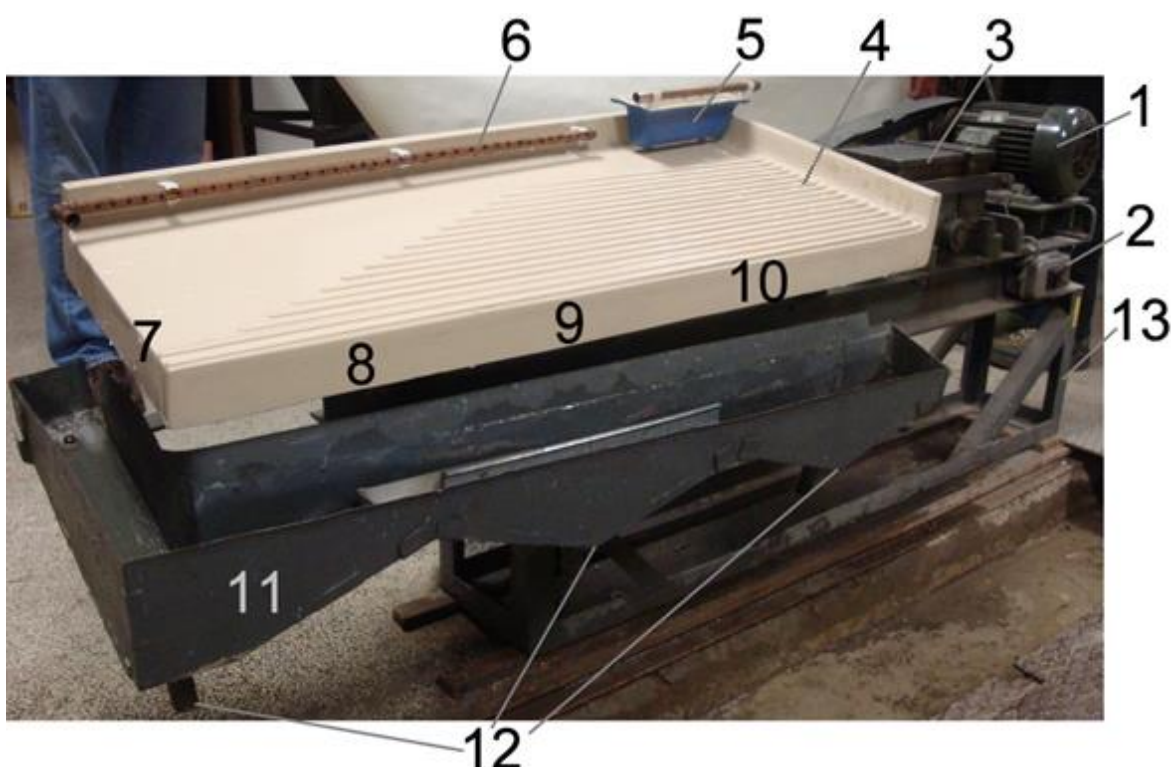
Prilikom korištenja koncentracijskog stola, treba nadgledati slijedeće parametre (Pryor 1965):

- kretanje materijala preko koncentracijskog stola
- omjer čvrstih čestica i tekućine u doznoj kutiji
- protok ispirne vode
- poziciju separacijskog noža

Za optimalan rad koncentracijskog stola, dotok materijala i vode na koncentracijski stol mora biti ujednačen i konstantan (Gupta i Yan 2016).

Ispitivanja na koncentracijskom stolu u sklopu ovog rada izvođena su na koncentracijskom stolu tipa Wilfley (slika 4-5) u Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša, Rudarsko–geološko-naftnog fakulteta.

Koncentracijski stol Wilfley sastoji se od pravokutne ploče i uređaja za pogon. Ploča je užljebljena, a njezin poprečni nagib može se mijenjati. Uređaj za pogon omogućava asimetrično gibanje ploče tijekom kojeg dolazi do stratifikacije materijala na ploči (Bedeković i Salopek 2010).



*Slika 4-5 Dijelovi koncentracijskog stola Wilfley (Bedeković i Salopek 2010)*

gdje je:

- 1 – elektromotor
- 2 – prekidač elektromotora
- 3 – mehanizam asimetričnog gibanja
- 4 – žljebovi
- 5 – ulaz materijala
- 6 – cijev za dotok ispirne vode
- 7 – izlaz „teške“ frakcije
- 8 – izlaz međuprodukta
- 9 – izlaz „lake“ frakcije
- 10 – izlaz mulja
- 11 – kanal za prihvat produkata
- 12 – izlazi produkata
- 13 – postolja koncentracijskog stola

## Spiralni žlijeb (Humphreys-ova spirala)

Humphreysova spirala se sastoji od uglavnom od 4 do 5 zavoja, a spirale koje se koriste za separaciju ugljena i nemetala imaju 6 zavoja i nešto blaži nagib. Suspenzija se dozira na spiralni žlijeb na vrhu spirale, te dalje teče pod utjecajem gravitacije. Separacija se može potpomognuti uvođenjem dodatne, ispirne vode. Ispirna voda teče uz unutarnji rub poprečnog presjeka, te otječe u odvođe za ispirnu vodu na unutarnjem dijelu spirale. Otvori za ispirnu vodu su ili zatvoreni pomoću ravnih diskova ili pomoću polu-diskova za odignutim „krilcima“, koja se mogu prilagoditi prema tome koji dio unutarnjeg dijela suspenzije se želi izdvojiti u odvođe za ispirnu vodu (i dio čestica koji se kreće po unutarnjem radijusu) (Pryor 1965). Ispirna voda se uvodi kako bi potpomogla ispiranje lakših čestica niz spiralu (Finch i Wills 2016).

Sama separacija na spiralnom žlijebu se odvija uslijed kombinacije centrifugalne sile, gravitacijske sile i hidrodinamičke sile (djelovanja toka vode). Pod djelovanjem navedenih sila, teže i veće čestice ostaju bliže središtu spirale – bliže unutarnjem radijusu, dok se lagane i sitnije čestice kreću bliže vanjskom radijusu i djelomično se uzdižu na zakrivljene rubove (poprečnog presjeka) (Pryor 1965). Do stratifikacije materijala u vertikalnom smjeru dolazi uslijed ometanog taloženja, pornog strujanja čestica i Bangnoldove sile (Bedeković i Salopek 2010).

Gustoća suspenzije bi se trebala kretati između 20 % i 30 %, osim kada se separiraju sitnije čestice (tada je gustoća suspenzije manja) ili krupni materijal (tada je gustoća veća – čak do 50 % mase) (Pryor 1965). Gustoća suspenzije na ulazu u spiralu varira od 15 % (maseno) do 45 %, a veličina čestica koje se mogu pomoću nje separirati se kreće od 3 mm do 75  $\mu\text{m}$ . Ovisno o izvedbiumjesto otvora za tešku frakciju, spiralni žlijeb može na dnu imati separacijski nož koji odvaja tešku i laku frakciju (moguće i međuprodukt). Spiralni žlijebovi se izrađuju s nagibima različitih kuteva, ovisno o specifičnoj težini materijala koji se separira. Blagi nagibi se koriste npr. pri separaciji glinenih škriljavaca i ugljena, dok se strmiji nagibi koriste kod separacije "teških" minerala i kvarca. Kapacitet spiralnih žlijebova varira između 1 i 3 t/h na spiralama blagog nagiba, dok je kod spirala strmijih nagiba taj iznosu dvostruko veći (Finch i Wills 2016).

Humphreysove spirale se često koriste u svrhu izdvajanja teških minerala, poput cirkonija, kositra, rutila, kromita i sl., iz pijesaka (Pryor 1965).

U praksi, prilikom separacije spiralnim žlijebom, potrebno je činiti nekoliko „čišćenja“ da bi se postigao željeni rezultat separacije.

Moderni spiralni žlijebovi imaju niz prednosti: jednostavna konstrukcija, jednostavno održavanje, niski ulagački troškovi i niski troškovi rada (nisu potrebni reagensi, niski gubici i mali broj potrebnog osoblja) (Gupta i Yan 2016).

Ispitivanja na spiralnom žlijebu u sklopu ovog rada izvođena su na spiralnom žlijebu Humphreys u Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša, Rudarsko – geološko – naftnog fakulteta.

Spiralni žlijeb Humphreys sastoji se od 18 jednakih segmenata (6 zavoja) spojenih u žlijeb širine 17 cm (tri segmenta čine jedan okret), 18 izlaza za tešku frakciju, bunkera za doziranje suspenzije. Dužina 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. Spiralni žlijeb Humphreys prikazan je na slici 4-6, a njegov shematski prikaz na slici 4-7 (Bedeković i Salopek 2010). Na slici 4-8 prikazan je shematski prikaz poprečnog presjeka spiralnog žlijeba i raspored zrna različite gustoće u njemu.



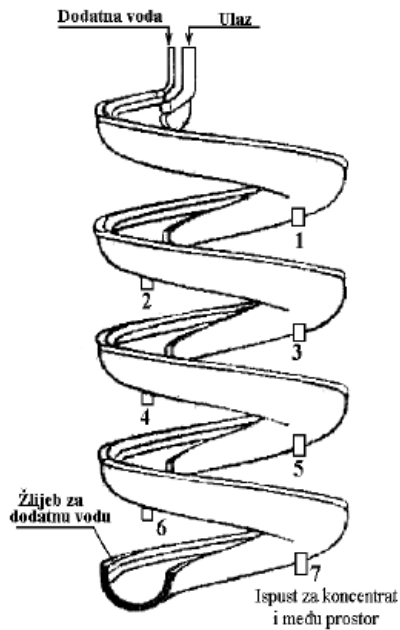


*Slika 4-6 Spiralni žlijeb Humphreys (Bedeković i Salopek 2010)*

gdje je:

1 – posuda za ulaz materijala

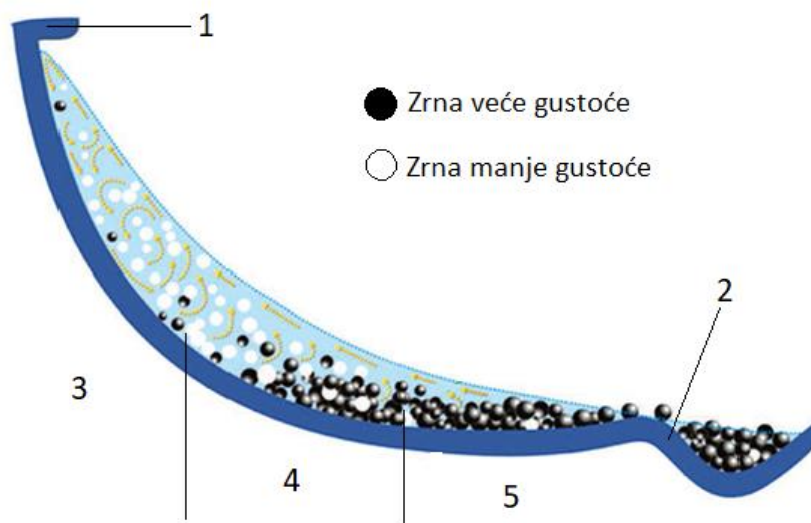
2 – žlijeb



Slika 4-7 Shematski prikaz spiralnog žlijeba Humphreys (Bedeković i Salopek 2010)

gdje je:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – ispusti za „tešku“ frakciju



Slika 4-8 Poprečni presjek spiralnog žlijeba (Anderson et al 2014)

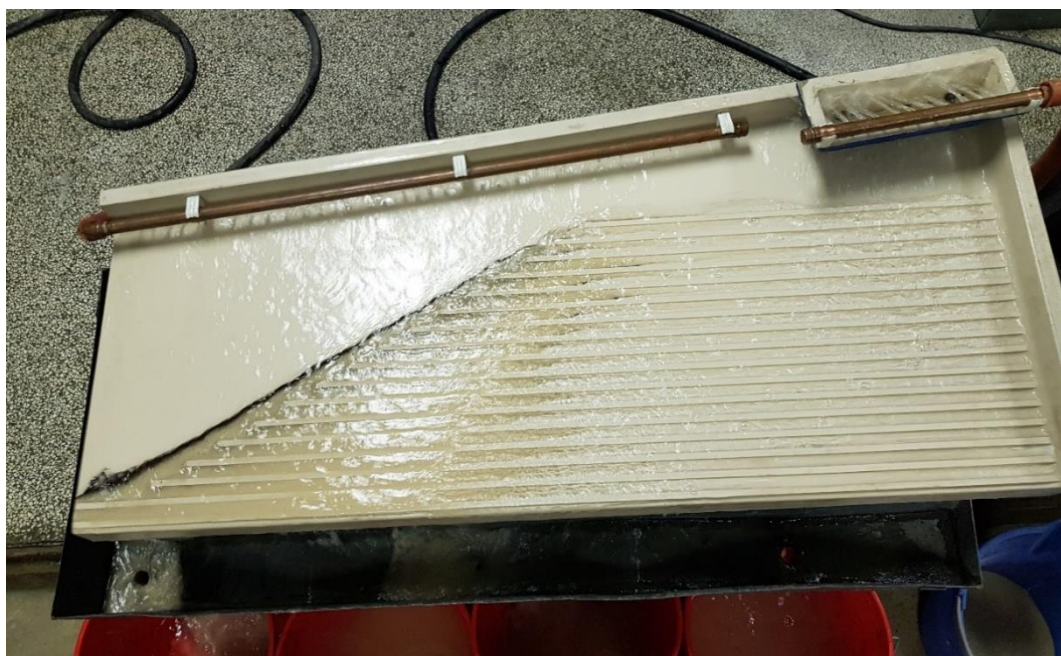
gdje je:

- 1 – vanjski radijus
- 2 – unutarnji radijus
- 3 – „laka“ frakcija
- 4 – međuprodukt
- 5 – „teška“ frakcija

### 4.3. Rezultati i diskusija

#### Koncentracijski stol

Provedeno je ispitivanje separacije na koncentracijskom stolu na temelju 6 uzoraka. Svaki uzorak bio je mase 1,0 kg. Provedeno je ispitivanje pri nagibima koncentracijskog stola u iznosu od 3°, 6° i 9°. Kod svakog nagiba rađeno je ispitivanje s ciljem dobivanja što čisteg koncentrata (I. set ispitivanja), te ispitivanje s ciljem povećanja masenog iskorištenja korisne komponente (II. set ispitivanja). Na slici 4-9. prikazano je provođenje ispitivanja na koncentracijskom stolu. Na slici se vidi i golim okom kako je došlo do razdvajanja „teške“ frakcije (tamnog obojenja) od „lake“ frakcije (pijesak svjetle boje). Prilikom provođenja prvog (I.) seta ispitivanja uzet je uzorak koncentrata kako bi se mogla provesti kemijska analiza istoga. Masa cjelokupnog koncentrata (lake frakcije) nije izvagana, nego je izračunata indirektno oduzimanjem mase teške frakcije (nekorisne komponente) od mase ulaznog materijala, pa nije bilo moguće odrediti gubitke materijala. U izraženu masu lake frakcije uključen je i eventualni maseni gubitak materijala. Protok glavne (dozirne) vode iznosio je 9,8 l/min, a protok ispirne vode 5,4 l/min.



*Slika 4-9 Ispitivanje na koncentracijskom stolu*

U tablici 4-4 prikazane su vrijednosti dobivenih rezultata za svako od provedenih ispitivanja na koncentracijskom stolu, i pripadajući tehnološki pokazatelji uspješnosti koncentracije.

Tablica 4-4 Rezultati ispitivanja – koncentracijski stol

	I. set			II. set		
	3°	6°	9°	3°	6°	9°
Masa lake frakcije (g)	715*	644*	797*	751	790	875
Masa teške frakcije (g)	285	356	203	139	166	99
Gubitak (g)	-	-	-	110	44	26
Maseno iskorištenje - $I_m$ (%)	71,5	64,4	79,9	75,1	79,0	87,5
Kvaliteta koncentrata – k (%)	99,26	99,15	99,05	98,88	98,95	98,71
Iskorištenje korisne komponente u koncentratu - $I_k$ (%)	71,98	64,76	80,06	75,31	79,28	87,59

\*vrijednost dobivena izračunom, ne mjerenjem

Maseno iskorištenje  $I_m$  dobiva se prema formuli:

$$I_m = 100 \frac{K}{U} (\%) \quad (1-2)$$

gdje su: K – masa koncentrata (kg)

U – masa ulaza (kg)

U dijagramu na slici 4-10 prikazane su vrijednosti masenog iskorištenja za sva provedena ispitivanja.

Kvaliteta koncentrata k može se dobiti prema formuli:

$$k = 100 \frac{m_k}{K} (\%) \quad (4-3)$$

Gdje su:  $m_k$  – masa korisne komponente u koncentratu (kg)

K – masa koncentrata (kg)

Kvaliteta koncentrata može se definirati kao postotni sadržaj korisne komponente, u ovom slučaju SiO<sub>2</sub>, u koncentratu (krajnjem proizvodu). U dijagramu na slici 4-11 prikazane su vrijednosti kvalitete koncentrata provedenih ispitivanja, dobivene laboratorijskim ispitivanjem kemijskog sastava pomoću uređaja Oxford Analytical LabX-3500 OI u kemijsko tehnološkom laboratoriju tvrtke „Kremen d.d.“.

Iskorištenje korisne komponente u koncentratu može se definirati kao odnos korisne komponente u koncentratu i korisne komponente u ulazu.

Iskorištenje korisne komponente dobiva se prema formuli:

$$I_k = 100 \frac{K \cdot k}{U \cdot u} (\%) \quad (4-4)$$

gdje su:

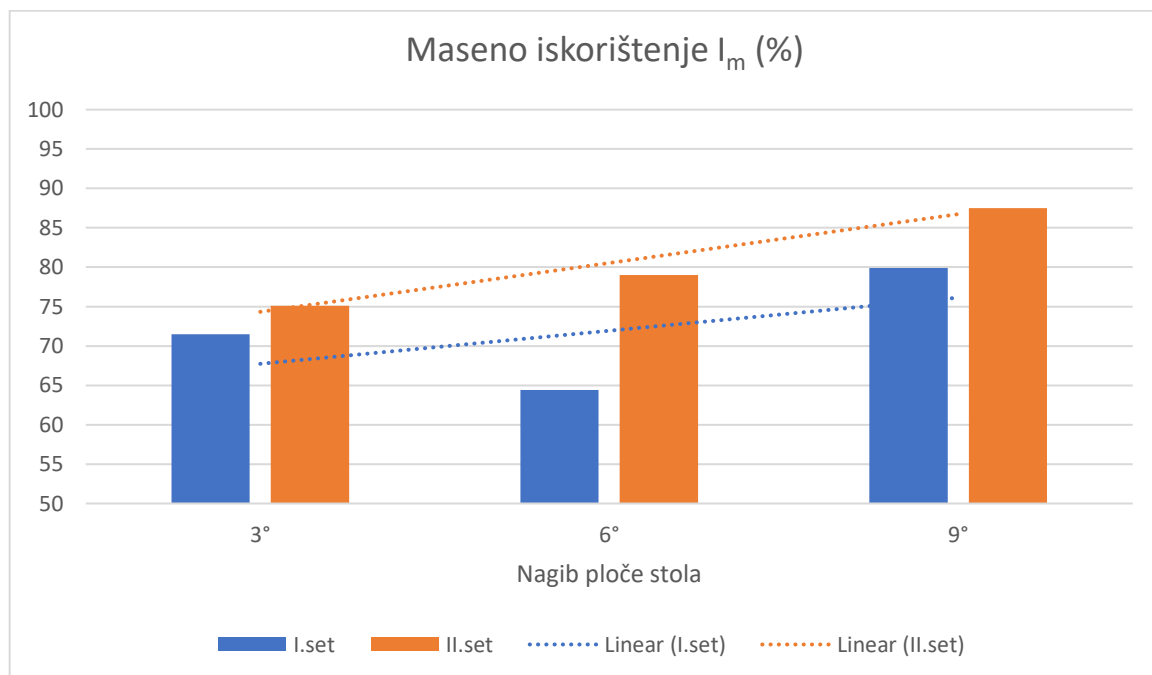
K – masa koncentrata (kg)

k – kvaliteta koncentrata (%)

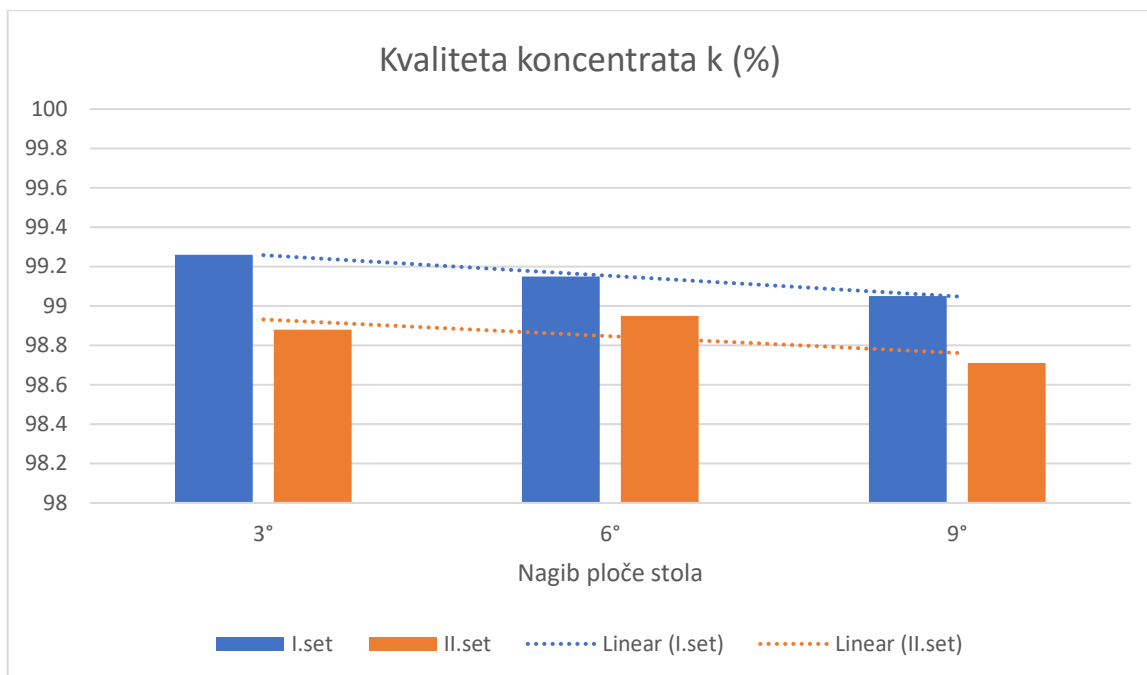
U – masa ulaza (kg)

u – postotni sadržaj korisne komponente u ulazu (%)

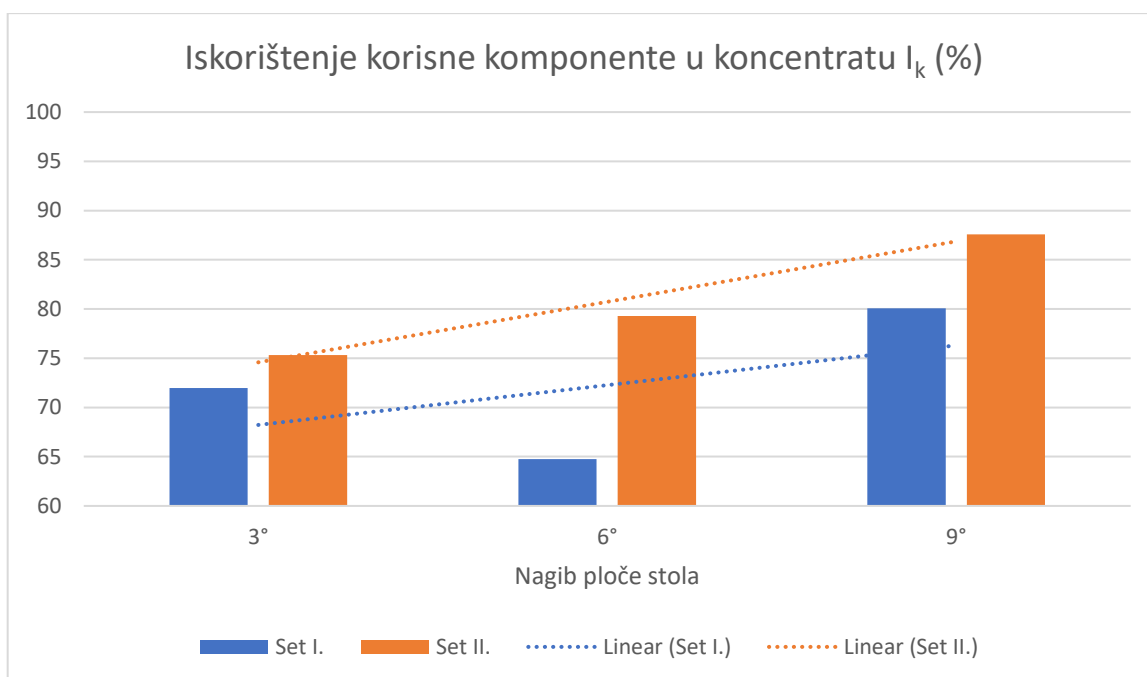
U dijagramu na slici 4-12 prikazane su dobivene vrijednosti iskorištenja korisne komponente koncentrata za provedena istraživanja.



Slika 4-10 Maseno iskorištenje – koncentracijski stol



Slika 4-11 Kvaliteta koncentrata – koncentracijski stol



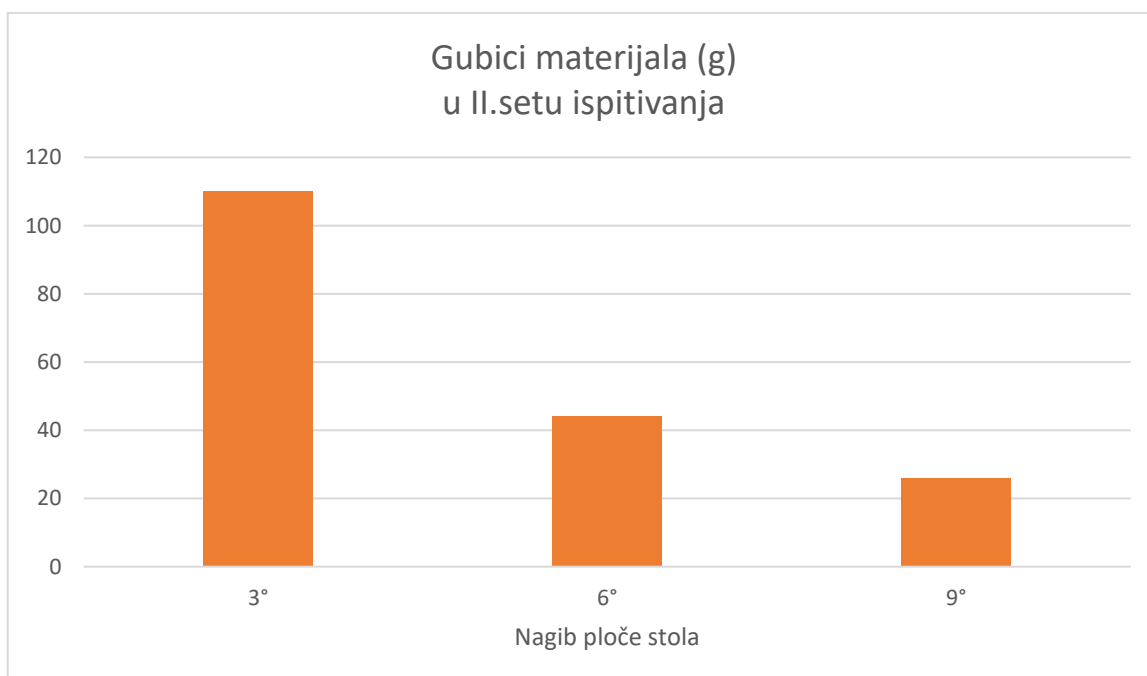
Slika 4-12 Iskorištenje korisne komponente u koncentratu – koncentracijski stol

Iz prikazanih vrijednosti masenog iskorištenja i iskorištenja korisne komponente, vidljivo je kako vrijednosti dobivene u drugom (II.) setu ispitivanja prate linearni trend (rasta ili pada) u koji se uklapaju i vrijednosti dobivene u ispitivanjima s nagibima 3° i 9° prvog (I.) seta ispitivanja. Iz toga se može naslutiti da se prilikom izvođenja ispitivanja pri nagibu

koncentracijskog stola u iznosu od 6° u prvom setu ispitivanja napravila greška pri izvođenju testa ili u vaganju ili izračunu mase finalnih produkata, koji se odražavaju na pokazatelje kvalitete separacije.

S obzirom na to da je cilj prvog seta ispitivanja bio dobiti što čišći koncentrat (bez obzira na masu koncentrata, odnosno iskorištenje), da bi se kasnije kvaliteta koncentrata mogla usporediti s drugim setom, gdje je u cilju bilo postići što veće maseno iskorištenje, ovi rezultati neće biti izuzeti iz daljnjeg razmatranja.

U drugom (II.) setu ispitivanja zasebno su vagane laka i teška frakcija, stoga su se mogli izračunati i gubici materijala. Iznosi gubitaka materijala prikazani su na slici 4-13. Iznosi gubitaka djelomično se mogu pripisati izvedbi koncentracijskog stola Laboratorija za oplemenjivanje mineralne sirovine i zaštitu okoliša, na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, gdje su ispitivanja provođena, jer se posude na ispustima za frakcije, u koje se pohranjuje materijal, u nekoliko navrata moraju mijenjati, te dijelom (ne)spretnosti izvoditelja testa pri prihvaćanju uzorka tijekom testa i manipuliranju uzetim uzorcima nakon izvođenja testa u svrhu analiziranja uzoraka. U industrijskim, pogonskim uvjetima, veći dio materijala s koncentracijskog stola odlazi u daljnji proces oplemenjivanja (ostvaruju se manji gubici).



*Slika 4-13 Gubici materijala – koncentracijski stol*

Tablica 4-5 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska ("lake" frakcije)

Komponenta	Maseni udio (%)						
	Uvjeti kvalitete	I.set			II.set		
		3°	6°	9°	3°	6°	9°
SiO <sub>2</sub>	98,5	99,26	99,15	99,05	98,88	98,95	98,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	0,094	0,116	0,134	0,189	0,165	0,240
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,60	0,309	0,298	0,397	0,408	0,403	0,430
TiO <sub>2</sub>	0,22	0,098	0,196	0,168	0,278	0,236	0,373
K <sub>2</sub> O	0,08	0,043	0,041	0,048	0,048	0,046	0,051

Iz tablice 4-5 koja prikazuje rezultate kemijske analize koncentrata („lake“ frakcije) vidljivo je da koncentrat dobiveni ispitivanjima provedenim u drugom (II.) setu prilikom sva tri nagiba koncentracijskog stola, po svom kemijskom sastavu ne zadovoljavaju uvjete kvalitete konačnih produkata, jer sadrže veći postotni sadržaj željezovog (III) oksida i titanijevog dioksida. U prvom setu ispitivanja, rezultati sva tri provedena ispitivanja zadovoljavaju uvjete kvalitete.

Iako drugi (II.) set ispitivanja ne zadovoljava uvjete kvalitete, iz rezultata se može vidjeti da su gubici sve manji s povećanjem nagiba koncentracijskog stola, te su isti prilikom nagiba u iznosu od 9° iznosili 2,6%.

Iz dobivenih rezultata kemijske analize i pokazatelja kvalitete separacije može se vidjeti da, unatoč padu kvalitete koncentrata, s povećanjem nagiba koncentracijskog stola rastu maseno iskorištenje i iskorištenje korisne komponente u koncentratu, dok su količine štetnih komponenti u koncentratu ispod dopuštenih količina (osim Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i TiO<sub>2</sub> u II setu ispitivanja), a količina korisne komponente (SiO<sub>2</sub>) je iznad minimalne dopuštene količine.



## Spiralni žlijeb (Humphreys-ova spirala)

Provedeno je ispitivanje na spiralnom žlijebu na 4 uzorka mase 4,0 kg. Prilikom prvog, „probnog“ ispitivanja u svrhu inicijalnog podešavanja parametara, prva 3 otvora na spiralnom žlijebu bila su otvorena a druga tri zatvorena. Prilikom izvođenja prvog ispitivanja bilo je vidljivo golim okom da u ispust za tešku frakciju odlazi previše korisne komponente, što se moglo vidjeti i u finalnim produktima (slika 4-16 i slika 4-17). Stoga je odlučeno u preostalim ispitivanjima zatvoriti sve otvore, kako bi se pijesku „dalo dovoljno vremena“ da se stratificira, te na taj način omogućiti da se pri dnu spiralnog žlijeba odvoji teška frakcija od lake frakcije. Ostala ispitivanja provedena su na način da su po dvije varijable držane konstantnim a vrijednost treće je promijenjena, što je vidljivo u tablici 4-6. Na slikama 4-14 i 4-15 prikazano je provođenje ispitivanja na spiralnom žlijebu.



*Slika 4-14 Ispitivanje na spiralnom žlijebu – bliži prikaz*



*Slika 4-15 Ispitivanje na spiralnom žlijebu*



*Slika 4-16 „Laka frakcija“ (1. test)*



*Slika 4-17 „Teška“ frakcija (1. test)*

U tablici 4-6 prikazani su podešeni parametri pri izvođenju sva četiri ispitivanja na spiralnom žlijebu. U tablici 4-7 prikazane su vrijednosti dobivenih rezultata za svako od provedenih ispitivanja na spiralnom žlijebu i pripadajući tehnološki pokazatelji uspješnosti koncentracije.

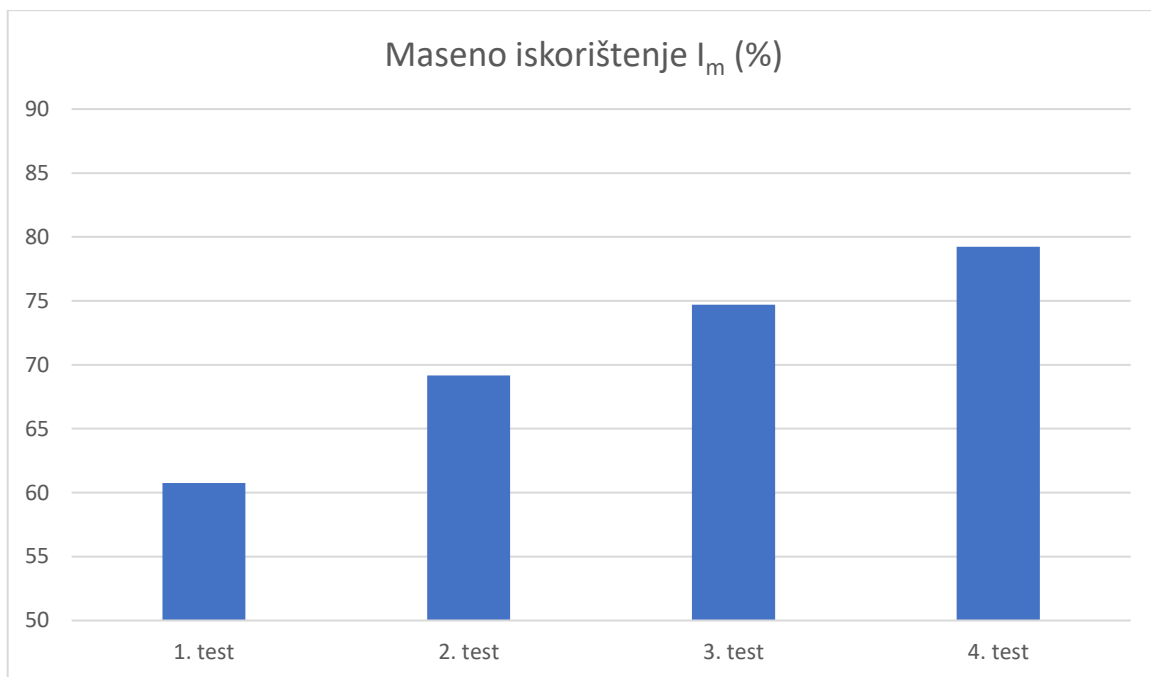
Dijagrami na slikama 4-18, 4-19, 4-20 prikazuju tehnološke pokazatelje uspješnosti koncentracije. Maseno iskorištenje i iskorištenje korisne komponente u koncentratu izračunati su prema formulama korištenima u prethodnom potpoglavlju (formule 4-2 i 4-4). Kvaliteta koncentrata (slika 4-19) utvrđena je iz rezultata kemijskom analizom provedenom u kemijsko-tehnološkom laboratoriju tvrtke „Kremen d.d.“.

*Tablica 4-6 Parametri ispitivanja na spiralnom žlijebu*

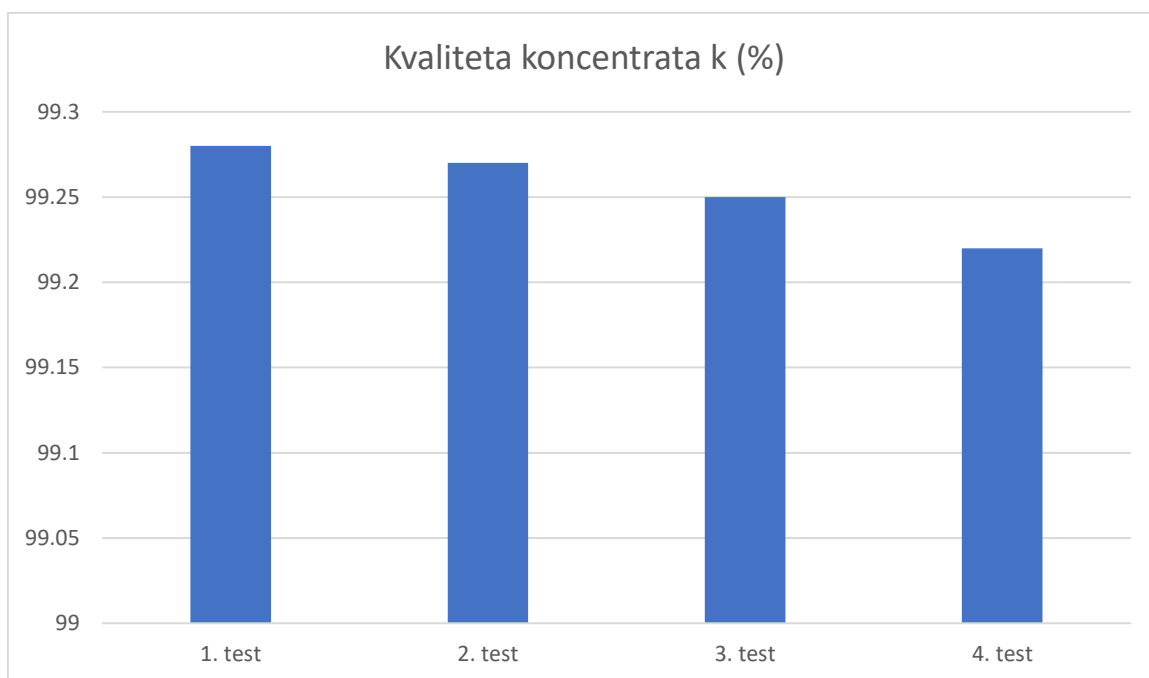
	1.*	2.	3.	4.
Vrijeme stratifikacije (s)	1028	485	245	240
Protok glavne vode (l/min)	2,3	2,3	2,5	2,5
Protok ispirne vode (l/min)	4,7	4,7	4,7	9,5
Gustoća suspenzije (mas.% čvrstih čestica)	9,22	17,72	28,15	28,57

*Tablica 4-7 Rezultati ispitivanja na spiralnom žlijebu*

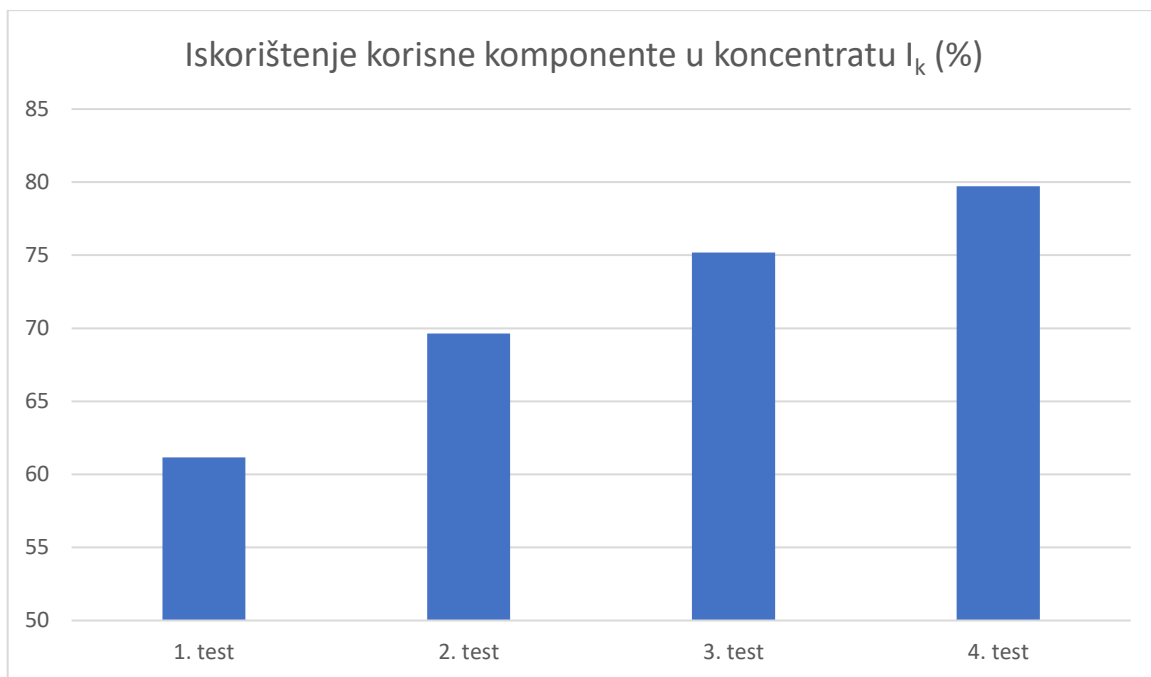
	1.*	2.	3.	4.
Laka frakcija (g)	2430	2767	2988	3169
Teška frakcija (g)	1469	1180	968	781
Gubici (g)	101	53	44	50
Maseno iskorištenje $I_m$ (%)	60,75	69,17	74,70	79,23
Kvaliteta koncentrata – k (%)	99,28	99,27	99,25	99,22
Iskorištenje korisne komponente u koncentratu - $I_k$ (%)	61,17	69,64	75,19	79,72



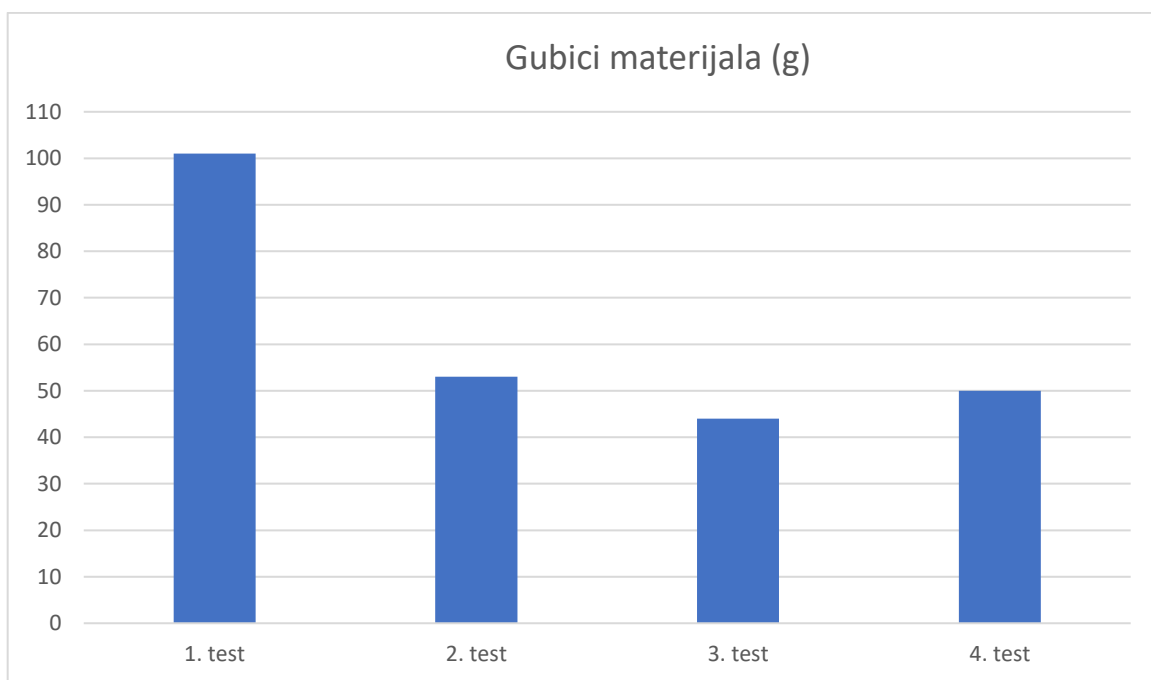
*Slika 4-18 Maseno iskorištenje – spiralni žlijeb*



*Slika 4-19 Kvaliteta koncentrata – spiralni žlijeb*



*slika 4-20 Iskorištenje korisne komponente u koncentratu – spiralni žlijeb*



*Slika 4-21 Gubici materijala – spiralni žlijeb*

U dijagramu na slici 4-21 prikazani su maseni gubici izraženi u gramima za sva četiri ispitivanja. Može se primjetiti kako povećanjem gustoće suspenzije (kraćim vremenom stratifikacije) gubici materijala naglo padaju. Gubici se djelomično mogu pripisati istom

problemu kao i kod koncentracijskog stola – rukovanju pri zamjeni posuda u koje se materijal pohranjuje i rukovanju samim uzorcima. Kako je prilikom veće gustoće suspenzije prisutna manja količina vode, posude je potrebno manji broj puta mijenjati.

U tablici 4-8 prikazani su rezultati kemijske analize lake frakcije, napravljeni u već spomenutom internom tehničko-tehnološkom laboratoriju tvrtke Kremen d.d. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da svi testirani uzorci, odnosno koncentracije svih provedenih ispitivanja, prema svojem kemijskom sastavu zadovoljavaju uvjete kvalitete potrebne za plasiranje na tržište.

*Tablica 4-8 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska ("lake" frakcije)*

Komponenta	Maseni udio (%)				
	Uvjeti kvalitete	1. test	2. test	3. test	4. test
SiO <sub>2</sub>	min. 98,50	99,28	99,27	99,25	99,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 0,15	0,077	0,082	0,084	0,083
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 0,60	0,345	0,337	0,355	0,374
TiO <sub>2</sub>	max. 0,22	0,057	0,069	0,076	0,082
K <sub>2</sub> O	max. 0,08	0,040	0,039	0,039	0,040

Iz rezultata kemijske analize i tehnoloških pokazatelja uspješnosti koncentracije, može se vidjeti da s povećanjem protoka ispirne vode i gustoće suspenzije koncentrat neznatno gubi na kvaliteti, dok se maseno iskorištenje i iskorištenje korisne komponente u koncentratu znatno povećavaju. Također, povećanjem gustoće suspenzije smanjuje se vrijeme trajanja separacije (vrijeme stratifikacije), koje u slučaju implementacije sustava u industrijski pogon igra značajnu ulogu zbog velikih količina materijala koji je potrebno separirati. Nadalje, s povećanjem gustoće suspenzije, gubici se znatno smanjuju (čak do preko 50%).

## 5. Zaključak

U ovom radu ispitivana je mogućnost oplemenjivanja kvarcnog pijeska metodama gravitacijske koncentracije (spiralnim žlijebom i koncentracijskim stolom), kao moguća alternativa koncentraciji flotacijom u oplemenjivačkom pogonu „Ravno“ tvrtke „Kremen d.d.“.

Istraživanja provedena na koncentracijskom stolu i spiralnom žlijebu su pokazala da je moguće zamijeniti flotaciju gravitacijskom koncentracijom. Kada se u obzir uzmu sva napravljena ispitivanja, najuspješnijim se pokazao 4. test gravitacijske koncentracije na spiralnom žlijebu (gustoća suspenzije tj. maseni udio čvrstih čestica – 28,57 %; protok glavne vode – 2,5 l/min; protok ispirne vode – 9,5 l/min) jer je uz relativno male gubitke, relativno veliko maseno iskorištenje i iskorištenje korisne komponente u koncentratu dobiven koncentrat dovoljno kvalitetnog kemijskog sastava za plasiranje na tržište.

Unatoč tome što spiralni žlijeb Laboratorija za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, nije prvenstveno namjenjen za koncentraciju pijeska, nego ugljena, dobiveni su kvalitetni rezultati. U slučaju zamjene koncentracije flotacijom s gravitacijskom koncentracijom na spiralnom žlijebu, bilo bi potrebno napraviti dodatna ispitivanja, i to na spiralnom žlijebu optimalne konstrukcije za koncentraciju kvarcnog pijeska, te precizno namjestiti separacijski nož i sve ostale radne parametre. Ispitivanja na koncentracijskom stolu pokazala su da prilikom povećanja masenog iskorištenja u koncentratu ostaje preveliki sadržaj teških primjesa,  $TiO_2$  i  $Fe_2O_3$ .

Zamjenom koncentracije kvarcnog pijeska flotacijom s gravitacijskom koncentracijom na spiralnom žlijebu mogu se postići visoke kvalitete koncentrata, uz znatno smanjenje troškova, prvenstveno zbog izostanka nabave skupih flotacijskih reagenasa. Nadalje, manji je utrošak energije, jer prilikom korištenja spiralnog žlijeba, taj se utrošak svodi na potrošnju energije potrebne za rad crpke za dovod vode odnosno suspenzije na vrh spirale. U slučaju koncentracijskog stola, uz energiju potrebnu za rad crpke potrebna je i energija za pokretanje elektromotora koncentracijskog stola.

## 6. Literatura

Anderson, C. G., Dunne, R. C., Uhrie, J. L., 2014. Mineral processing and extractive metallurgy: 100 years of innovation. Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration.

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

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

Ciglar, K., 1987. Elaborat o izračunu zalog kremenovega peska Novo Mesto (v nahajališčih Ravno in Prapreče), Dopolnilo po sklepih Republiške komisije za ugotavljanje rezerv rudnih in talnih voda (Republiški komite za energetiko) na 40 seji dne 16.3.1987. Ljubljana: Geološki zavod Ljubljana, D-II-30 d/4<sub>1</sub>-2/21a.

Finch, J.A., Wills, B. A., 2016. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Eighth Edition. Oxford: Elsevier.

Fuerstenau, M. C., Han K. N., 2003., Principles of mineral processing. Littleton: Society for Mining Metallurgy and Exploration.

Gupta, A., Yan, D. S., 2016. Mineral Processing Design and Operations: An Introduction. Second edition. Oxford: Elsevier.

iSlovenija, 2018. Službeni geografski informacijski sustav Slovenije. URL:

<http://www.islovenija.si/gisapp/>? (datum posjete: 30.08.2018.)

Kremen d.d., 2014. Potrdilo o kvaliteti. Interna dokumentacija.

Kremen d.d., 2017. Segregacijska shema oplemenjivačkog postrojenja u pogonu „Ravno“. Interna dokumentacija.

Kremen d.d., 2017. Usmena komunikacija.

Kremen d.d., 2018. Tehnični list za proizvod: Kremenov pesek RstF. Interna dokumentacija.

Kremen Novo Mesto, 2017. Quality and Environment. URL:

<http://www.kremen.si/en/kremen-group/> (datum posjete: 27.7.2017.)

Kremen Novo Mesto, 2008. 60 let Kremena. Novo Mesto: 500 izvodov. ISBN:978-961-238-965-9

Kvasnička, P., Domitrović, D., 2007. Mehanika tla: interna skripta. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.



Proleksis enciklopedija, 2012. Piknometar. URL: <http://proleksis.lzmk.hr/41654/> (datum posjete: 25.1.2018.)

Pryor, E. J., 1965. Mineral Processing. Third edition. Essex: Elsevier applied science publishers LTD.

Vrkljan, D., 2011. Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina: interna skripta. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Vrkljan, M., 2001. Mineralogija i petrologija: osnove i primjena. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Žmavčić, M., 1991. Kremenove sirovine ter nahajališča, uporaba in raziskave kremenovih surovin. Novo Mesto: Industrija in rudniki nekovin Kremen Novo Mesto.

# Prilozi



**KREMEN**

Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Makro Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc: +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Milna +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBASIZK, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 1.08.2018 Čas: 13:43  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: **Ulaz u sva ispitivanja**  
Datum vzorčevanja: ?  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

<b>element</b>	<b>Vsebnost</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,425 %
SiO <sub>2</sub>	98,60 %
K <sub>2</sub> O	0,055 %
TiO <sub>2</sub>	0,438 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,283 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis

Prilog 2 Rezultati kemijske analize analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 3°)




Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc. +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBASIZK, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 30.07.2018 Čas: 13:27  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: Koncentracijski stol/nagib 3°/koncentrat  
Datum vzorčevanja: 29.3.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

element	Vsebnost
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,309 %
SiO <sub>2</sub>	99,26 %
K <sub>2</sub> O	0,043 %
TiO <sub>2</sub>	0,098 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,094 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis

Prilog 3 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 6°)



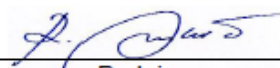
Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc. +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Milna +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBA62X, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 31.07.2018 Čas: 08:51  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: Koncentracijski stol/nagib 6°/koncentrat  
Datum vzorčevanja: 29.3.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

element	Vsebnost
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,298 %
SiO <sub>2</sub>	99,15 %
K <sub>2</sub> O	0,041 %
TiO <sub>2</sub>	0,196 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,116 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis

Prilog 4 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 9°)



Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc.: +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač.: +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Rakta) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLS U SWIFT: LJBASIZK, IBAN: SI55029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 31.07.2018 Čas: 13:02  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: Koncentracijski stol/nagib 9°/koncentrat  
Datum vzorčevanja: 29.3.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

<b>element</b>	<b>Vsebnost</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,397 %
SiO <sub>2</sub>	99,05 %
K <sub>2</sub> O	0,048 %
TiO <sub>2</sub>	0,168 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,134 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis

*Prilog 5 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 3°, povečanje iskorištenja korisne komponente)*



**KREMEN**

Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc. +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Milna +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLE U SWIFT: LJBASIZK, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 18.6.2018 Čas: 7:36  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: **Konc. Stol/povečanje isk./3° nagib**  
Datum vzorčevanja: 5.4.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

<b>element</b>	<b>Vsebnost</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,408 %
SiO <sub>2</sub>	98,88 %
K <sub>2</sub> O	0,048 %
TiO <sub>2</sub>	0,278 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,189 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis

*Prilog 6 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 6°, povećanje iskorištenja korisne komponente)*



**KREMEN**


Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc. +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBSI2X, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 18.6.2018 Čas: 9:39  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: **Konc. Stol/povećanje isk./6° nagib**  
Datum vzorčevanja: 5.4.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

<b>element</b>	<b>Vsebnost</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,403 %
SiO <sub>2</sub>	98,95 %
K <sub>2</sub> O	0,046 %
TiO <sub>2</sub>	0,236 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,165 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis



*Prilog 7 Rezultati kemijske analize koncentrata kvarcnog pijeska (koncentracijski stol, nagib 9°, povečanje iskorištenja korisne komponente)*



**KREMEN**

Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc: +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač: +386 (7) 39 33 202, 39 33 209  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravnò (Rakta) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBASIZK, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 19.6.2018 Čas: 7:39  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: **Konc. Stol/povečanje isk./9° nagib**  
Datum vzorčevanja: 5.4.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

<b>element</b>	<b>Vsebnost</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,430 %
SiO <sub>2</sub>	98,71 %
K <sub>2</sub> O	0,051 %
TiO <sub>2</sub>	0,373 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,240 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis



**K R E M E N**

Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šenčanje, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc: +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač: +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBASIZX, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 13.6.2018 Čas: 12:47  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: S1(spirala) 1.TEST  
Datum vzorčevanja: 3.4.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

<b>element</b>	<b>Vsebnost</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,345 %
SiO <sub>2</sub>	99,28 %
K <sub>2</sub> O	0,040 %
TiO <sub>2</sub>	0,057 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,077 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis



**K R E M E N**

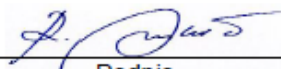
Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Čenčanje, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc. +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBASIZX, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 13.6.2018 Čas: 14:01  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: S2(spirala) 2.TEST  
Datum vzorčevanja: 3.4.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

<b>element</b>	<b>Vsebnost</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,337 %
SiO <sub>2</sub>	99,27 %
K <sub>2</sub> O	0,039 %
TiO <sub>2</sub>	0,069 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,082 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis



KREMEN


Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc. +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBA62X, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 15.6.2018 Čas: 8:35  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: S3(spirala) 3.TEST  
Datum vzorčevanja: 3.4.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

element	Vsebnost
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,355 %
SiO <sub>2</sub>	99,25 %
K <sub>2</sub> O	0,039 %
TiO <sub>2</sub>	0,076 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,084 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis



Kremen d.d. Novo mesto, Dolenje Mokra Polje 40, 8310 Šentjemej, Slovenija, tel.: +386 (7) 39 33 200  
fax: +386 (7) 39 33 222, komerc. +386 (7) 39 33 204, 39 33 210; rač. +386 (7) 39 33 202, 39 33 208  
E-mail: info@kremen-nm.si, www.kremen-nm.si, obrat Ravno (Raka) +386 (7) 81 46 540, obrat Mima +386 (7) 34 35 140  
Acc. No. NLB U SWIFT: LJBASIZK, IBAN: SI56029700013163841

## POROČILO O ANALIZI

Datum: 15.6.2018 Čas: 9:58  
Proizvodnja: Bogatenje kremenovega peska-testiranje  
Vzorec: S4(spirala) 4.TEST  
Datum vzorčevanja: 3.4.2018  
Vzorčeval: Kuzmanič  
Kalibracija: METODA RSTF-1  
Analiziral: Rudolf Muhič  
Inštrument: Oxford Analytical LabX-3500 OI

element	Vsebnost
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,374 %
SiO <sub>2</sub>	99,22 %
K <sub>2</sub> O	0,040 %
TiO <sub>2</sub>	0,082 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,083 %

Rudolf Muhič  
Rezultat sprejel

  
Podpis