

Институт за технологију нуклеарних  
и других минералних сировина са под.  
РДЦУ РДСБ 515/04  
Техничко решење: МЛ.М. Резултат В12.50.

152 24.12.2012.

На основу Правилника о верификацији и валидацији техничко-технолошких решења и процедуре ИП 19 Израда и поступак верификације и валидације техничко-технолошких решења, Научно веће Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, на седници одржаној 24.12.2012. год., донело је

## ОДЛУКУ

Да се резултат истраживачког рада „Развој програмског система млевења квациног песка лежишта "Бијала Стијена-Скочић" за потребе хемијске индустрије Фабрике глинице Бирач-Зворник добијен коришћењем критеријумских једначина моделовања“ који је проистекао као резултат рада на Проектима МПН

TP34006 и TP34013

### Назив пројекта:

**МЕХАНОХЕМИЈСКИ ТРЕТМАН НЕДОВОЉНО КВАЛИТЕТНИХ  
МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА и  
ОСВАЈАЊЕ ТЕХНОЛОШКИХ ПОСТУПАКА ДОБИЈАЊА ЕКОЛОШКИХ  
МАТЕРИЈАЛА НА БАЗИ НЕМЕТАЛИЧНИХ МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА**

### аутора:

1. др Милана Петрова, вишег научног сарадника, ИТНМС, Београд,
2. др Живка Секулића, научног саветника, ИТНМС, Београд,
3. mr Владимира Јовановића, истраживача сарадника, ИТНМС, Београд,
4. дипл.инж Бранислава Ивошевића, стручног саветника, ИТНМС, Београд,
5. дипл.инж Миодрага Гајића, стручног саветника, ИТНМС, Београд,
6. mr Дејана Тодоровића, истраживача сарадника, ИТНМС, Београд,
7. дипл.инж Милоша Ђокановића, АД Боксит Милићи - Република Српска, БИХ,
8. дипл.инж Желька Драгића, АД Боксит Милићи - Република Српска, БИХ.

верификује као техничко решење према индикаторима научне компетентности (М 81) - нови технолошки поступак, у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача (Сл. гласник РС бр. 38/2008), а након усвајања рецензија рецензената проф. др Славена Деушића, Рударско-геолошки факултет Београд, и др Омера Мусића, доцента Рударско-геолошког факултета Универзитета у Тузли (Босна и Херцеговина).

Коначну одлуку о верификацији доноси надлежни Матични научни одбор МПН Р Србије.

### Доставити:

- руководиоцу Пројекта,
- ауторима,
- архиви НВ.



ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА  
др Мирољуб Сокић, научни сарадник

Институт за технологију нуклеарних  
и других минералних сировина са.п.

Број 13/5-7  
25. 11 2011 год.  
Београд  
Траншије Д'Епере-а 86, пошт. фах. 301

На основу члана 40 Статута Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Научно веће је на седници одржаној 25.11.2011. године, донело

## ОДЛУКУ

Покреће се поступак за валидацију и верификацију техничког решења под називом „Развој програмског система млевења кварцног песка лжишта Бијела Стијена Скочић за потребе хемијске индустрије фабрике глинице Бирач Зворник добијен коришћењем критеријумских једначина моделовања“, аутора: др Милана Петрова, др Живка Секулића, mr Владимира Јовановића, Ивошевић Бранислава, дипл. инж., Гајић Миодрага, дипл. инж., mr Дејана Тодоровића, Ђокановић Милоша, дипл. инж. и Драгић Жељка, дипл. инж. и бирају рецензенти др Славен Деушић, редовни професор Рударско геолошког факултета у Београду и др Омер Мусић, доцент Рударско геолошко грађевинског факултета, Универзитета у Тузли, Босна и Херцеговина.



ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА,  
др Мирослав Сокић, научни сарадник

---

---

*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina*

---

**Naučno veće  
Beograd**

**Predmet:** Pokretanje postupka za validaciju i verifikaciju tehničkog rešenja

U skladu sa procedurom QMS, IP 19, Izrada i postupak validacije i verifikacije tehničko-tehnoloških rešenja, obraćamo se Naučnom veću Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS) sa molbom da, prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača (Sl.glasnik RS, 38/08), pokrene postupak za validaciju i verifikaciju tehničkog rešenja.

**NAZIV TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač-Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modelovanja.**

**AUTORI TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Dr Milan Petrov\*, Dr Živko Sekulić\*, Mr Vladimir Jovanović\*, dipl. ing.Branislav Ivošević\*, dipl. ing.Miodrag Gajić\*, Mr Dejan Todorović\*, dipl. ing.Miloš Đokanović\*\*, dipl. ing.Željko Dragić\*\***

**\*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 11 000 Beograd, Franše d'Epere 86**

**\*\*AD BOKSIT Milići, Lukić Polje bb, 75446 Milići, Republika Srpska BiH**

**BROJ UGOVORA ILI PROJEKTA IZ KOGA PROIZILAZI TEHNIČKO REŠENJE:**

**Projekat broj 34006 (Mehanohemiji tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina, rukovodilac Dr Milan Petrov) koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije 2011-2014, i**

**Projekat broj 34013 (Osvajanje tehnoloških postupaka dobijanja ekoloških materijala na bazi nemetaličnih mineralnih sirovina, rukovodilac Dr Živko Sekulić) koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije 2011-2014.**

**KATEGORIZACIJA TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Priznat programski sistem u praksi u inostranstvu – M81**

**NAZIV MATIČNOG ODBORA MINISTARSTVA PROSVETE I NAUKE KOMPETENTNOG ZA DONOŠENJE ODLUKE O PRIHVATANJU TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Matični odbor za materijale i hemijske tehnologije**

**PREDLOG ZA RECENZENTA TEHNIČKOG REŠENJA**

- 1. Dr Slaven Deušić, redovni profesor Rudarsko geološkog fakulteta u Beogradu**
- 2. Dr Omer Musić, docent Rudarsko geološko građevinskog fakulteta Univerziteta u Tuzli, Bosna i Hercegovina**

Beograd 29.09.2011.

Podnositelj zahteva  
**Dr Milan Petrov, viši naučni saradnik**



**ITNMS**

Projekat TR 34006 - **Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina**  
rukovodilac projekta dr Milan Petrov

Projekat TR 34013 - **Osvajanje tehnoloških postupaka dobijanja ekoloških materijala na bazi nemetaličnih mineralnih sirovina,**  
rukovodilac projekta dr Živko Sekulić.

Tehničko-tehnološko rešenje:

**RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA MLEVENJA KVARNOG PESKA LEŽIŠTA SKOČIĆ  
ZA POTREBE HEMIJSKE INDUSTRije FABRIKE GLINICE BIRAČ-ZVORNIK DOBIJEN  
KORIŠĆENJEM KRITERIJUMSKIH JEDNAČINA MODELOVANJA**

**Autori:**

Dr Milan Petrov\*, Dr Živko Sekulić\*, Mr Vladimir Jovanović\*, dipl.ing.Branislav Ivošević\*,  
dipl.ing. Miodrag Gajić\*, Mr Dejan Todorović\*dipl.ing. Miloš Đokanović\*\*i  
dipl.ing Željko Dragić\*\*

\*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 11 000 Beograd, Franše  
d'Eperea 86

\*\*AD Boksit Milići, Lukić Polje bb, 75446 Milići, Republika Srpska, BiH



**ITNMS**

Beograd, 2012. god.

---

**NAZIV TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač-Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modelovanja.**

**AUTORI TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Dr Milan Petrov\*, Dr Živko Sekulić\*, Mr Vladimir Jovanović\*, dipl.ing.Branislav Ivošević\*, dipl.ing. Miodrag Gajić\*, Mr Dejan Todorović\*, dipl.ing. Miloš Đokanović\*\*, dipl.ing. Željko Dragić\*\***

**\*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 11 000 Beograd, Franše d'Epere 86**

**\*\*AD BOKSIT Milići, Lukić Polje bb, 75446 Milići, Republika Srpska, BiH**

**BROJ UGOVORA ILI PROJEKTA IZ KOGLA PROIZILAZI TEHNIČKO REŠENJE:**

**Projekat broj TR 34006 (Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina, rukovodilac projekta dr Milan Petrov) koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije 2011-2014.**

**Projekat broj TR 34013 (Osvajanje tehnoloških postupaka dobijanja ekoloških materijala na bazi nemetaličnih mineralnih sirovina, rukovodilac Dr Živko Sekulić) koji finasira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije 2011-2014.**

**KATEGORIZACIJA TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Nov tehnološki postupak uveden u praksu u inostranstvu - M81**

**NAZIV MATIČNOG ODBORA MINISTRSTVA PROSVETE I NEUKE REPUBLIKE SRBIJE KOMPETENTNOG ZA DONOŠENJE ODLUKE O PRIHVATANJU TEHNIČKOG REŠENJA::**

**Matični odbor za materijale i hemijske tehnologije**

**RECENZENTI TEHNIČKOG REŠENJA:**

**1. Dr Slaven Deušić, redovni profesor Rudarsko geološkog fakulteta u Beogradu**

**2. Dr Omer Music, docent Rudarsko geološko građevinskog fakulteta Univerziteta u Tuzli, Bosna i Hercegovina**

**KORISNIK TEHNIČKOG REŠENJA:**

**AD Boksit Milići, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina**

**GODINA IZRADE:**

**2012.**

**VERIFIKACIJA TEHNIČKOG REŠENJA:**

**Potvrda iz AD Boksit Milići o primeni tehničkog rešenja**

---

## REŠENJE ZA IZRADU TEHNIČKOG REŠENJA

### NAZIV I KATEGORIJA TEHNIČKOG REŠENJA:

Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač-Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modelovanja. – M81

#### **Nazivi projekata:**

Mehanohemski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina

Osvajanje tehnoloških postupaka dobijanja ekoloških materijala na bazi nemetaličnih mineralnih sirovina i

#### **Rukovodilac projekta:**

**Dr Milan Petrov, viši naučni saradnik**

(ime i prezime, zvanje)

**Dr Živko Sekulić, naučni savetnik**

(ime i prezime, zvanje)

#### **Broj ugovora:**

**TR 34006**

**TR 34013**

#### **Naručilac:**

**Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije 2011-2014.**

Imenujem tim za realizaciju:

1. Dr Milan Petrov, vođa tima
2. Dr, Živko Sekulić član
3. Mr Vladimir Jovanović, član
4. Dipl. ing. Branislav Ivošević, član
5. Dipl.ing Miodrag Gajić, član
6. Mr Dejan Todorović, član

Tim je obavezan da pripremi kompletну tehničku dokumentaciju i izradi tehničko rešenje u skladu sa dinamikom realizacije projekta.

**RUKOVODILAC PROJEKTA**

**Dr Milan Petrov, viši naučni saradnik**

(ime i prezime, zvanje)

**DIREKTOR INSTITUTA**

**Prof. dr Zvonko Gulišija**

---

<b>SADRŽAJ :</b>	<b>strana</b>
<b>1. UVOD</b>	5
1.1. Problem koji se rešava, stanje u Srbiji i u okruženju	5
1.2. Naučna podloga i oblast nauke kojoj pripada tehničko rešenje	5
<b>2. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA</b>	6
<b>2.1. Fundamentalne osnove tehnološkog rešenja</b>	6
2.1.1. <i>Model strujanja u mlinu</i>	6
2.2.2. <i>Bakingem-ova teorema sličnosti</i>	7
2.1.3.1. Dimenzionalna analiza I kriterijumske jednačine	7
<b>3. MATERIJAL I METODE</b>	9
3.1. <i>Kriterijum sličnosti kod mlevenja I mehanohemijskog tretmana</i>	9
3.2. Proračun snage motora na osnovu kriterijum sličnosti kod mlevenja i mehanohemijskog tretmana	14
<b>4. ZAKLJUČAK</b>	14
<b>5. PRIMENA TEHNIČKOG REŠENJA</b>	14
<b>ZAHVALNICA</b>	15
<b>PRILOG I POTVRDA</b>	15
<b>LITERATURA</b>	18

---

## 1. UVOD

Poštujući proceduru IP 19 koja je usvojena u ITNMS, po kojoj je pored ostalog propisan i sadržaj teksta tehničkog rešenja, ovde su data poglavija: Problem koji se rešava, stanje u Srbiji i u okruženju, Naučna podloga i oblast nauke kojoj pripada tehničko rešenje, Detaljan opis tehničkog rešenja, Zaključak, Primena tehničkog rešenja, i Literatura.

### 1.1. Problem koji se rešava, stanje u Srbiji i u okruženju

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), Beograd u okviru projekta TR 34006 i projekta 34013, period 2011-2014 u oblasti materijali i hemijske tehnologije, čiju realizaciju finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, kao rezultat teme „Mehanohemijski tretman i valorizacija mineralnih sirovina u oblasti hemijske industrije“, razvio je novi programski sistem mlevenja, do koncepcije nove tehnologije uvedene u proizvodnju, kao priznat programski sistem: „**Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač-Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumske jednačine modelovanja**“. Osnov za izradu ovog Tehničkog rešenja je problem kompanije AD Boksit Milići sa valorizacijom kvarcne sirovine iz ležišta „Skočić“. Naime, kompanija „Boksit“ Milići ima pravo eksploracije kvarcnog peska iz ležišta „Bijela Stijena-Skočić“, kao nosilac koncesije. Takođe, kompanija „Boksit“ Milići ima u svom sastavu i postrojenje separacije na lokaciji Lukić Polje koje je izgrađeno devedesetih godina i koje nije bilo u funkciji do 2010. Kompaniji „Boksit“ Milići su poznati kupci proizvoda koji se mogu dobiti valorizacijom sirovine iz navedenog ležišta, a to su Fabrika glinice „Birač“ iz Zvornika, za potrebe proizvodnje vodenog stakla, livnica „Jelšingrad“ iz Banja Luke i ostali: livnice, i privredne organizacije koje se bave peskarenjem, prečišćavanjem vode, vatrostalnim materijalima kao i građevinarstvo. Rešavajući problem valorizacije kvarcne mineralne sirovine bilo je potrebno uvesti proces mlevenja i mehanohemijskog tretmana mineralne sirovine. Proses mlevenja u hemijskoj industriji proizvodnje vodenog stakla je proces povećanja Gibsove slobodne energije proizvoda mlevenja i time smanjenja troškova proizvodnje vodenog stakla. Dakle, u oblasti hemijske industrije imamo tehničko rešenje koje je kao rezultat navedenog projekta promenilo koncepciju potrošnje energije za proizvodnju vodenog stakla.

Slična kvarcna sirovinu se valorizuje iz ležišta „Donja Bela Reka kod Bora i u Rgotini kod Zaječara, na čijoj valorizaciji su autori ovog tehničkog rešenja takođe radili. Ali kako se ovde tražilo da se dobije najviše klase -0,6 mm, i alternativno – 0,2 mm, došlo se pored ovog rešenja i do drugih tehničkih rešenja koja se ne koriste u okruženju te su stoga novost u ovoj oblasti.

### 1.2. Naučna podloga i oblast nauke kojoj pripada tehničko rešenje

Do podloga za izradu tehničkog rešenja autori su došli na osnovu saznanja iz literatere i na osnovu dugogodišnjeg praktičnog bavljenja mehanohemijskim tretmanom nemetaličnih mineralnih sirovina.

Prilikom rada na projektovanju postrojenja za mlevenje „Dopunski tehnološki projekat adaptacije postrojenja u Lukića polju za sirovine iz ležišta „Bijela Stijena Skočić“ i dogradnja postrojenja za mlevenje“, bilo je potrebno predvideti karakteristike jednog procesa kojeg nigde u praksi mlevenja nismo imali prilike da proučimo. Radi se o mokrom mlevenju kvarcnog peska u cilindričnom mlinu koje je u izvesnoj meri imalo karakteristike autogenog mlevenja mineralne sirovine u mlinu koji nije autogen(mlin sa šipkama). Meljuća tela u projektovanom postrojenju su od sileks kugli koje su od istog materijala kao i sirovina koja se melje zbog čistoće proizvoda. U Institutu su saradnici koji su dobili ovakav zadatak morali da se pozabave razvijanjem programskog sistema mlevenja kvarcnog peska da bi utvrdili da li je nešto u tom smislu uopšte izvodljivo. Na osnovu teorijskih razmatranja i pomoću kriterijumske jednačine modelovanja rešen je postavljeni zadatak. Istraživači i saradnici ITNMS su koristeći laboratorijski model i dimenzionu analizu a na osnovi invarijante dinamičke sličnosti uspeli da razviju programski sistem mlevenja kvarcnog peska i projektuju industrijski mlin.

---

## 2. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

U projektovanju postrojenja za mlevenje u industrijskim uslovima uvek postoji jedna teškoća koja dok postrojenje ne bude uhodano stalno opterećuje čitav posao. Ta poteškoća je zapravo činjenica da ovakvi procesi troše mnogo energije i potrebno je bez greške izvršiti izbor snage motora mlina. Za tu svrhu postoji dosta empirijskih formula i ukoliko je proces konvencionalan i uobičajen u industrijskoj praksi to ne predstavlja veći problem, ali ukoliko to nije slučaj kao što je u našem primeru tada je potrebno razviti programski sistem mlevenja koristeći eksperimente na modelu, a da taj isti programski sistem mlevenja bude ujedno primenljiv i na industrijskom postrojenju. U izradi tehničko tehnološkog rešenja smo se odlučili da prikažemo tok procesa fizičkog modelovanja koji zapravo predstavlja programski sistem mlevenja kvarcnog peska i određivanja snage motora za manju gustinu ukupnog punjenja  $\rho_{up}$  s obzirom da se mlevenje vrši sa sileks kuglama a ne sa metalnim. Ovako razvijeni programski sistema mlevenja kvarcnog peska daje odgovore na pitanje snage motora za nekonvencionalne uslove mlevenja.

### 2.1. Fundamentalne osnove tehnološkog rešenja

#### 2.1.1. Model strujanja u mlinu

Strujanje nekog medija kroz cev ima određene karakteristike.

- Hidrodinamičke veličine:  $v$ ,  $p$ ,  $g$
- svojstva fluida:  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$
- topotne veličine:  $c_p$ ,  $\lambda$ ,  $T$
- masene veličine:  $D^*$ ,  $C$

gde je:

$v$	-	brzina, $L \cdot t^{-1}$ ;
$p$	-	pritisak fluida, $M \cdot L^{-1} \cdot t^{-2}$ ;
$g$	-	gravitaciono ubrzanje, $L \cdot t^{-2}$ ;
$\rho$	-	gustina, $M \cdot L^{-3}$ ;
$\mu$	-	dinamički viskozitet, $M \cdot L^{-1} \cdot t^{-1}$ ;
$\sigma$	-	površinski napon, $M \cdot t^{-2}$ ;
$c_p$	-	topotni kapacitet kod konstantnog pritiska, $L^2 \cdot t^{-2} \cdot T^{-1}$ ;
$\lambda$	-	topotna provodljivost, $M \cdot L \cdot T^{-1} \cdot t^{-2}$ ;
$D^*$	-	molekulska difuznost, $L^2 \cdot t^{-1}$ ;
$C$	-	koncentracija, $M \cdot L^{-3}$ ;
$T$	-	temperatura, dimenzija
$L$	-	dužina, dimenzija
$M$	-	masa, dimenzija
$t$	-	vreme, dimenzija

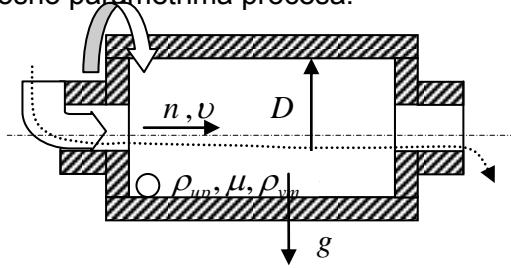
iz ovih veličina izvode se delujuće mehaničke sile,

$F_i$  sila inercije,  $F_g$  sila težine,  $F_p$  sila pritiska,  $F_{tr}$  sila trenja,  $F_\sigma$  sila površinskog napona,

$F_q$  sila difuzije topote,  $F_m$  sila difuzije mase.

Stavljajući u količnici odnos po dve od navedenih sile, dobijamo invarijante ili kriterijume sličnosti. Ako je npr. u dva sistema količnik sile inercije i sile trenja brojčano isti, sistemi su hidrodinamički slični, ili obrnuto: ako želimo postići hidrodinamičku sličnost dva sistema u pogledu odnosa sile inercije i sile trenja, uslov za tu sličnost (kriterijum) je da ta dva količnika budu brojčano ista.[3]

Na slici 1 je prikazan cilindrični mlin koji se može posmatrati kao cev za strujanje medija sa karakterističnim veličinama odnosno parametrima procesa.



Slika 1. Cev za strujanje medija, animacija mlina

### 2.1.2. *Bakingem-ova teorema sličnosti*

Prema Buckinghamovom  $\pi$  teoremi svaka jednačina koja sadrži  $n$  povezanih fizičkih veličina ( $v, \rho, \mu$  itd.), između kojih  $m$  veličine imaju nezavisne dimenzije ( $M, L, t$ ), može biti prevedena u jednačinu koja ima  $n$  do  $m$  bezdimenzionalnih kriterijuma i simpleksa, sastavljenih iz tih veličina. Pošto je za simpleks ili kriterijum uzeta oznaka  $P$ , onda se gornja teorema može napisati:

$$f(P_1, P_2, P_3, \dots) = 0 \quad (1)$$

odnosno:

$$P_1 = f(P_2, P_3, \dots). \quad (2)$$

Ova teorema ima veliki značaj u eksperimentalnom i teorijskom radu. Nalazimo vezu između bezdimenzionalnih izraza, koji su sastavljeni iz fizičkih veličina koje u ovom učestvuju. Pri tome je broj nepoznatih sveden na broj osnovnih jedinica mere najmanje 3, a to veoma pojednostavnjuje uslove eksperimentisanja i nalaženje zakonitosti o međusobnom učestvovanju fizičkih veličina. [1,2]. Kriterijumi sličnosti se mogu izvesti iz diferencijalnih jednačina, kojima se opisuje odnos i ravnoteža sila u tečnosti koja se kreće. Bezdimenzionalni brojevi susreću se praktično kod rešavanja svakog problema iz hemijskog inženjerstva, a posebno kod problema uvećanja (scale-up).

Iz Navje-Štoks-ove jednačine kretanja viskozne tečnosti dobijamo da je:

$$F_i = -F_g - F_p + F_{tr} \quad (3)$$

Odnosno ravnotežu sila inercije, sila težine, sila pritiska i sila trenja.

Ako se leva strana jednačine deli sa pojedinim članovima desne strane jednačine dobijamo:

$$\frac{\rho \cdot \frac{v^2}{l}}{\rho \cdot g} = \left[ \frac{v^2}{l \cdot g} \right] = Fr \quad (4)$$

$$\frac{\rho \cdot \frac{v^2}{l}}{\frac{p}{l}} = \left[ \frac{\rho \cdot v^2}{p} \right] = Eu^{-1} \quad (5)$$

$$\frac{\rho \cdot \frac{v^2}{l}}{\frac{\nu}{\mu \cdot l^2}} = \left[ \frac{l \cdot v \cdot \rho}{\mu} \right] = Re \quad (6)$$

S obzirom da se u mlinu sirovina kreće i meša značajne su inercione sile gravitacione sile i sile trenja. Gravitacioni kriterijum, kriterijum snage i kriterijum strujanja stoga ne smeju biti zanemareni. Prema prethodnom imamo:

$$E_U = f(Re, Fr). \quad (7)$$

### 2.1.3.1. Dimenziona analiza i kriterijumske jednačine

Formiranje bezdimenzionih brojeva za određeni problem najlakše se postiže upotrebom dimenzionih matrica. Dimenziona matrica sastoji se od kvadratne i preostale matrice. Redovi matrica formiraju bazu dimenzija, i ona će formirati rang r matrice. Kolone matrice predstavljaju fizičke veličine ili parametre. Veličina kvadrata osnovne matrice pojavljuju se u svim bezdimenzionim brojevima, dok će se svaki elemenat preostale matrice pojavit samo u jednom bezdimenzionom broju. Iz ovog razloga preostala matrica bi trebalo da bude sastavljena od najvažnijih promenljivih veličina.

Tabela 1. Osnovna dimenziona matrica

	$\rho$	$D$	$n$	$N$	$\mu$	$g$
Masa M	1	0	0	1	1	0
dužina L	-3	1	0	2	-1	1
Vreme t	0	0	-1	-3	-1	-2
	osnovna matrica				preostala matrica	

Preuređivanje matrice (linearna transformacija) vrši se tako što jezgro matrice prelazi u zajedničku matricu. Nakon stvaranja zajedničke matrice bezdimenzioni brojevi nastaju na sledeći način. Svaki elemenat preostale matrice koji стоји u brojiocu deli se sa parametrima kvadratne matrice koji su stepenovani brojem ispod elementa preostale matrice kao što je dato u primeru. Dimenziona matrica za naš slučaj ima oblik

Tabela 2. Preuređena dimenziona matrica

	$\rho$	$D$	$n$	$N$	$\mu$	$g$
M	1	0	0	1	1	0
$3M+L$	0	1	0	5	2	1
$-t$	0	0	1	3	1	2
	osnovna matrica				preostala matrica	

$$\frac{N}{\rho^1 \cdot n^3 \cdot D^2} = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot D^5} \equiv Np \quad \text{kriterijum snage mline}$$

kriterijum snage se katkada naziva i modifikovani izraz Ojlera (Euler) ( $Eu_M$ ) jer je:

$$\left[ \frac{\rho \cdot v^2}{p} \right] = Eu^{-1}$$

a

$$Eu_M = Eu^{-1} \equiv \left[ \frac{\rho \cdot v^2 \cdot \frac{l^3}{t}}{p \cdot \frac{l^3}{t}} \right] = \frac{\rho \cdot n^3 \cdot D^5}{N} \equiv Np^{-1} \quad (8)$$

gde je:

$$Q = \frac{l^3}{t} \quad - \quad \text{protok pulpe}$$

$$\frac{\mu}{\rho^1 \cdot n^1 \cdot D^2} = \frac{\mu}{\rho \cdot n \cdot D^2} \equiv \text{Re}^{-1} \quad \text{Rejnoldsov bezdimernzionalni broj za proces mešanja}$$

$$\frac{g}{\rho^0 \cdot D^1 \cdot n^2} = \frac{g}{D \cdot n^2} \equiv \text{Fr}^{-1} \quad \text{Froude-ov bezdimenzionalni broj za mešanje}$$

Uz određene uslove eksperimenta u laboratorijskim uslovima pokušalo se je da se dođe do rešenja jednačine 7 i do pronalaženja koeficijenta  $k$  i eksponenata  $a$  i  $b$ .

Njen novi analitički oblik ima izgled prikazan jednačinom 9

$$Eu_M = k \cdot \text{Re}^a \cdot \text{Fr}^b \quad (9)$$

### 3 MATERIJAL I METODE

Eksperiment u kojem se vrši mlevenje ima karakteristike strujanja fluida kroz cev. Strujanje fluida kroz cev potpomognuto je mešanjem koje se ostvaruje pomoću meljućih tela jer se plašt mlina obrće. U mnogim eksperimentalnim istraživanjima primećeno je da na proces mlevenja i mehanohemijskog tretmana najviše utiču sledeći parametri:

- gustina pulpe,
- broj obrtaja plašta mlina,
- prečnik plašta mlina,
- viskozitet i
- gravitaciono ubrzanje

Sve navedene parametre uključili smo u razvoj programskog sistema mlevenja i modelovanje mlevenja pomoću određenih kriterijuma (Rejnoldsov i Frudeov). Ispitivanja u laboratorijskim uslovima služe za dobijanje kriterijumske jednačine modela koje definišu proces i u uvećanim uslovima. Od uslova ispitivanja zavisi da li će neki kriterijum biti određen ili neodređen.

Uslove ispitivanja podesili smo tako da smo u prvoj seriji opita, koja se sastoji od tri opita, eksperimente vršili u jednom istom uređaju kada je kriterijum Frude bilo nepromenljiv, a pri tome se menjalo vreme mehanohemijskog tretmana, odnosno brzina proticanja sirovine kroz mlin, što je kao implikaciju imalo promenu Rejnoldsovog kriterijuma. Ovakav eksperiment ne bi bio izvodljiv ukoliko ne bismo menjali vrstu meljuće šarže pa smo koristili sileks, alumo i čelična meljuća tela. Izmerene gustine i viskoziteti pulpe su bili konstantni za prvu seriju opita.

U drugoj seriji opita, koja se takođe sastoji od tri opita, uslove ispitivanja podesili smo tako da Frudeov kriterijum bude promenljiv a to je bilo moguće postići upotrebom mlinova različitih veličina. Rejnoldsov kriterijum u ovoj seriji opita održavan je konstantnim tako što su korišćene različite vrste meljućih tela i što smo imali različito vremena boravka sirovine u mlinu, a da pri tome gustine i viskoziteti pulpe imaju stalne vrednosti. Ovo je bilo moguće postići kada su u mlinu sa najvećim gabaritnim dimenzijama korišćene sileks kugle, zatim u mlinu sa srednjim gabaritnim dimenzijama korišćene alumo kugle, i na kraju u mlinu sa najmanjim gabaritnim dimenzijama korišćene čelične kugle.

Gustine i viskoziteti pulpe unutar pojedinačne serije se održavaju konstantnim, a između serija se razlikuju, tako da su u dve izvedene serije bile zapravo dve vrednosti gustine i dve vrednosti viskoziteta.

#### 3.1. Kriterijum sličnosti kod mlevenja i mehanohemijskog tretmana

Logaritmujući kriterijumsku jednačinu 9 dobijamo:

$$\log Eu_M = \log k + a \cdot \log \text{Re} + b \cdot \log \text{Fr} \quad (10)$$

Potrebno je eksperimentalno odrediti funkciju  $Eu_M$  i jedan od kriterijuma, s tim da se drugi kriterijum održava konstantnim u tom nizu eksperimenata.

Ako je iz jednačine 9

$$k \cdot Fr^b = konst. = B \quad (11)$$

Dobija se kriterijumska jednačina:

$$\log Eu_M = a \cdot \log Re + \log B \quad (12)$$

Dakle oblik

$$y = a \cdot x + b.$$

Dinamički viskozitet  $\mu$  i gustine pulpe  $\rho_{vm}$  se u laboratorijskom mlinu mogu podesiti tako da njihov odnos bude konstanta. Merenje viskoziteta vršeno je viskozimetrom po Brulkfeldu. Korišćen je pribor sa rotirajućim cilindrima koji omogućava određivanje viskoznosti u širokom intervalu konzistencije. Gustina pulpe meri se rudarskim piknometrom (koji se upotrebljava u flotacijama) i vagom za merenje gustine. Zahvaljujući korišćenju različitih vrsta šarže meljućih tela (čelične, alumo i silikatne kugle) vremena mlevenja su se razlikovala ali je finoća mlevenja u svakom od pomenutih opita bila ista.

Promena Rejnoldsovog Re kriterijuma, koja je potrebna za formiranje modela, postiže se menjanjem vremena boravka sirovine u mlinu jednačina 13.

$$Re = \frac{\rho_{vm} \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (13)$$

Gde je:

$\mu$  - dinamički viskozitet

$\rho_{vm}$  - gustina meljiva ili pulpe

$v$  - brzina protoka sirovine u mlinu, računa se da je  $v = \frac{D}{t}$  jer je  $L \approx D$

$t$  - vreme boravka sirovine u mlinu

Promena brojčane vrednosti Ojlerovog kriterijuma  $Eu_M$  računa se prema jednačini 8, a iz analitičkog izraza te jednakosti se vidi da su poznati svi parametri ( $N, \rho_{up}, n^3 i D^5$ ). Snagu  $N$  merimo pomoću električnog brojila, odnosno uređaja na koji je priključen motor laboratorijskog mlina, a čiji je izgled dat u prilogu 2. Nasipna masa ili gustina ukupnog punjenja  $\rho_{up}$  je linearna funkcija gustine pulpe  $\rho_{vm}$  gde koeficijent pravca i odsečak na ordinati zavise od vrste meljućih tela odnosno  $\rho_{vk}$  i  $\rho_{sk}$  kao što se vidi iz jednačine 14:[4]

$$\rho_{up} = \rho_{vk} + 1,15 \cdot (1 - \frac{\rho_{vk}}{\rho_{sk}}) \cdot \rho_{vm} \frac{kg}{m^3} \quad (14)$$

Gde je:

$\rho_{vk}$  - nasipna masa kugli izraženo u  $kg/m^3$

$\rho_{sk}$  - zapreminska masa kugli u  $kg/m^3$

$\rho_{vm}$  - gustina meljiva ili pulpe u  $kg/m^3$

Zapreminska masa kugli;

Fe livene -  $\rho_{sk} = 7800 \frac{kg}{m^3}$

$Al_2O_3$  presovane -  $\rho_{sk} = 4800 \frac{kg}{m^3}$

Silikatne -  $\rho_{sk} = 2600 \frac{kg}{m^3}$

Nasipna masa kugli

Fe livene -  $\rho_{vk} = 4100 \text{ do } 4200 \frac{kg}{m^3}$

$Al_2O_3$  presovane -  $\rho_{vk} = 2500 \text{ do } 2700 \frac{kg}{m^3}$

Silikatne -  $\rho_{vk} = 1800 \text{ do } 1900 \frac{kg}{m^3}$

Konstantnost Frudeovog kriterijuma u ovoj seriji postiže se upotrebom mlina istih dimenzija za sve pojedinačne opite.

Tabela 3. Eksperimentalni podaci iz laboratorijskih istraživanja za izračunavanje Modifikovanog Ojlerovog kriterijuma ili kriterijuma snage u procesu mlevenja i/ili mehanohemijskog tretmana

mereni viskozitet pulpe $\mu, Pa \cdot s$ ili $\frac{kg}{s \cdot m}$	mereno vreme mlevenja $t, s$	prečnik plašta $D, m$	brzina pulpe $D \equiv L$ $v = \frac{L}{t}$	merena gustina pulpe $\rho_{vm} \frac{kg}{m^3}$	Rejnoldsov broj $Re$ $Re = \frac{\rho_{vm} \cdot v \cdot D}{\mu}$	logaritam Rejnoldsovog broja $\log Re$
0,416	600	0,305	0,000510	1226	0,458	-0,3387
0,416	400	0,305	0,000763	1226	0,686	-0,1637
0,416	180	0,305	0,001694	1226	1,523	0,1826

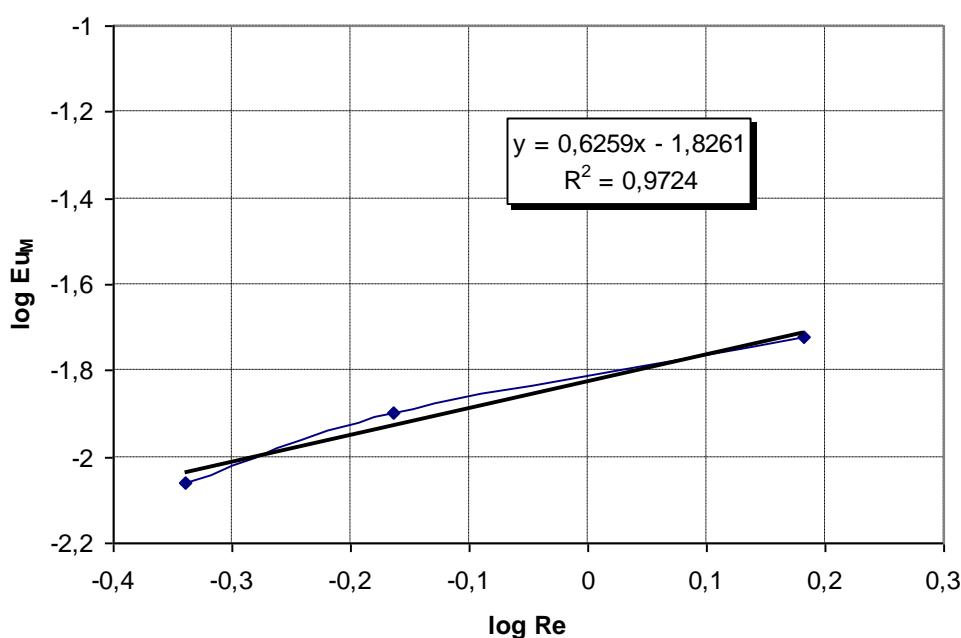
Tabela 3. nastavak

broj obrtaja $n s^{-1}$	stezenovani broj obrtaja $n^2$	Frudeov broj $Fr = \frac{D \cdot n^2}{g}$	logaritam Frudeovog broja $\log Fr$	merena snaga mlina N, W	Vrsta meljućih tela	nasipna masa kugli $\rho_{vk}$	zapreminska masa kugli $\rho_{sk}$
1,04	1,082	0,0329	-1,482	760	sileks	1800	2600
1,04	1,082	0,0329	-1,482	760	alumo	2600	4800
1,04	1,082	0,0329	-1,482	760	čelične	4200	7800

Tabela 3. nastavak

gustina ukupnog punjenja $\rho_{up} = \rho_{vk} + 1,15 \cdot (1 - \frac{\rho_{vk}}{\rho_{sk}}) \cdot \rho_{vm} \frac{kg}{m^3}$	stezenovani prečnik $D^5$	stezenovani broj obrtaja $n^3$	Ojlerov broj $Eu_M$ $Eu_M = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{N}$	logaritam Ojlerovog broja $\log Eu$
2234	0,002639	1,124864	0,008726	-2,05917
3246	0,002639	1,124864	0,012681	-1,89684
4851	0,002639	1,124864	0,018949	-1,72241

Kada se podaci iz tabele predstave dijagramom vidljivo je da se tačke koje predstavljaju koordinate pojedinih opita nalaze na približno pravoj liniji.



Slika 2. Funkcija  $\log Eu_M$  i  $\log Re$

Na slici je vidljivo da je  $\tan \alpha = a = 0,6259$ , odnosno  $a$  je eksponent kriterijuma  $Re$ , a odsečak na osi  $\log Eu_M$  predstavlja vrednost  $\log B$ , pa je  $\log B = -1,8261$ , a tada je  $B = 0,014924507$ .

Da bi utvrdili koeficijent  $k$  iz jednačine 9 potrebno je da izvršimo još jednu seriju eksperimenata u kojoj će se podesiti uslovi eksperimenta da Rejnoldsov broj bude konstanta. Dakle, nakon prve serije eksperimenata na modelu se izvodi druga serija eksperimenata, u kojoj se održava konstantnim vrednost kriterijuma  $Re$ , odnosno iz jednačine 9:

$$k \cdot Re^a = \text{konst.} = C \quad (15)$$

Iz ovoga sledi kriterijumska jednačina:

$$\log Eu_M = b \cdot \log Fr + \log C \quad (16)$$

Dakle opet jednačina prave linije kao funkcionalna zavisnost  $Eu_M$  od promene  $Fr$ .

Rejnoldsov kriterijum može ostati konstantan ukoliko se kao i u prvoj seriji primeni postupak mlevenja sa promenom vremena mlevenja. Da bi Rejnoldsov kriterijum ostao konstanta potrebno je bilo menjati vreme mlevenja na način da u većem mlinu bude duže vreme zadržavanja sirovine a u manjem mlinu kraće vreme zadržavanja sirovine. Navedene eksperimentalne uslove postigli smo sa smanjenjem broja obrtaja srednjeg i velikog mlina kada je efikasnost mlevenja manja i povećanjem broja obrtanja malog mлина kada je postignuta veća efikasnost mlevenja. Da bi postigli pomenute uslove vremena mlevenja osim promene broja obrtanja mlinu takođe je bilo potrebno da se u najvećem mlinu koristi šarža od sileks kugli, u srednjem mlinu šarža od alumina kugli a u najmanjem mlinu šarža od čeličnih kugli. Na kraju, da bi Rejnoldsov kriterijum ostao konstantan bilo je potrebno izvršiti više preliminarnih opita da bi se utvrdila i gustina pulpe. Eksperimentom je utvrđeno je da je optimalna gustina pulpe za sileks kugle između 10% i 30% čvrstog u pulpi dok za alumina i čelične kugle može biti i veća. Uslov da bi mlevenje bilo uspešno je gustina pulpe koja utiče na viskozitet pulpe ukupnog punjenja i time na efikasnost mlevenja. Promenljivost Frudeovog kriterijuma obezbedili smo koristeći različite veličine mlinova. U tabeli 4 su prikazani eksperimentalni podaci za drugu seriju opita.

Tabela 4. Eksperimentalni podaci iz laboratorijskih istraživanja za izračunavanje Modifikovanog Ojlerovog kriterijuma ili kriterijuma snage u procesu mlevenja i/ili mehanohemijskog tretmana

mereni viskozitet pulpe $\mu, Pa \cdot s$ ili $\frac{kg}{s \cdot m}$	vreme mlevenja $t, s$	prečnik plašta $D, m$	brzina pulpe $D \equiv L$ $\omega = \frac{L}{t}$	gustina pulpe $\rho_{vm} \frac{kg}{m^3}$	Rejnoldsov broj $Re$ $Re = \frac{\rho_{vm} \cdot \omega \cdot D}{\mu}$	logaritam Rejnoldsovog broja $\log Re$
0,17	417	0,150	0,00036	1066	0,338612	-0,4703
0,17	898	0,220	0,000245	1066	0,337985	-0,4711
0,17	1713	0,305	0,000178	1066	0,34043	-0,46797

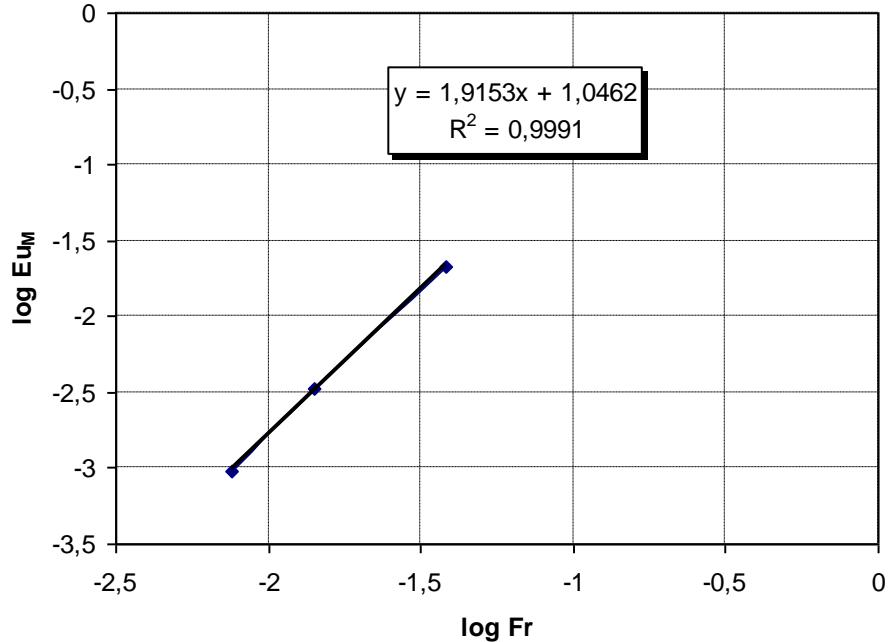
Tabela 4 nastavak

broj obrtaja $n s^{-1}$	stezenovani broj obrtaja $n^2$	Frudeov broj $Fr = \frac{D \cdot n^2}{g}$	Logaritam Frudeovog broja $\log Fr$	snaga mlinu $N, W$	Vrsta meljućih tela	nasipna masa kugli $\rho_{vk}$	zapreminska masa kugli $\rho_{sk}$
1,6	2,56	0,0384	-1,415668	70	čelične	4200	7800
0,8	0,64	0,01408	-1,851397	250	alumina	2600	4800
0,5	0,25	0,007625	-2,117760	760	sileks	1800	2600

Tabela 4. nastavak

gustina ukupnog punjenja $\rho_{up} = \rho_{vk} + 1,15 \cdot (1 - \frac{\rho_{vk}}{\rho_{sk}}) \cdot \rho_{vm} \frac{kg}{m^3}$	stezenovani prečnik $D^5$	stezenovani broj obrtaja $n^3$	Ojlerov broj $Eu_M$ $Eu_M = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{N}$	logaritam Ojlerovog broja $\log Eu$
4766	7,59375E-05	4,096	0,021176492	-1,67415
3162	0,000515363	0,512	0,00333724	-2,47661
2177	0,002639363	0,125	0,000945135	-3,02451

Kada se podaci iz tabele predstave u grafičkom obliku dobijamo skoro pravu liniju, slika3.



Slika 3. Funkcija  $\log Eu_M$  i  $\log Fr$

Analogno ranijim zaključanjima vidi se da je  $\tan \beta = b = 1,9153$  i odsečak na ordinati  $\log Eu_M$  je vrednost  $\log C = 1,0462$ , a tada je  $C = 11,12243817$ .

Pošto je u dva niza eksperimenata određen eksponent kriterijuma  $Re(a)$  i eksponent kriterijuma  $Fr(b)$ , konstanta  $k$  se može izračunati iz:

$$k = \frac{B}{Fr^b} = \frac{0,015}{Fr^{1,92}} = 10,27, \text{ odnosno } k = \frac{C}{Re^a} = \frac{11,12}{Re^{0,63}} = 21,91$$

Pa se dobija srednja vrednost:

$$k_{sr} = \frac{\sum k}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{10,27 + 11,12}{2} = 16,1 \quad (17)$$

Uzevši da su za ovakav ispitivan sistem konstanta  $k$  i eksponenti  $a$  i  $b$  konstantne vrednosti može se za eksperimentalno dobijenu kombinaciju kriterijuma  $Re$  i  $Fr$  izračunati vrednost  $Eu_M$ .

$$Eu_M = k \cdot Re^a \cdot Fr^b = 16,1 \cdot 0,338612^{0,63} \cdot 0,032989^{1,92} = 0,011869 \quad (18)$$

Obzirom da je:  $\frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{N} = Eu_M$  i  $Eu_M = k \cdot Re^a \cdot Fr^b$  vidimo da se primenom laboratorijskih

ispitivanja došlo do kriterijumske jednačine modela mlevenja koja može biti upotrebljena za izračunavanje snage mlina u uvećanim uslovima.

$$N = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{16,1 \cdot Re^{0,63} \cdot Fr^{1,92}} \quad (19)$$

Gde je:

$N$  - snaga mlina,  $\frac{kg \cdot m^2}{s^3}$

$\rho_{up}$  - nasipna masa ukupnog punjenja (kugle+voda+materijal) u mlinu,  $\frac{kg}{m^3}$

---

$D$  - unutrašnji prečnik mlinova,  $m$

$n$  - broj obrtaja mlinova,  $s^{-1}$

### 3.2. Proračun snage motora na osnovu kriterijum sličnosti kod mlevenja i mehanohemijskog tretmana

Kriterijumska jednačina modela mlevenja može se primeniti i na industrijskim mlinovima zato što su u laboratorijskim uslovima menjani svi relevantni parametri koji utiču na proces mlevenja i na osnovu toga određena dva nepoznata kriterijuma ( $Re$  i  $Fr$ ). Reproduktivnost rezultata moguće je izvršiti u svakom trenutku jer su podaci prikazani u tabeli 3 i 4 dobijeni metodom merenja pomoću sledećih uređaja:

- Brukfildovog viskozimetra za merenje dinamičkog viskoziteta,
- rudarskog piknometra sa vagom za merenje gustine pulpe,
- hronometra za merenje vremena mlevenja odnosno brzine strujanja pulpe i
- digitalnog brojila za snagu, napon i strujni tok motora mlinova.

U primeru koji sledi upotrebili smo poznate tehničko tehnološke parametre procesa mlevenja u mlinu projektovanom za domeljavanje kvarcnog peska u Lukića polju kod Milića da bi proverili opštu kriterijumsku jednačinu modela za mlin sa kuglama.

$$N = 280000 \frac{kg \cdot m^2}{s^3} \text{ ili } W \quad - \quad \text{snaga mlinova za domeljavanje,}$$

$$\rho_{up} = 2177 \frac{kg}{m^3} \quad - \quad \begin{aligned} &\text{nasipna masa ukupnog punjenja (kugle+voda+materijal)} \\ &\text{kugle i materijal od silicijum dioksida. U pulpi je 10\%Č} \\ &\text{što znači da je } \rho_{vm} = 1066 \frac{kg}{m^3} \end{aligned}$$

$$D = 2,2 \text{ m} \quad - \quad \text{unutrašnji prečnik mlinova,}$$

$$n = 0,3 \text{ s}^{-1} \quad - \quad \text{broj obrtaja mlinova,}$$

$$N = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{16,1 \cdot Re^{0,63} \cdot Fr^{1,92}} = \frac{2177 \cdot 0,3^3 \cdot 2,2^5}{0,012} = 255256 \text{ W}$$

Kao što se vidi kriterijumska jednačina modela daje dobre rezultate prilikom računanja snage motora industrijskog mlinova. Jednačina takođe daje dobre rezultate za kataloški izabrene cilindrične mlinove sa kuglama čitavog dijapazona veličina.

## 4 ZAKLJUČAK

Za tehničko tehnološko rešenje pod nazivom "Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač -Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumske jednačine modelovanja" korišćena je predstavljena metoda fizičkog modelovanja mlevenja razvijena u ITNMS-a. Laboratorijski model za predviđanje svih parametara rada industrijskog mlinova sastojao se od dva standardna Denverova mlinova i Bondovog mlinova sa čeličnim, aluminijskim i sileks kuglama. Nakon izvedenog eksperimenta u modelu moguće je aproksimirati tehničko tehnološke uslove odvijanja procesa u prototipu pri različitim gustinama pulpe, različitim vrstama meljućih tela, različitim veličinama i brzinama mlinova. Značaj prikazanog postupka iznalaženja kriterijumske jednačine modela kao i samog modela je velik jer se model može koristiti uopšteno za sve mineralne sirovine.

## 5. PRIMENA TEHNIČKOG REŠENJA

Na osnovu datog tehničkog rešenja proveren je posupak proračuna mlinova za domeljavanje u revitalizovanoj starijim separaciju u AD Boksić Milići, o čemu svedoči Potvrda iz AD Boksić Milići da je ovo rešenje primenjeno u navedenoj separaciji. Ova Potvrda se daje u prilogu.

## ZAHVALNICA

Prikazani rezultati predstavljaju deo eksperimentalnog rada, koji je u toku na izradi projekta TR 34006. Eksperimentalni deo obavljen je u okviru ITNMS-a. a uhodavanje i provera projektovanih parametara rada obavljena je u okviru preduzeća AD Boksit Milići.

## PRILOG

Tabela 1. Najvažnije kriterijumske jednačine

Redni broj kriterijuma	Matematički izgled	Naziv kriterijuma
1	$\frac{F_i}{F_{tr}} = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu} = i_F = Re$	Reynolds (Rejnolds)
2	$\frac{F_i}{F_g} = \frac{v^2}{d \cdot g} = i_F = Fr$	Froude (Frud)
3	$\frac{F_i}{F_\sigma} = \frac{d \cdot v^2 \cdot \rho}{\sigma} = i_F = We$	Weber (Veber)
4	$\frac{Re^2}{Fr} = \frac{d^3 \cdot \rho^2 \cdot g}{\mu^2} = i_F = Ga$	Galilei (Galilej)
5	$\frac{F_p}{F_i} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot v^2} = i_F = Eu$	Euler (Ojler)
6	$\frac{F_{tr}}{F_q} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = i_F = Pr$	Prandtl (Prantl)
7	$\alpha \frac{d}{\lambda} = f(Re, Pr, Gr, \dots) = i_F = Nu$	Nusselt (Nuselt)
8	$\frac{F_{tr}}{F_m} = \frac{\mu}{D \cdot \rho} = i_F = Sc$	Schmidt (Šmit)
9	$k \frac{d}{D} = f(Re, Sc, Ga, \dots) = i_F = Sh$	Sherwood (Šervud)
10	$Ga \cdot \Delta T \cdot \beta = \frac{d^3 \cdot \rho^2 \cdot \Delta t \cdot \beta \cdot g}{\mu^2} = i_F = Gr$	Grashoff (Grashof)
11	$D_a I = \frac{r \cdot L}{v \cdot C_A}$	Damkohler I
12	$D_a II = \frac{r \cdot L^2}{D^* \cdot C_A}$	Damkohler II
13	$N_p = \frac{W}{L^5 \cdot \rho \cdot n^3} \frac{\text{nametnuta snaga}}{\text{sila inercije}}$	Bezdimenzionalni broj za snagu



Slika 4. Spoljni izgled Viskozimetra po Brukfeldu



Slika 5. Spoljašnji izgled digitalnog uređaja za merenje snage

Slika 6. Piknometar za merenje gustine



Slika 4. Industrijski mlin u Lukića polju kod Milića

Tabela 2. Viskozitet nekih tečnosti

Tečnost	Dinamički viskozitet $\text{Pa} \cdot \text{s}$
Voda	$8,94 \times 10^{-4}$
Aceton	$3,06 \times 10^{-4}$
Kastrol ulje	0,985
Etanol	$1,074 \times 10^{-3}$
Sumporna kiselina	$2,42 \times 10^{-2}$
Glicerol	1,2
Maslinovo ulje	0,081
SAE40	0,319
SAE10	0,065
Benzen	$6,04 \times 10^{-4}$
Tečni azot	$1,58 \times 10^{-4}$



АД "БОКСИТ" МИЛИЋИ, 75446 Милићи, РС, БиХ

Тел: +387 56 740 502, 745 140 • Факс: 741 067 • [www.ad-boksit.com](http://www.ad-boksit.com) • E-mail: [boksit@ad-boksit.com](mailto:boksit@ad-boksit.com)

Маш. број: 01359002    Број: 01-А-01-9322/11  
ЈИБ: 4400289270003    Датум: 21.09.2011. год  
ПИБ: 400289270003  
Ред. суд: Окружни привредни суд Источно Сарајево  
Број ред. уписа: 061-0-РЕГЖ-10-000 118  
Уписан и уписан осн. кадишем: 17.287.671 КМ

**ИТНМС**  
ИНСТИТУТ ЗА ТЕХНОЛОГИЈУ НУКЛЕАРНИХ  
И ДРУГИХ МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА

БЕОГРАД

**СЕКТОРИ:**

Поштовани,

Према Вашем захтеву и за Ваше потребе достављамо Вам

"Рударство"  
741-040

"Саобраћај"  
740-015

"Градња и  
електро-машина  
производња"  
745-472

"Дрво прерада"  
745-760

"Угоститељство  
и туризам"  
740-243

"Комерцијално-  
производни  
 послови"  
745-390

"Технички  
прегледи и  
услуге"  
740-214

"Финансијски  
инжењеринг  
и развој"  
745-141

"Правни  
послови"  
740-422

**ПОТВРДУ**

*"Да су на ревитализацији и доградњи старе сепарације у Лукића Польју - АД „Боксит“ Милићи“, пројектовању техничких и технолошких параметара процеса, избору и надградњи опреме примењени најсавременији научни и стручни поступци везано за прераду ровног и производњу сепарисаног кварцног пјеска по свим тржишним стандардима".*

Аутори концепцијских и технолошког рјешења:

Др Живко Секулић, Др Милан Петров, Mr Владимир Јовановић, дипл.инг. Бранислав Ивошевић, дипл.инг Велимир Антанасковић запослени у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина, 11000 Београд, Франше д' Епереа 86,

и дипл.инг. Милош Ђокановић и дипл.инг. Желько Драгић запослени у АД „Боксит“ Милићи, Лукића Польје бб, 75446 Милићи, Република Српска, БиХ

С поштовањем!

Генерални директор

Mr Рајко Дукић



Жиро-рачуни: 568-603-11000677-43 • 555-006-00002373-56 • 551-032-00002508-07 • 565-404-30000001-46  
554-012-00000154-50 • 552-020-00008783-88 • 571-030-00000482-63

ОО.110-00/103 - Издање 1

---

## LITERATURA

1. Stanko Rozgaj, Procesni aparati i uređaji, IGKRO "Svjetlost", Sarajevo, 1980.
2. Milutin Grbović, Nedeljko Magdalinović, Procesna oprema drobljenja i mlevenja mineralnih sirovina, "Bakar", Bor, 1980
3. Tehničko tehnološkog rešenje iz 2011 u proceduri usvajanja. Milan Petrov i ostali autori: "Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač -Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modeliranja".
4. Eduard Beer, Priručnik za dimenzioniranje uređaja kemijске procesne industrije SKTH/kemija u industriji, Zagreb 1985.
5. Stevan Puštrić, Izbor i proračun mašina i uređaja za drobljenje prosejavanje i mlevenje mineralnih sirovina, RGF, Beograd 1974.

**Rukovodilac projekta:**

**Dr Milan Petrov, viši naučni saradnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Dr, Živko Sekulić naučni savetnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Autori tehničkog rešenja,** **potpis**

**Dr Milan Petrov, viši naučni saradnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Dr, Živko Sekulić naučni savetnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Mr Vladimir Jovanović, istraživač saradnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Dipl.ing.Branislav Ivošević, stručni savetnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Dipl.ing. Miodrag Gajic, stručni savetnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Mr Dejan Todorović, istraživač saradnik ITNMS** \_\_\_\_\_

**Dipl.ing. Miloš Đokanović, AD Boksit Milići** \_\_\_\_\_

**Dipl. ing Željko Dragić, AD Boksit Milići** \_\_\_\_\_



Project TR 34006 - **Mechanochemical treatment of insufficient quality**

**mineral resources**

Project Manager Ph.D. Milan Petrov

Project TR 34 013 - **Conquest of technological processes of obtaining organic materials based on non-metallic minerals,**

Project Manager Ph.D. Zivko Sekulic.

The technical and technological solutions:

**SOFTWARE DEVELOPMENT SYSTEMS GRINDING QUARTZ SAND SKOČIĆ DEPOSITS FOR CHEMICAL INDUSTRY PLANT BIRAC-ZVORNIK USING CRITERION EQUATION MODELING**

**Authors:**

Ph.D. Milan Petrov \*, \* Ph.D. Zivko Sekulic, MSc. Vladimir Jovanovic \*, BSc.Branislav Ivošević \*, BSc. Miodrag Gajic \*, Mr Dejan Todorovic \* BSc.Milos and Đokanović \*\*  
Ph.D. Željko Ph.D.agic \*\*

\* Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, 11 000 Belgrade,  
86 Franchet d'Eperea

AD \*\* Boksit Milici, Lukic Polje bb, 75 446 Milici, Serbian Republic, Bosnia and Herzegovina



Belgrade, 2012. years.

---

NAME OF TECHNICAL SOLUTIONS:

**Development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač-Zvornik obtained using the criterion equation modeling.**

AUTHORS OF TECHNICAL SOLUTIONS:

**Ph.D. Milan Petrov \*, \* Ph.D. Zivko Sekulic, MSc. Vladimir Jovanovic \*, BSc.Branislav Ivošević \*, BSc. Miodrag Gajic \*, Mr Dejan Todorovic \*, BSc.Milos Đokanović \*\*, BSc. Željko Dragic \*\***

**\* Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, 11 000 Belgrade,  
86 Franchet d'Epere**

**AD \*\* BOKSIT Milici, Lukic Polje bb, 75 446 Milici, Serbian Republic, Bosnia and Herzegovina**

PROJECT CONTRACT NUMBER OR ARISING FROM WHOM THE TECHNICAL SOLUTION:

**Project No. TR 34 006 (Mechanochemical treatment of insufficient quality of mineral resources, the project leader Ph.D.. Milan Petrov) funded by the Ministry of Education and Science Republic of Serbia 2011-2014.**

**Project No. TR 34 013 (Conquest of technological processes of obtaining eco-friendly materials based on non-metallic minerals, Ph.D. Zivko Sekulic manager) funded by the Ministry of Education and Science Republic of Serbia 2011-2014.**

CLASSIFICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS:

**Nov technological process has been introduced into practice abroad - M81**

NAME OF PARENT BOARD OF EDUCATION Ministry and ignorant competent SERBIAN REPUBLIC OF RESOLUTION OF ACCEPTANCE OF TECHNICAL SOLUTIONS ::  
**Parent Committee for Materials and Chemical Technologies**

REVIEWER'S TECHNICAL SOLUTIONS:

- 1. Dr Slaven Deušić, Professor of Mining and Geology in Belgrade**
- 2. Dr Omer Music, Assistant Professor of Mining Geology and Civil Engineering, University of Tuzla, Bosnia and Herzegovina**

USER TECHNICAL SOLUTIONS:

**AD Boksit Milici, Serbian Republic, Bosnia and Herzegovina**

Year made:

**2012th**

VERIFICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS:

**Confirmation of AD Boksit Milici on the implementation of technical solutions**

---

**DECISION  
FOR TECHNICAL SOLUTIONS**

**NAME AND CATEGORY OF TECHNICAL SOLUTIONS:**

Development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač-Zvornik obtained using the criterion equation modeling. - M81

***Name of the project:***

Mechanochemical treatment of insufficient quality of mineral resources

Conquering the technological processes of obtaining eco-friendly materials based on non-metallic minerals and

***Project manager:***

**Ph.D. Milan Petrov, you w and a Fellow**

(Name and title)

**Ph.D. Zivko Sekulic, scientific advisor**

(Name and title)

***Number of contract:***

**TR 34006**

**TR 34013**

***Client:***

**Ministry of Education and Science Republic of Serbia 2011-2014.**

Appoint a team to implement:

1. Ph.D. Milan Petrov, leader of the team
2. Ph.D.. Zivko Sekulic member
3. MSc. Vladimir Jovanovic, a member of
4. BSc, Branislav Ivošević, Member
5. Ph.D. MioPh.D.ag Gajic, a member of
6. Mr. Dejan Todorovic, a member of

They have to prepare a complete technical documentation and development of technical solution in accordance with the timetable of the project.

**PROJECT MANAGER**

**Ph.D. Milan Petrov, research Fellow**

(Name, title)

**Director of the Institute**

***Prof. Ph.D.. Zvonko Gulišija***

---

<b>CONTENTS:</b>	<b>page</b>
<b>1. INTRODUCTION</b>	5
<b>1.1. The problem to be solved, the situation in Serbia and the region</b>	5
<b>1.2. Scientific background and field of science to which he belongs technical solution</b>	5
<b>2. DETAILED DESCRIPTION OF TECHNICAL ANY OF RE W</b>	6
<b>2.1. The fundamental basis of technological solutions</b>	6
<b>2.1.1. Model of flow in the mill</b>	6
<b>2.2.2. Buckingham's theorem of similarity</b>	7
<b>2.1.3 1. Dimensional analysis and the criterion equation</b>	7
<b>3 MATERIALS AND METHODS</b>	9.
<b>3.1. The criterion of similarity with the milling and mechanochemical treatment</b>	9.
<b>3. 2. Calculation based on engine power similarity criteria for milling and mechanochemical treatment</b>	14
<b>{0}4.{/0} {1} {/1} CONCLUSION</b>	14
<b>5 APPLICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS</b>	14
<b>Acknowledgement</b>	15
<b>ANNEX I CERTIFICATE</b>	15
<b>REFERENCES</b>	18.

---

## **1. INTRODUCTION**

IP 19 with the procedure adopted in ITNMS, according to which *inter alia* provided for the content of the text of the technical solutions given here are the chapters: The problem is solved, the situation in Serbia and the region, Scientific and surface area of science which belongs to the technical solution, detailed description technical solution, conclusion, application of technical solutions, and References.

### **1.1. The problem to be solved, the situation in Serbia and the region**

Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials (ITNMS), Belgrade, under the project TR 34 006 and 34 013 project, the period 2011-2014 in the field of materials and chemical technology, whose implementation financed by the Ministry of Science and Technological Development of Serbia, as a result of issues "Mechanochemical treatment and evaluation of mineral raw materials in chemical industry ", has developed a *new software system grinding* to a new concept introduced in the manufacturing technology, recognized as a programming **system:** **The development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač Zvornik-derived using the criterion equation modeling.** "The basis for the preparation of this technical solution is the problem Bauxite Company AD Milići the valorization of raw quartz deposits "Skočić". The company "Bauxite" Milici has a right of exploitation of deposits of quartz sand, "White Rock-Skočić", as the holder of the concession. Also, the company "Bauxite" Milici has in its structure and separation plant at the site Lukic field that is built nineties and that was not in operation by 2010. Company "Bauxite" Milici known buyers of products that can be obtained from the above validation of raw materials deposits, such as alumina factory "Chooser" from Zvornik, for the production of water glass, foundry "Jelšingrad" from Banja Luka and the rest: the foundry, and economic organizations engaged in sand blasting, water purification, refractory materials and construction. Solving the problem of evaluation of quartz mineral resources were needed to introduce the process of milling and mechanochemical treatment of mineral raw materials. The process of grinding in the chemical industry, production of water glass is the process of increasing the Gibbs free energy of milling products and thereby reduce the cost of production of water glass. Thus, the chemical industry have a technical solution that is as result the project has changed the concept of energy consumption for production of water glass.

Similar quartz material is valorized reservoir "Lower White River near Bor in Rgotina near Zajecar, on whose valuation of the authors of this technical solution also worked. But that is here sought to obtain the highest class -0.6 mm, and the alternative - 0.2 mm, in addition to this there are solutions to other technical solutions that are not used in the environment and are therefore new to the area.

### **1.2. Scientific background and field of science which belongs to the technical solution**

Do the groundwork for making the technical solution the authors reported on the basis of findings from literatere and based on many years of dealing with practical Mechanochemical treatment of non-metallic minerals.

While working on the design grinding plant "Additional technological project in the adaptation of plants Lukic field material from the deposit" White Rock Skočić "and upgrade facilities for grinding," it was necessary to predict the characteristics of a process that nowhere in the practice of grinding we had the opportunity to summarization It is a wet grinding of quartz sand in a cylindrical mill which is to some extent had the characteristics of autogenous grinding of mineral raw materials other than autogenous mill (mill bars). Milling body in the projected installation of the Vardar balls of the same material as the raw material is ground to the purity of products. The Institute of associates who have received such a task had to tackle the development of software systems grinding of quartz sand to determine if it is something to that effect at all feasible. Based on theoretical considerations and using the criterion of equations

---

solved by modeling a given task. Researchers and collaborators are using ITNMS laboratory model and a dimensional analysis based on dynamic similarity invariants managed to develop a software system grinding of quartz sand and projected industrial mill.

## 2. DETAILED DESCRIPTION OF TECHNICAL ANY OF RE W

In designing the plant for grinding industrial conditions there is always an ordeal that while the plant is not smoothly continuous strain on the entire job. This difficulty is actually the fact that these processes consume much energy and need to make a choice without fault of engine power the mill. For this purpose, there is plenty of empirical formula and if the process is conventional and common in industrial practice it is not a major problem, but if not like in our example it is necessary to develop a software system of grinding experiments using the model, and that the same Program grinding system is also applicable to the industrial plant. The development of technical and technological solutions, and we decided to show the flow of the process of physical modeling, which is actually a software system grinding of quartz sand and determining of engine power for a lower density of the total charge  $\rho_{up}$  considering that the grinding is done with Sileks balls instead of metal. Such a program developed system of grinding quartz sand answers the question of engine power for non-conventional grinding conditions.

### 2.1. The fundamental basis of technological solutions

#### 2.1.1. Model of flow in the mill

The flow of media through a tube has certain characteristics.

- Hydrodynamic sizes:  $v$ ,  $p$ ,  $g$
- properties of fluids:  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$
- calorific values:  $c_p$ ,  $\lambda$ ,  $T$
- mass sizes:  $D^*$ ,  $C$

where:

$v$  - Speed,  $L \cdot t^{-1}$ ;

$p$  - Pressure,  $M \cdot L^{-1} \cdot t^{-2}$ ;

$g$  - Gravitational acceleration,  $L \cdot t^{-2}$ ;

$\rho$  - Density,  $M \cdot L^{-3}$ ;

$\mu$  - The dynamic viscosity,  $M \cdot L^{-1} \cdot t^{-1}$ ;

$\sigma$  - Surface tension,  $M \cdot t^{-2}$ ;

$c_p$  - Heat capacity at constant pressure,  $L^2 \cdot t^{-2} \cdot T^{-1}$ ;

$\lambda$  - Thermal conductivity,  $M \cdot L \cdot T^{-1} \cdot t^{-2}$ ;

$D^*$  - Molecular diffusivity,  $L^2 \cdot t^{-1}$ ;

$C$  - Concentration,  $M \cdot L^{-3}$ ;

$T$  - Temperature measuring

$L$  - The length, size

$M$  - Weight, dimension

$t$  - Time dimensions

of these quantities are derived by acting mechanical force

$F_i$  forces of inertia,  $F_g$  forces of weight,  $F_p$  pressure force,  $F_f$  friction force,  $F_\sigma$  forces of surface tension,  $F_q$  force of diffusion of heat,  $F_m$  powers of mass diffusion.

Putting količnčki ratio of these two forces, we obtain the invariants and similarity criteria. If, for example, the two systems the ratio of inertia force and friction force numerically the same, hydrodynamic systems are similar, or vice versa: if we want to achieve hydrodynamic similarity between the two systems in terms of relations between inertia force and frictional force, the condition for the similarity (criterion) is that these two ratios are numerically the same. [3] Figure 1 shows the cylindrical mill which can be viewed as a conduit for streaming media with characteristic sizes and process parameters.

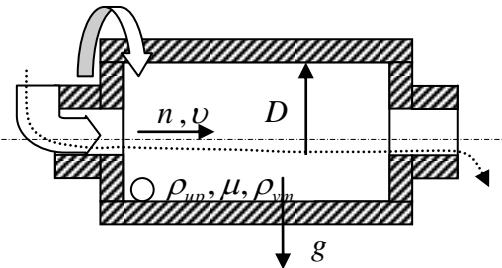


Figure 1. Pipe flow of media, entertainment mill

### 2.1.2. **Buckingham's theorem of similarity**

According to Buckinghamovom  $\pi$  Theory of equations, each containing  $n$  related physical quantities ( $v, \rho, \mu$  etc..), between which  $m$  sizes are independent dimensions ( $M, L, t$ ), Can be translated into an equation that has  $n$  to  $m$  dimensionless criteria and simplex, consisting of those values. Since the criterion for simplex or rope marks  $P$ , Then the above theorem can be written:

$$f(P_1, P_2, P_3, \dots) = 0 \quad 1$$

or:

$$P_1 = f(P_2, P_3, \dots). \quad 2$$

This theorem is of great importance in experimental and theoretical work. Nala winters relationship between the dimensionless expressions, which are composed of physical quantities, which in this part. In doing so, the number of unknown reduced the number of basic units of measure at least 3, and that very simplifies the conditions of experimentation and finding each other on the legality of participating in physical quantities. [1,2]. The criteria of similarity can be derived from differential equations, which describe the relationship and balance of forces in the fluid that moves. Be zdimenzijsi numbers encountered in the practical solution of every problem from chemical engineering, particularly in problems magnification (scale-up). From Navje-stoks's equations of motion of viscous fluids we get:

$$F_i = -F_g - F_p + F_{tr} \quad 3$$

Or the balance of the forces of inertia, the force of weight, pressure force and friction force. If the left side of the equation is shared with some members of the right side of the equation we get:

$$\frac{\rho \cdot \frac{v^2}{l}}{\rho \cdot g} = \left[ \frac{v^2}{l \cdot g} \right] = Fr \quad 4$$

$$\frac{\rho \cdot \frac{v^2}{l}}{\frac{p}{l}} = \left[ \frac{\rho \cdot v^2}{p} \right] = Eu^{-1} \quad 5$$

$$\frac{\rho \frac{v^2}{l}}{\mu \cdot \frac{v}{l^2}} = \left[ \frac{l \cdot v \cdot \rho}{\mu} \right] = \text{Re} \quad 6$$

Since the raw material in the mill and mixed moves are significant inertial forces of gravity and friction. Gravity criterion, the criterion of strength and flow criteria must therefore not be ignored. According to the above we have:

$$E_u = f(\text{Re}, \text{Fr}). \quad 7$$

#### 2.1.3.1. Dimensional analysis and the criterion equation

The formation of dimensionless numbers for a particular problem is most easily achieved by using dimensional matrix. Dimensional matrix consisting of a square and the remaining matrix. Rows of the matrix form the basis of size, and it will form a matrix of rank r. Column matrix representing the physical size or parameters. Size main square matrices appear in all the dimensionless numbers, while the remaining matrix element of each appear in only one dimensionless number. For this reason, the remaining matrix should be composed of the most important variables.

Table 1 Basic dimensional matrix

	$\rho$	$D$	$n$	$N$	$\mu$	$g$
The mass M	1	0	0	1	1	0
length L	3	1	0	2	1.	1
Time t	0	0	1.	3	1.	2.
	basic matrix			the remaining matrix		

Rearrange matrix (linear transformation) is performed by the core matrix becomes a common matrix. After the creation of a common matrix of dimensionless numbers appear in the following way. Each element of the residual matrix, which is the numerator divided by the square matrix of parameters that are graded below the number of remaining elements of the matrix as given in the example. Dimensional matrix for our case has the form

Table 2 dimensional matrix

	$\rho$	$D$	$n$	$N$	$\mu$	$g$
M	1	0	0	1	1	0
3M + L	0	1	0	5	2	1
-T	0	0	1	3	1	2
	basic matrix			the remaining matrix		

$$\frac{N}{\rho^1 \cdot n^3 \cdot D^2} = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot D^5} \equiv Np \quad \text{criterion forces the mill}$$

strength criterion is sometimes referred to as the modified term Euler (Euler) ( $E_u M$ ) because:

$$\left[ \frac{\rho \cdot v^2}{p} \right] = Eu^{-1}$$

a.

$$Eu_M = Eu^{-1} \equiv \left[ \frac{\rho \cdot v^2 \cdot l^3}{p \cdot \frac{l^3}{t}} \right] \equiv \frac{\rho \cdot n^3 \cdot D^5}{N} \equiv Np^{-1} \quad 8$$

where:

$$Q = \frac{l^3}{t} \quad \text{The flow of pulp}$$

$$\frac{g}{\rho^0 \cdot D^1 \cdot n^2} = \frac{g}{D \cdot n^2} \equiv Fr^{-1} \quad \text{No dimension Reynolds number for mixing process}$$

$$Eu_M = k \cdot Re^a \cdot Fr^b \quad \text{Froude's number of dimensionless mixing}$$

Under certain experimental conditions in the laboratory an attempt was made to arrive at solutions to equations 7 and finding the coefficient  $k$  and exponents  $a$  and  $b$ . Her new analytic form has the appearance shown by Equation 9

$$Eu_M = k \cdot Re^a \cdot Fr^b \quad 9$$

### 3 MATERIALS AND METHODS

The experiment is performed in which a grinding characteristics of fluid flow through the pipe. Fluid flow through the pipe backed up by mixing that is achieved by using milling body because the mantle of the mill rotates. In many experimental studies it was observed that the process of milling and mechanochemical treatment most affected by the following parameters:

- pulp density,
- speed of the mill shell,
- Prečmik mantle mill
- viscosity and
- gravitational acceleration

All these parameters are involved in the development of software systems and modeling of milling milling using specific criteria (Reynolds and Frudeov). Tests in laboratory conditions are used for a criterion of model equations that define the process and accelerated conditions. Since the test conditions depends on whether a criterion to be defined or undefined.

Test conditions are set so that we are the first series of experiments, consisting of three experiments, performed experiments in a single device if the criterion frud bijo fixed, while it is changed during mechanochemical treatment, or raw material flow rate through the mill, which is implication as Reynolds had a change of criteria. Such an experiment would not be feasible unless we change the type meljuće batch so we have used Sileks, alum and iron Milling body. The measured densities and viscosities of pulp were constant for the first series of experiments.

In the second series of experiments, which also consists of three experiments, we investigated conditions set by Frudeov criterion is a variable that has been possible by using different sizes of mills. Reynolds criterion in this series of experiments was maintained constant are used by different types of milling body and we had a different residence time of raw material in the mill, while at the same density and viscosity of the pulp have a constant value. This could be achieved when the mill with the largest overall dimensions used Sileks balls, then the mill with high overall dimensions used alumino balls, and at the end of the mill with the smallest overall dimensions used steel balls.

Density and viscosity of the pulp within the individual series are held constant, and the series is different, so they are performed in two series were actually two values of density and viscosity of the two values.

### 3.1. The criterion of similarity with the milling and mechanochemical treatment

Logaritm criterion equation 9 we get

$$\log Eu_M = \log k + a \cdot \log Re + b \cdot \log Fr \quad 10$$

It is necessary to experimentally determine the function  $Eu_M$  and one of the criteria, except that the second criterion is held constant in this series of experiments.

If the equation 9

$$k \cdot Fr^b = konst. = B \quad 11$$

Criterion equation is obtained:

$$\log Eu_M = a \cdot \log Re + \log B \quad 12$$

So the form.

Viscosity  $\mu$  and pulp density  $\rho_{vm}$  in the laboratory mill can be adjusted so that their ratio is constant. Measuring the viscosity of hay was carried out by Brookfield viscometer. We used the equipment with a rotating cylinder that allows the determination of viscosity in a wide range of consistency. Pulp density is measured Pyknometer mining (which is used in flotation) and scales for measuring density. Thanks to the use of different batches milling body (steel, alum and lime ball) milling time were varied but the fineness of each of these experiments was the same.

Change Reynolds  $Re$  criteria required for the formation of the model is achieved by changing the residence time of raw material in the mill equation 13<sup>th</sup>

$$Re = \frac{\rho_{vm} \cdot v \cdot D}{\mu} \quad 13$$

Where:

$\mu$  - The dynamic viscosity

$\rho_{vm}$  - Or pulp density milling

$v$  - Flow rate of raw material in the mill, it has been calculated  $v = \frac{D}{t}$  because  $L \approx D$

$t$  - During his stay in the raw mill

Change the value of Euler numerical criteria  $Eu_M$  calculated by Equation 8, and the analytical expression and equality can be seen that all parameters are known ( $N, \rho_{up}, n^3 i D^5$ ). Force

$N$  measure the electric meter, or device that is attached to the engine laboratory mill, and whose appearance is given in Appendix 2 Bulk density of the total mass or charge  $\rho_{up}$  is a linear function of pulp density  $\rho_{vm}$  where the coefficient and the direction of the axis intercept depend on the type of body or milling  $\rho_{vk}$  and  $\rho_{sk}$  as seen from equation 14: [4]

14

Where:

$\rho_{vk}$  - Bulk density sphere expressed in  $kg / m^3$

$\rho_{sk}$  - Density balls in  $kg / m^3$

$\rho_{vm}$  - Milling density or pulp in  $kg / m^3$

Density of balls;

$$\text{Cast Fe} - \rho_{sk} = 7800 \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ pressed} - \rho_{sk} = 4800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Silicate} - \rho_{sk} = 2600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

*Bulk weight of the balls*

$$\text{Cast Fe} - \rho_{vk} = 4100 \text{ do } 4200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ pressed} - \rho_{vk} = 2500 \text{ do } 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Silicate} - \rho_{vk} = 1800 \text{ do } 1900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Frudeovog consistency criteria in this series is achieved by use of the mill of the same size for all individual experiments.

Table 3      Experimental data from laboratory studies to calculate  
Modified Euler criterion or criteria in the process of power  
grinding and / or mechanochemical treatment

measured viscosity of the pulp $\mu, \text{Pa} \cdot \text{s}$ or $\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}}$	measured during the grinding $t, \text{s}$	diameter of the sheath $D, \text{m}$	speed of pulp $D \approx L$ $v = \frac{L}{t}$	measured density of the pulp $\rho_{vm}$ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Reynolds number $Re$ $Re = \frac{\rho_{vm} \cdot v \cdot D}{\mu}$	logarithm of the Reynolds number $\log Re$
0.416	600	0.305	0.000510	1226	0.458	-0.3387
0.416	400	0.305	0.000763	1226	0.686	-0.1637
0.416	180	0.305	0.001694	1226	1.523	0.1826

Table 3 extension

RPM $n \text{ s}^{-1}$	graded RPM $\text{m}^2$	Frudeov number $Fr = \frac{D \cdot n^2}{g}$	logarithm of the number Frudeovog $\log Fr$	measured power mill N, W	Milling body type	apparent density of the balls $\rho_{vk}$	density balls $\rho_{sk}$
1.04	1.082	0.0329	-1.482	760	Sileks	1800	2600
1.04	1.082	0.0329	-1.482	760	alumino	2600	4800
1.04	1.082	0.0329	-1.482	760	steel	4200	7800

Table 3 extension

density of the total Charge $\rho_{up} = \rho_{vk} + 1,15 \cdot (1 - \frac{\rho_{vk}}{\rho_{sk}}) \cdot \rho_{vm}$ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	graded diameter $D^5$	graded speed $\text{m}^3$	Euler number $Eu_M$ $Eu_M = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{N}$	logarithm of the Euler number $\log Eu$
2234	0.002639	1.124864	0.008726	-2.05917
3246	0.002639	1.124864	0.012681	-1.89684
4851	0.002639	1.124864	0.018949	-1.72241

When data from the table shows the diagram shows that the points that represent the coordinates of individual experiments are approximately straight line.

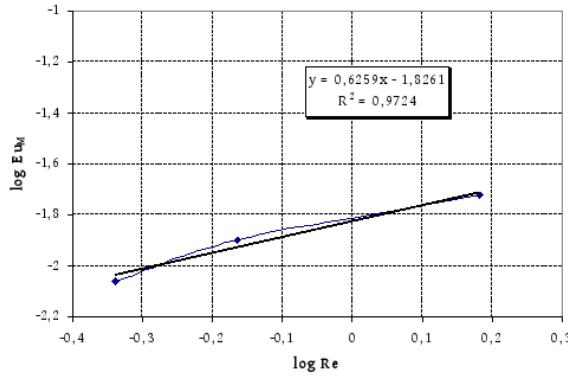


Figure 2. Function  $\log Eu_M$  i  $\log Re$

The figure shows that  $\tan \alpha = a = 0,6259$  Or  $a$  the exponent of the criteria  $Re$  And intercept on the axis  $\log Eu_M$  a value  $\log B$ , And  $\log B = -1,8261$  And then  $B = 0,014924507$ .

To determine the coefficient  $k$  from Equation 9 it is necessary to carry out another series of experiments in which the experiment conditions were set to be constant Reynolds number. So, after the first series of experiments on the model is performed a second series of experiments, in which it maintains a constant value of the criterion  $Re$  Or from equation 9:

$$k \cdot Re^a = \text{konst.} = C \quad 15$$

From this follows the criterion of equations:

$$\log Eu_M = b \cdot \log Fr + \log C \quad 16$$

So again, the straight line equation as a functional dependency  $Eu_M$  of changes  $Fr$ .

Reynolds criterion could remain constant if the first series and in the application process of milling with a change in the milling time. To Reynolds criterion remained constant it was necessary to change the time of grinding on the way to the mill is larger for longer retention time for raw materials and to a lesser mill a short retention time of raw material. These experimental conditions are achieved by reducing the speed of medium and large mills when grinding lower efficiency and increasing the number of rotations of a small mill where greater efficiency is achieved by milling. To achieve the above conditions except for changing the milling time of rotation of the mill was also necessary to use the largest batch of mill balls Vardar, in the middle of the mill batch alumino ball mill and in the smallest batch of steel balls. Finally, the Reynolds criterion to remained constant was needed more preliminary experiments to determine the density of the pulp. The experiment showed that the optimum pulp density for Sileks globe between 10% and 30% solid in the pulp while the alumino and steel balls can be higher. The requirement that the milling was successfully pulp density, which affects the viscosity of the pulp of the total charge and thus the grinding efficiency. Variability Frudeovog criteria we provide using different sized mills. Table 4 presents the experimental data for the second series of experiments.

Table 4 Experimental data from laboratory studies to calculate Modified Euler criterion or criteria in the process of power grinding and / or mechanochemical treatment

measured viscosity of the pulp $\mu, Pa \cdot s$ or $\frac{kg}{s \cdot m}$	During the milling $t, s$	diameter of the sheath $D, m$	speed of pulp $D \equiv L$ $v = \frac{L}{t}$	pulp density $\rho_{vm} \frac{kg}{m^3}$	Reynolds number $Re$ $Re = \frac{\rho_{vm} \cdot v \cdot D}{\mu}$	logarithm of the Reynolds number $\log Re$
0.17	417	0.150	0.00036	1066	0.338612	-0.4703
0.17	898	0.220	0.000245	1066	0.337985	-0.4711
0.17	1713	0.305	0.000178	1066	0.34043	-0.46797

Table 4 continued

RPM $n s^{-1}$	graded RPM $n^2$	Frudeov number $Fr = \frac{D \cdot n^2}{g}$	The logarithm of the number Frudeovog $\log Fr$	power mill N, W	Milling body type	apparent density of the balls $\rho_{vk}$	density balls $\rho_{sk}$
1.6	2.56	0.0384	-1.415668	70	steel	4200	7800
0.8	0.64	0.01408	-1.851397	250	alumino	2600	4800
0.5	0.25	0.007625	-2.117760	760	Sileks	1800	2600

Table 4 extension

density of the total Charge $\rho_{up} = \rho_{vk} + 1,15 \cdot (1 - \frac{\rho_{vk}}{\rho_{sk}}) \cdot \rho_{vm} \frac{kg}{m^3}$	graded diameter $D^5$	graded speed $n^3$	Euler number $Eu_M$ $Eu_M = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{N}$	logarithm of the Euler number $\log Eu$
4766	7.59375 E-05	4.096	0.021176492	-1.67415
3162	0.000515363	0.512	0.00333724	-2.47661
2177	0.002639363	0.125	0.000945135	-3.02451

When data from the table shows in graphic form gives almost a straight line, Figure 3.

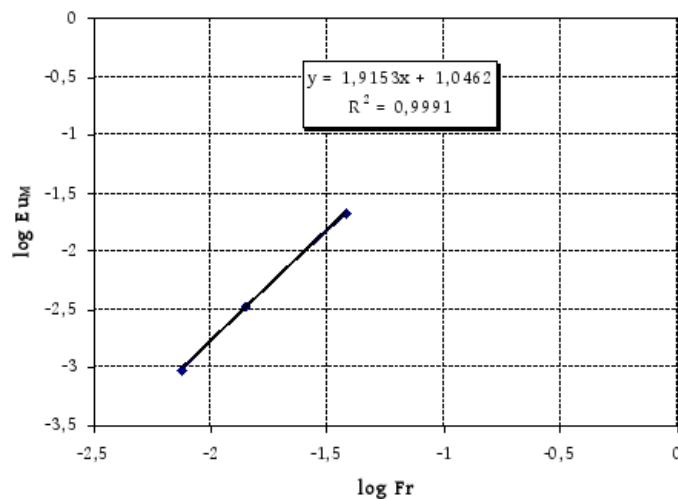


Figure 3 Function  $\log Eu_M$  i  $\log Fr$

Analogous to the previous reasoning shows that  $\operatorname{tg}\beta = b = 1,9153$  and intercept on the ordinate  $\log Eu_M$  The value  $\log C = 1,0462$  And then  $C = 11,12243817$ .

Since the two series of experiments determined the exponent of criteria  $\text{Re}^{(a)}$  criteria and the exponent  $\text{Fr}^{(b)}$ , A constant  $k$  can be calculated from:

$$k = \frac{B}{\text{Fr}^b} = \frac{0,015}{\text{Fr}^{1,92}} = 10,27, \text{ apropos } k = \frac{C}{\text{Re}^a} = \frac{11,12}{\text{Re}^{0,63}} = 21,91$$

Well you get the mean:

$$k_{sr} = \frac{\sum_1^2 k}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{10,27 + 11,12}{2} = 16,1 \quad 17$$

Given that the system is tested for this constant  $k$  and exponents  $a$  and  $b$  constants can be experimentally obtained for a combination of criteria  $\text{Re}^a \cdot \text{Fr}^b$  calculate the value  $\text{Eu}_M$ .

$$\text{Eu}_M = k \cdot \text{Re}^a \cdot \text{Fr}^b = 16,1 \cdot 0,338612^{0,63} \cdot 0,032989^{1,92} = 0,011869 \quad 18$$

Given that:  $\frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{N} = \text{Eu}_M$  and  $\text{Eu}_M = k \cdot \text{Re}^a \cdot \text{Fr}^b$  we see that the application of laboratory

tests has been a criterion equation models of milling, which can be used to calculate the increased power of the mill conditions.

$$N = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{16,1 \cdot \text{Re}^{0,63} \cdot \text{Fr}^{1,92}} \quad 19$$

Where:

$N$  - The power of the mill,  $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$

$\rho_{up}$  - Bulk density of the total charge (ball + water + material) in the mill,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$D$  - Inner diameter of the mill,  $\text{m}$

$n$  - Speed of the mill,  $\text{s}^{-1}$

### 3.2. Calculation based on engine power similarity criteria for milling and mechanochemical treatment

Criterion equation models of milling can be applied to industrial mills because they were changed in laboratory conditions, all relevant parameters influencing the process of grinding and on the basis of criteria determined by two unknown ( $\text{Re}$  and  $\text{Fr}$ ). Reproducibility of results can be made at any time since the data shown in Table 3 and 4 obtained by the method of measurement using the following devices:

- Brulkfildovog viscometer for measuring the dynamic viscosity,
- mining pycnometer with scales for measuring the density of the pulp,
- chronometer to measure the milling time and velocity of the pulp and
- Digital meters for power, voltage and current flow engine mill.

In the example below we used well-known technical and technological parameters of process of grinding in a mill designed for domeljavane quartz sand in a field near Milici Lukic to check the general criterion equation model for ball milling.

$N = 280000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$  ili  $W$  - Power for the mill again milling

$\rho_{up} = 2177 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  - Bulk density of the total charge (ball + water + material)

balls and the material of silicon dioxide. The pulp is 10% C

$$\text{which means that } \rho_{vm} = 1066 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$D = 2,2 \text{ m}$  - Inner diameter of the mill,

$n = 0,3 \text{ s}^{-1}$  - Speed of the mill,

$$N = \frac{\rho_{up} \cdot n^3 \cdot D^5}{16,1 \cdot \text{Re}^{0,63} \cdot Fr^{1,92}} = \frac{2177 \cdot 0,3^3 \cdot 2,2^5}{0,012} = 255256 \text{ W}$$

As can be seen criterion equation model gives good results when calculating the strength of the industrial engine of the mill. The equation also gives good results for Stock izabrene cylindrical ball mills the entire range of sizes.

## 4 CONCLUSION

For technical and technological solution titled "**Development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač-Zvornik obtained using the criterion equation modeling**" method used is presented of the physical modeling of grinding ITNMS developed in-a.Laboratory model for the prediction of all parameters of an industrial mill consisted of two textile mills and Denver Bond mill with steel, alum and Sileks balls.After the performed experiment in the model can be approximated by the technical conditions of the technological process in the prototype at different densities pulp milling different types of bodies, different sizes and speeds of the mill. The importance of this procedure of finding a criterion of model equations and the model itself is great, because the model can be used generally for all mineral resources.

## 5 APPLICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS

On the basis of the technical solution has been checked Here are the calculations for the milling again in the old separation of AD Boksit Milici, as evidenced by Certificate of AD Boksit Milici that this solution was deployed in the above separation.This certificate is given in the appendix.

### Acknowledgement

*The presented results of experimental work in progress on the project TR 34006 The experimental part was carried out within a ITNMS. A run-and checking the parameters of the projected work was done in-house AD Boksit Milici.*

### APPENDIX

Table 1 The most important criterion equation

Serial number of criteria	Mathematical appearance	Name of criteria
1	$\frac{F_i}{F_{tr}} = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu} = i_F = \text{Re}$	Reynolds (Reynolds)
2	$\frac{F_i}{F_g} = \frac{v^2}{d \cdot g} = i_F = Fr$	Froude (frud)
3	$\frac{F_i}{F_\sigma} = \frac{d \cdot v^2 \cdot \rho}{\sigma} = i_F = We$	Weber (Weber)

4	$\frac{Re^2}{Fr} = \frac{d^3 \cdot \rho^2 \cdot g}{\mu^2} = i_F = Ga$	Galilei (Galileo)
5	$\frac{F_p}{F_i} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot v^2} = i_F = Eu$	Euler (Euler)
6	$\frac{F_{tr}}{F_q} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = i_F = Pr$	Prandtl (Prandtl)
7	$\alpha \frac{d}{\lambda} = f(Re, Pr, Gr, \dots) = i_F = Nu$	Nu (Nusselt)
8	$\frac{F_{tr}}{F_m} = \frac{\mu}{D \cdot \rho} = i_F = Sc$	Schmidt (Schmidt)
9.	$k \frac{d}{D} = f(Re, Sc, Ga, \dots) = i_F = Sh$	Sherwood (Sherwood)
10	$Ga \cdot \Delta T \cdot \beta = \frac{d^3 \cdot \rho^2 \cdot \Delta t \cdot \beta \cdot g}{\mu^2} = i_F = Gr$	Grashoff (Grashof)
11	$D_a I = \frac{r \cdot L}{v \cdot C_A}$	Damkohler I
12.	$D_a II = \frac{r \cdot L^2}{D^* \cdot C_A}$	Damkohler II
13	$N_p = \frac{W}{L^5 \cdot \rho \cdot n^3} \frac{\text{nametnuta snaga}}{\text{sila inercije}}$	Dimensionless number for the force



Picture 4.outside look Viscometer by Brookfield

Picture 5.outside look of digital device for measuring power

Figure 6.Piknometar for measuring density



Figure 4      Industrial mill in Lukic's field near Milici

Table 2 Viscosity of some liquids

Liquid	Viscosity $\text{Pa} \cdot \text{s}$
Water	$8.94 \times 10^{-4}$
Acetone	$3.06 \times 10^{-4}$
Kastrol oil	0.985
Ethanol	$1.074 \times 10^{-3}$
Sulfuric Acid	$2.42 \times 10^{-2}$
Glycerol	1.2
Olive oil	0.081
SAE40	0.319
SAE10	0.065
Benzene	$6.04 \times 10^{-4}$
Liquid Nitrogen	$1.58 \times 10^{-4}$



АД "БОКСИТ" МИЛИЋИ, 75446 Милићи, РС, БиХ

Тел: +387 56 740 502, 745 140 • Факс: 741 067 • [www.ad-boksit.com](http://www.ad-boksit.com) • E-mail: [boksit@ad-boksit.com](mailto:boksit@ad-boksit.com)

Маш. број: 01359002    Број: 01-А-01-9322/11  
ЈИБ: 4400289270003    Датум: 21.09.2011. год  
ПИБ: 400289270003  
Рељ. суд: Окружни првредни суд Источно Сарајево  
Број рељ. уписа: 061-0-РЕГЖ-10-000 118  
Уписан и уписан осн. кадишак: 17.287.671 КМ

### ИТНМС

ИНСТИТУТ ЗА ТЕХНОЛОГИЈУ НУКЛЕАРНИХ  
И ДРУГИХ МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА

БЕОГРАД

#### СЕКТОРИ:

Поштовани,

Према Вашем захтеву и за Ваше потребе достављамо Вам

"Рударство"  
741-040

"Саобраћај"  
740-015

"Градња и  
електро-машинска  
производња"  
745-472

"Дрвопрерада"  
745-760

"Услуге туризма  
и шумарства"  
740-243

"Комерцијално-  
производни  
 послови"  
745-390

"Технички  
превледи и  
услуге"  
740-214

"Финансијски  
инжењеринг  
и развој"  
745-141

"Правни  
послови"  
740-422

### ПОТВРДУ

*"Да су на ревитализацији и доградњи старе сепарације у Лукића Польу - АД „Боксит“ Милићи“, пројектовању техничких и технолошких параметара процеса, избору и надградњи опреме примљени најсавременији научни и стручни поступци везано за прераду ровног и производњу сепарисаног кварцног пијеска по свим тржишним стандардима".*

Аутори концепцијских и технолошког рјешења:

Др Живко Секулић, Др Милан Петров, Mr Владимир Јовановић, дипл.инг. Бранислав Ивошевић, дипл.инг Велимир Антанасковић запослени у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина, 11000 Београд, Франше д' Епереа 86,

и дипл.инг. Милош Ђокановић и дипл.инг. Жељко Драгић запослени у АД „Боксит“ Милићи, Лукића Полье бб, 75446 Милићи, Република Српска, БиХ

С поштовањем!

Генерални директор  
mr Рајко Дукић



*Дукић*

Жиро-рачуни: 568-603-11000677-43 • 555-006-00002573-56 • 551-032-00002588-07 • 565-404-30000001-46  
554-012-00000154-59 • 552-020-00006783-88 • 571-030-00000482-63

ОО.110-00/103 - Издање 1



### REFERENCES

- 
1. Stanko Rozgaj, Process apparatus and appliances, IGKRO "light", Sarajevo, 1980.
  2. Milutin Grbovic, Nedeljko Magdalinović process equipment crushing and grinding of minerals, "Copper", Bor, 1980
  3. Technical and technological solutions from 2011 in the approval process. Milan Petrov and other **authors**: "*The development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birac-Zvornik obtained using the criterion equation modeling.*"
  4. Eduard Beer Guide for sizing equipment chemical process industry SKTH / Chemistry in industry, Zagreb 1985th
  5. Stevan Puštrić, selection and calculation of machine and sieving device for crushing and grinding of minerals, RGF, Belgrade in 1974.

**Project manager:**

**Ph.D. Milan Petrov, Senior Research Fellow ITNMS** \_\_\_\_\_

**PhD, Research Professor Zivko Sekulic ITNMS** \_\_\_\_\_

**Authors of technical solutions, the signature**

**Ph.D. Milan Petrov, Senior Research Fellow ITNMS** \_\_\_\_\_

**PhD, Research Professor Zivko Sekulic ITNMS** \_\_\_\_\_

**MSc. Vladimir Jovanovic, Research Associate ITNMS** \_\_\_\_\_

**BSc.Branislav Ivošević, consultant ITNMS** \_\_\_\_\_

**BSc. Miodrag Gajic, consultant ITNMS** \_\_\_\_\_

**Mr. Dejan Todorovic, Research Associate ITNMS** \_\_\_\_\_

**BSc.Milos Đokanović, AD Boksit Milici** \_\_\_\_\_

**BSc. Željko Dragic, AD Boksit Milici** \_\_\_\_\_

**Naučnom veću ITNMS-a  
Beograd**

**Predmet:** Recenzija tehničko-tehnološkog rešenja

Na osnovu Odluke Naučnog veća ITNMS donete 25.11.2011. imenovan sam za jednog od recenzentata tehničko-tehnološkog rešenja: **Razvoj programske sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modelovanja** (kategorije M-81) **Autori:** Dr Milan Petrović\*, Dr Živko Sekulić\*, Mr Vladimir Jovanović\*, dipl.ing. Branislav Ivošević\*, dipl.ing. Miodrag Gajic\*, Mr Dejan Todorović\*, dipl.ing. Miloš Đokanović\*\*, dipl.ing. Željko Dragić\*\*

\*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina,

11 000 Beograd

\*\* AD BOKSIT Milići, Lukić Polje bb, 75446 Milići, Republika Srpska, BiH

Na osnovu toga dajem,

***Mišljenje recenzenta:***

Tehničko-tehnološko rešenje pod naslovom **Razvoj programske sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modelovanja**, dato je na 18 strana teksta (format A4), sadrži četiri tabele i tri slike. Tehničko tehnološko rešenje sastoji se iz 5 osnovnih poglavlja zahvalnice i literature. U prilogu su date četiri slike uređaja koji su korišćeni u eksperimentima i dve tabele na koje se poziva tekst iz literature. Takođe je data potvrda o primeni najsavremenijih naučnih i stručnih postupaka u izradi tehničkog rešenja.

U uvodu su dati: osnovni proceduralni podaci o problematici koja se sadrži u ovom tehničko-tehnološkom rešenju, kao i podaci o postrojenju i problematici koja treba da se rešava u tehničko-tehnološkom rešenju.

U poglavlju detaljan opis tehnološkog rešenja naglasena je uloga bezdimenzionih brojeva u rešavanju svakog problema iz hemijskog inženjerstva, a posebno kod problema uvećanja (scale-up) procesa. U ovom tehničko-tehnološkom rešenju je ispitivan uticaj sila na mlevenje prema Njutn Stoksovoj jednačini kretanja viskozne tečnosti. Modelovan je proces mlevenja u funkciji snage mlina. Cilj tehničko-tehnološkog rešenja je dobijanja jednačine modela cilindričnog mlina koja se može primeniti na sve veličine mlinova. Dat je doprinos teorijskim hipotezama i ili empirijskim formulama za izračunavanje snage mlina u procesu mlevenja.

U trećem poglavlju su dati podaci o izvršenom eksperimentu u laboratorijskim i industrijskim uslovima i daje se prvi put u inženjerskoj praksi usitnjavanja mineralnih sirovina modelovanje snage mlina modifikovanim Ojlerovim Frudeovim i Rejnoldsovim bezdimenzionim brojem. U Tehničko-tehnološkom rešenju se vidi da na snagu mlina za mlevenje ili mehanohemijski tretman uticu veličina mlina D, broj obrtaja mlina n, gustina ukupnog punjenja  $\rho_{up}$  i način strujanja fluida u mlinu Re kao i veličina mlina preko Frudeovog kriterijuma.

Na kraju je data Potvrda iz AD Boksit Milići o primeni tehničkog rešenja literaturni pregled i prilozi.

Autori ovog tehnološkog rešenja navode da je ono jedan od rezultata projekta TR 34006 i TR 34013 „*Mehanohemijski tretman nedovoljno kvalitetnih mineralnih sirovina*“ i „*Osvajanje tehnoloških postupaka dobijanja ekoloških materijala na bazi nemetaličnih mineralnih sirovina*“, koje finansira Ministarstvo prosvete i nauke Srbije.

Na osnovu detaljnog pregleda ovog tehničko-tehnološkog rešenja dajem sledeći **zaključak**:  
Tekst je pisan jasno i razumljivo a tehničko-tehnološko rešenje predstavlja značajan doprinos u oblasti mlevenja i mehanohemijkog tretmana materijala na bazi kvarcne sirovine tipa peščara.

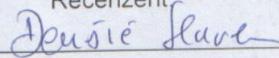
Na osnovu iznetog, predlažem Naučnom Veću ITNMS-a da prihvati tehničko-tehnološko rešenje pod nazivom „**Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modelovanja.**“ autora: Dr Milan Petrov; Dr Živko Sekulić, Mr Vladimir Jovanović, dipl.ing.Branislav Ivošević, dipl.ing. Miodrag Gajic, Mr Dejana Todorovića dipl.ing. Miloš Đokanović i dipl.ing Željko Dragić i da ga svrsta u kategoriju M81-tehnička rešenja koja su realizovana u inostranstvu.

U prilogu dajem i popunjeno recenzentski list.

U Beogradu

09.07.2012.

Recenzent:



Dr Slaven Deušić,  
redovni profesor RGF Beograd

Na osnovu člana 25. tačka 2) i 3) Zakona o naučnoistraživačkoj delatnosti i Prilogu 2 Pravilnika o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača daje se

## **MIŠLJENJE o tehničkom rešenju**

Naziv tehničkog rešenja: **Razvoj programskog sistema mlevenja kvarcnog peska ležišta Skočić za potrebe hemijske industrije fabrike glinice Birač Zvornik dobijen korišćenjem kriterijumskih jednačina modelovanja**

Autori: Dr Milan Petrov, Dr Živko Sekulić, Mr Vladimir Jovanović, dipl.ing.Branislav Ivošević, dipl.ing. Miodrag Gajić, Mr Dragana Todorovića dipl.ing. Miloš Đokanović, dipl.ing Željko Dragić

Godina: 2012.

Prijavljena kategorija: M81

Pregledom svih priloženih dokaza sam utvrdila da:

1. Rešenje poseduje stručnu komponentu celokupnog i samostalnog rezultata	da
2. Rešenje ima originalni naučno-istraživački doprinos	da
3. Rešenje poseduje uredan tehnički elaborat (naslovna strana sa osnovnim podacima, potom elaborat sa opisima, crtežima itd)	da
3.1. Naveden je korisnik rešenja (naručilac)	da
3.2. Navedeno je ko je rešenje prihvatio, ko ga primenjuje	da
3.3. Priložen je dokaz o komercijalizaciji rezultata (korišćenju)	da
4. Opisan je problem koji se rešava	da
4.1. Dato je stanje rešenosti tog problema u svetu	da
4.2. Dato je stanje rešenosti tog problema kod nas	da
5. Opisane su tehničke karakteristike	da
6. Za kritičke evaluacije podataka, baza podataka	
6.1. Deo je međunarodnog projekta	
6.2. Publikovana je kao internet publikacija ili objavljena na internetu	
6.3. Publikovano u časopisu sa SCI liste	
6.3. Ostalo	
7. Rešenje je rađeno u okviru projekta Ministarstva nauke i dat je broj projekta ili broj ugovora sa privredom iz kog proizilazi	TR 34006 i TR34013

\* uneti da/ne u prazne kockice

Dato tehničko rešenje:

1. Ispunjava uslove za priznavanje prijavljene kategorije M81
2. Ispunjava uslove za priznavanje kategorije / različite od prijavljene.
3. Ne ispunjava uslove za priznavanje tehničkih rešenja.

ZAKLJUČAK I MIŠLJENJE RECENZENTA DATO U POSEBNOM DOKUMENTU

Mesto i datum 09.07.2012.

REČENZENT:  
*Deušić Laren*  
Dr Slaven Deušić, red.prof.  
(Ime i prezime, potpis)

**Scientific Council ITNMS a  
Belgrade**

**Subject:** Review of technical and technological solutions

Based on the Decision of the Scientific Council adopted ITNMS 25.11.2011. I was appointed as one of the reviewers of the technical and technological solutions: **Development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač Zvornik obtained using the criterion equation modeling** (category M-81)

**Authors:** Ph.D. Milan Petrov \*, \* Ph.D. Zivko Sekulic, MSc. Vladimir Jovanovic \*, BSc. Branislav Ivošević \*, BSc. Miodrag Gajic \*, Mr Dejan Todorovic \*, BSc. Milos Đokanović \*\*, Ph.D. Željko Dragić \*\*

\* Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials,  
11 000 Belgrade

\*\* AD BOKSIT Milici, Lukic Polje bb, 75 446 Milici, Serbian Republic, Bosnia and Herzegovina

On that basis I give,

*Opinion of the reviewer:*

The technical and technological solution called **System Development Program of grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač Zvornik obtained using the criterion equation modeling**, was given to 18 text pages (format A4), contains four tables and three figures. Technical and technological solution consists of five chapters of thanks letter and literature. Attached are four pictures date equipment used in the experiments and the two tables on which the text refers to the literature. It was also given a certificate of employment of the latest scientific and technical procedures in the development of technical solutions.

In the introduction, are given: the basic procedural information on issues that are contained in the technical and technological solutions, as well as data on the plant and the problems to be solved in technical and technological solutions.

In the chapter a detailed description of the technological solution has emphasized the role of dimensionless numbers to solve every problem from chemical engineering, particularly in problems magnification (scale-up) process. In this technical and technological solution, the influence of forces grinding by Stoks Newton equations of motion of viscous fluids process is modeled as a function of grinding mill power. The aim of the technical and technological solutions to obtain the equations of the model cylinder mill that can be applied to all sizes of mills. It is given the contribution of theoretical hypotheses and / or empirical formulas for calculating the strength of the mill during milling.

The third section presents data on the performed experiments in laboratory and industrial conditions and provides for the first time in the engineering practice of grinding of mineral raw materials modeling of mill power Frudeo modified Euler and Reynolds dimensionless number. The technical and technological solutions can be seen that the force of grinding mill, or mechanochemically treatment affect the size D of the mill, mill speed n, the total charge density  $\rho_{sp}$  and method of fluid flow in the mill, Re and the size of the mill over Frude criteria.

Finally, the confirmation of AD Boksit Milici on the implementation of technical solutions and literature review articles.

The authors state that the technological solutions it is one of the results of TR and TR 34 006 34 013 "**Mechanochemical treatment of insufficient quality of mineral resources**" and "**Winning the technological processes of obtaining organic materials based on non-metallic mineral resources**", funded by the Ministry of Education and Science of Serbia.

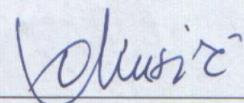
Based on extensive review of the technological solutions give the following **conclusion**:

The text is written clearly and understandably a technical-technological solution represents a significant contribution in the field of milling and mechanochemistry treatment materials based on quartz sandstone-type materials.

Based on these findings, I propose the Scientific Council ITNMS to accept a technical-technological solution titled "**Development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač Zvornik obtained using the criterion equation modeling.**" By: Ph.D. Milan Petrov: Ph.D. Zivko Sekulic, Mr. Vladimir Jovanovic, B.Sc.Branislav Ivošević, BSc. Miodrag Gajic, Mr Dejan Todorovic BSc.Milos Đokanović and Ph.D. Željko Dragic, and arrayed him in a category M81-technical solutions that are implemented abroad.

Attached to give the completed peer review list.

In Tuzla Reviewer:  
09.09.2012.



Ph.D. Omer Musić,  
Associate Professor RGF Tuzla

Pursuant to Article 25 item 2) and 3) of the Act on Scientific Research and Annex 2 of the Regulations on procedure of evaluation and quantification of research results is given to researchers

## OPINION

### the technical solution

Name of technical solutions: Development of software systems grinding quartz sand deposits Skočić for the chemical industry factory Birač Zvornik obtained using the criterion equation modeling

Ph.D. Milan Petrov \*, \* Ph.D. Zivko Sekulic, MSc. Vladimir Jovanovic \*, BSc.Branislav Ivošević, BSc. MioPh.D.ag Gajic, Mr. Ph.D.agan Todorovic BSc.Đokanović Milos, Ph.D. Željko Ph.D.agić

Year: 2012.

Reported categories: M81

Reviewing all the evidence I have found that:

1. The solution includes the professional component of the overall and individual results	that
2. The solution has a genuine scientific contribution	that
3 The solution has the proper technical study (with the main home page data, then the elaborate descriptions, Ph.D.awings etc.)	that
3.1. Is given by solution (client)	that
3.2. The above is who is the solution adopted, who applies it	that
3.3. Attached is evidence of the commercialization of the results (use)	that
{0}4.{0} {1} {/1} Described the problem to be solved	that
4.1. Given the state of resolve that problem in the world	that
4.2. Given the state of resolve that problem for us	that
5 The technical characteristics	that
6. For a critical evaluation of data, database	
6 .1.Part of the international project	
6 .2.Published as an online publication or published on the Internet	
6 .3.Published in journals with SCI	
6.3. Other	
7.The solution was carried out under the project of the Ministry of Science and dat is project number or contract number with the economy, from which derives	TR 34 006 and TR34013

\* Enter a yes / no blocks in the blank

A technical solution:

1.Qualifies for recognition categories reported M81

2.Qualifies for recognition categories / different than that applied.

3Does not meet the requirements for recognition of technical solutions.

REVIEWER'S CONCLUSIONS AND OPINIONS GIVEN in a separate document

Place and date of 09.09.2012.

REVIEWER:

Ph.D. Omer Mušić, associate professor.  
(Full name, signature)