

# Primjena ultrazvuka pri dobivanju magnezijeva hidroksida iz morske vode

---

Herceg, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:227951>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**PRIMJENA ULTRAZVUKA PRI DOBIVANJU MAGNEZIJEVA  
HIDROKSIDA IZ MORSKE VODE**

**ZAVRŠNI RAD**

**MATEA HERCEG**

**Matični broj 1259**

**Split, listopad 2018.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**PREDDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJSKE TEHNOLOGIJE**  
**SMJER: KEMIJSKO INŽENJERSTVO**

**PRIMJENA ULTRAZVUKA PRI DOBIVANJU MAGNEZIJEVA**  
**HIDROKSIDA IZ MORSKE VODE**

**ZAVRŠNI RAD**

**MATEA HERCEG**

**Matični broj 1259**

**Split, listopad 2018.**

**UNIVERSITY OF SPLIT**  
**FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**  
**ACADEMIC UNDERGRADUATE STUDY OF CHEMICAL**  
**TECHNOLOGY**  
**STUDY ORIENTATION: CHEMICAL ENGINEERING**

**APPLICATION OF ULTRASOUND FOR OBTAINING**  
**MAGNESIUM HYDROXIDE FROM SEAWATER**

**BACHELOR THESIS**

**MATEA HERCEG**

**Parent number: 1259**

**Split, October 2018**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

### ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu  
Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu  
Preddiplomski studij kemijske tehnologije

**Znanstveno područje:** Tehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Kemijsko inženjerstvo

**Tema rada** je prihvaćena na 3. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko-tehnološkog fakulteta održanoj dana 29. studenog 2017. god.

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Miroslav Labor

**Pomoć pri izradi:** dr. sc. Jelena Jakić

## PRIMJENA ULTRAZVUKA PRI DOBIVANJU MAGNEZIJEVA HIDROKSIDA IZ MORSKE VODE

Matea Herceg, broj indeksa 1259

### Sažetak:

Tehnološki postupak dobivanja magnezijeva hidroksida iz morske vode, koji je razvijen prije 50 godina, zauzima značajno mjesto među kemijskim postupcima dobivanja. Magnezijev hidroksid nalazi široku primjenu u različitim granama kemijske industrije, a u novije vrijeme i u području nanotehnologije. U ovom radu, uz primjenu ultrazvuka visokog intenziteta, cilj je bio dobiti talog magnezijeva hidroksida veličine čestica nanometra. Dobiveni talog magnezijeva hidroksida karakteriziran je određivanjem raspodjele veličine čestica metodom raspršenja laserskog svjetla u području od 20 nm do 2 mm, te SEM analizom. Rezultati ukazuju da primijenjeni eksperimentalni uvjeti ultrazvuka (amplituda 25%/60 min.) nisu dovoljni da bi se dobio magnezijev hidroksid veličine čestica nanometra.

**Ključne riječi:** nestehiometrijsko taloženje, magnezijev hidroksid, ultrazvuk, nanočestice

**Rad sadrži:** 42 stranice, 16 slika, 3 tablice, 13 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

### Sastav Povjerenstva za obranu:

1. Prof. dr. sc. Vanja Martinac – predsjednik
2. Prof. dr. sc. Pero Dabić, član
3. Izv. prof. dr. sc. Miroslav Labor – član-mentor

**Datum obrane:** 31.10.2018.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen** u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta, Split, Ruđera Boškovića 35.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

## BACHELOR THESIS

**University of Split**  
**Faculty of Chemistry and Technology**  
**Academic Undergraduate Study of Chemical Technology**

**Scientific area:** Technical Sciences

**Scientific field:** Chemical Engineering

**Thesis subject** was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology, session no. 03. (November 29<sup>th</sup> 2017).

**Mentor:** Ph. D. Miroslav Labor, associate prof.

**Technical assistance:** Ph. D. Jelena Jakić

### APPLICATION OF ULTRASOUND FOR OBTAINING MAGNESIUM HYDROXIDE FROM SEAWATER

**Matea Herceg, parent number 1259**

#### **Abstract:**

The technological process of obtaining the magnesium hydroxide from seawater, which has been developed for over 50 years, has a significant place among the chemical processes of preparation. Magnesium hydroxide is widely used in various branches of the chemical industry, and recently in the field of nanotechnology. The purpose of this paper is to obtain magnesium hydroxide, with nm particle size by using the high intensity ultrasound. Magnesium hydroxide obtained was characterized by determining particle size distribution in the range of 20 nm to 2 mm by laser scattering method and SEM analysis. The results indicate that experimental conditions of ultrasound (25% amplitude/60 min.) is not sufficient to obtain the magnesium hydroxide with nm particle size.

**Keywords:** substoichiometric precipitation, magnesium hydroxide, ultrasound, nanoparticles

**Thesis contains:** 42 pages, 16 figures, 3 tables, 13 references

**Original in:** Croatian

#### **Defence committee:**

1. Ph. D. Vanja Martinac, full prof.– chair person
2. Ph. D. Pero Dabić – full prof. – member
3. Ph. D. Miroslav Labor –associate prof. – supervisor

**Defence date:** October 31<sup>st</sup> 2018

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited** in Library of Faculty of Chemistry and Technology, Split, Ruđera Boškovića 35.

*Završni rad je izrađen u Zavodu za termodinamiku, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Miroslava Labora, u razdoblju od srpnja do rujna 2018. godine.*

**Zahvala:**

*Veliku zahvalnost, ovim putem, želim uputiti izv. prof. dr. sc. Miroslavu Laboru na stručnoj pomoći, savjetima i strpljenju tijekom izrade završnog rada.*

*Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na razumijevanju i pruženoj podršci tijekom cijelog studija koji su vjerovali u mene i onda kada ja nisam.*

*Matea Herceg*



## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Izvršiti nestehiometrijsko taloženje magnezijeva hidroksida. Dodatak dolomitnog vapna kao taložnog sredstva iznosi 80% od stehiometrijski potrebne količine.

Ispiranje taloga magnezijeva hidroksida izvršiti 5 puta destiliranom vodom u postupku dekantacije.

Nakon zadnjeg ispiranja u suspenziju magnezijeva hidroksida uroniti sondu ultrazvučnog generatora u svrhu dobivanja nanočestica.

Uvjeti rada ultrazvučnog generatora:

amplituda = 25%, vrijeme = 60 min, snaga = 96 W.

Radi usporedbe pripremiti uzorak magnezijeva hidroksida bez uporabe ultrazvuka.

Dobivenim uzorcima magnezijeva hidroksida odrediti:

- raspodjelu veličina čestica i
- SEM analizu dobivenog praha magnezijeva hidroksida.

## **SAŽETAK:**

Tehnološki postupak dobivanja magnezijeva hidroksida iz morske vode, koji je razvijen prije 50 godina, zauzima značajno mjesto među kemijskim postupcima dobivanja. Magnezijev hidroksid nalazi široku primjenu u različitim granama kemijske industrije, a u novije vrijeme i u području nanotehnologije. U ovom radu, uz primjenu ultrazvuka visokog intenziteta, cilj je bio dobiti talog magnezijeva hidroksida veličine čestica nanometra. Dobiveni talog magnezijeva hidroksida karakteriziran je određivanjem raspodjele veličine čestica metodom raspršenja laserskog svjetla u području od 20 nm do 2  $\mu$ m, te SEM analizom. Rezultati ukazuju da primijenjeni eksperimentalni uvjeti ultrazvuka (amplituda 25% /60 min.) nisu dovoljni da bi se dobio magnezijev hidroksid veličine čestica nanometra.

**Ključne riječi:** nestehiometrijsko taloženje, magnezijev hidroksid, ultrazvuk, nanočestice

**ABSTRACT:**

The technological process of obtaining the magnesium hydroxide from seawater, which has been developed for over 50 years, has a significant place among the chemical processes of preparation. Magnesium hydroxide is widely used in various branches of the chemical industry, and recently in the field of nanotechnology. The purpose of this paper is to obtain magnesium hydroxide, with nm particle size by using the high intensity ultrasound. Magnesium hydroxide obtained was characterized by determining particle size distribution in the range of 20 nm to 2 mm by laser scattering method and SEM analysis. The results indicate that experimental conditions of ultrasound (25% amplitude/60 min.) is not sufficient to obtain the magnesium hydroxide with nm particle size.

**Keywords:** substoichiometric precipitation, magnesium hydroxide, ultrasound, nanoparticles

# SADRŽAJ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| UVOD .....                                                                                     | 1  |
| 1. OPĆI DIO .....                                                                              | 3  |
| 1.1. TEHNOLOŠKI PROCES DOBIVANJA MAGNEZIJEVA HIDROKSIDA<br>IZ MORSKE VODE .....                | 4  |
| 1.1.1. Predobrada morske vode .....                                                            | 4  |
| 1.1.2. Taloženje magnezijeva hidroksida .....                                                  | 5  |
| 1.1.3. Sedimentacija magnezijeva hidroksida .....                                              | 5  |
| 1.1.4. Neutralizacija otpadne morske vode .....                                                | 6  |
| 1.1.5. Obrada taloga magnezijeva hidroksida .....                                              | 7  |
| 1.2. NANOTEHNOLOGIJA .....                                                                     | 8  |
| 2. EKSPERIMENTALNI DIO .....                                                                   | 9  |
| 2.1. ANALIZA MORSKE VODE .....                                                                 | 10 |
| 2.1.1. Određivanje kalcija u morskoj vodi .....                                                | 10 |
| 2.1.2. Određivanje magnezija u morskoj vodi .....                                              | 11 |
| 2.1.3. Određivanje slobodnog CO <sub>2</sub> u morskoj vodi .....                              | 12 |
| 2.1.4. Određivanje bora u morskoj vodi.....                                                    | 13 |
| 2.1.4.1. Princip rada pH-metra SevenCompact™ S220 .....                                        | 15 |
| 2.2. DOBIVANJE MAGNEZIJEVA HIDROKSIDA IZ MORSKE VODE .....                                     |    |
| DOLOMITNIM VAPNOM .....                                                                        | 16 |
| 2.2.1. Izvedba eksperimenta .....                                                              | 16 |
| 2.2.1.1. Predobrada morske vode .....                                                          | 16 |
| 2.2.1.2. Priprema dolomitnog vapna za taloženje magnezijeva hidroksida iz<br>morske vode ..... | 17 |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.3. Izračunavanje mase dolomitnog vapna potrebne za taloženje magnezijeva hidroksida iz morske vode..... | 18 |
| 2.2.1.4. Reakcijsko taloženje magnezijeva hidroksida iz morske vode dolomitnim vapnom.....                    | 20 |
| 2.2.1.5. Dobivanje nanočestica taloga magnezijeva hidroksida .....                                            | 21 |
| 2.3. KARAKTERIZACIJA PRAHA MAGNEZIJEVA HIDROKSIDA .....                                                       | 22 |
| 2.3.1. Određivanje kemijskog sastava praha .....                                                              | 22 |
| 2.3.2. Određivanje raspodjele veličina čestica praha magnezijeva hidroksida .....                             | 22 |
| 2.3.3. SEM analiza praha magnezijeva hidroksida .....                                                         | 24 |
| 3. REZULTATI .....                                                                                            | 25 |
| 4. RASPRAVA .....                                                                                             | 36 |
| 5. ZAKLJUČCI .....                                                                                            | 39 |
| 6. LITERATURA .....                                                                                           | 41 |



Zadnjih desetljeća nanotehnologija i nanomaterijali postali su nezaobilazna tema među istraživačima. Područje nanotehnologije pruža nove mogućnosti u razvoju materijala budući da čestice materijala veličine od 1-100 nm imaju drugačija svojstva u odnosu na čestice istog materijala makro i mikro veličine.

Prah magnezijeva hidroksida čije su čestice veličine nanometra može se uporabiti u različite svrhe: kao sredstvo za neutralizaciju otpadnih voda, sredstvo za desulfuriranje dimnih plinova, kao aditiv za očuvanje hrane te kao punilo u polimernim materijalima.

Zadatak ovog rada je primijeniti ultrazvuk visokog intenziteta u suspenziji magnezijeva hidroksida pri njegovu dobivanju iz morske vode kako bi se pripravio prah magnezijeva hidroksida dimenzija reda veličine nanometra.

Izvršeno je nestehiometrijsko (80 %-tno) taloženje magnezijeva hidroksida iz morske vode uz uporabu dolomitnog vapna kao taložnog sredstva.

Karakterizacija dobivenog praha magnezijeva hidroksida izvršena je određivanjem raspodjele veličina čestica i SEM analizom.

## **1. OPĆI DIO**



## **1.1. TEHNOLOŠKI PROCES DOBIVANJA MAGNEZIJEVA HIDROKSIDA IZ MORSKE VODE**

Tehnološki proces<sup>1-4</sup> dobivanja magnezijeva hidroksida iz morske vode može se podijeliti na nekoliko uzastopnih faza:

- predobrada morske vode,
- taloženje magnezijeva hidroksida,
- sedimentacija magnezijeva hidroksida,
- neutralizacija otpadne morske vode i
- obrada taloga magnezijeva hidroksida.

### **1.1.1. Predobrada morske vode**

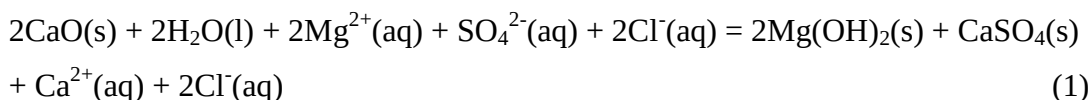
Pod predobradu morske vode podrazumijevaju se sljedeće faze:

- uklanjanje krutih onečišćenja prolaskom morske vode kroz sita
- uklanjanje pijeska pomoću filtera i mikroorganizama pomoću sterilizatora
- kloriranje morske vode da se spriječi obraštaj (rast morske flore i faune) u cjevovodima koje dovode morsku vodu do postrojenja, a time i njihovo začepljenje
- dekarbonizacija morske vode, tj. uklanjanje karbonatnih ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) i hidrogenkarbonatnih ( $\text{HCO}_3^-$ ) iona dodatkom sulfatne kiseline dok se ne postigne pH vrijednost morske vode u granicama od 3,8 – 4. Pri tom pH karbonatni i hidrogenkarbonatni ioni prelaze u  $\text{CO}_2$  koji ostaje otopljen u morskoj vodi. U svrhu uklanjanja  $\text{CO}_2$ , zakiseljena morska voda se provodi kroz desorpcijski toranj u protustruji s komprimiranim zrakom ili inertnim plinom. Struja zraka (inertnog plina) raspršuje kapljice morske vode i odnosi  $\text{CO}_2$  u atmosferu, a morska voda izlazi na dnu kolone i ide dalje u proces.
- bistrenje, odnosno hidroobrada, gdje se uklanjaju suspendirane čvrste čestice ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) ukoliko se morska voda crpi u blizini riječnih ušća.

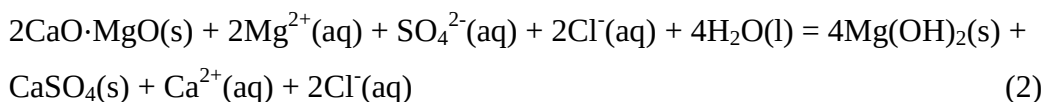
### 1.1.2. Taloženje magnezijeva hidroksida

Taloženje magnezijeva hidroksida odvija se u odgovarajućim reaktorima. Dodatkom taložnog sredstva (dolomitnog vapna ili vapna iz vapnenca) dolazi do kemijske reakcije između magnezijevih iona prisutnih u morskoj vodi i dodanog taložnog sredstva, prema sljedećim reakcijama:

- Dodatkom vapna iz vapnenca, kemijska reakcija je sljedeća:



- Dodatkom dolomitnog vapna, kemijska reakcija je sljedeća:



Taloženje magnezijeva hidroksida može se odvijati uz dodatak manje količine taložnog sredstva od stehiometrijski potrebne pa se u tom slučaju govori o nestehiometrijskom (eng. *substoichiometric*) taloženju ili uz dodatak veće količine taložnog sredstva od stehiometrijski potrebne pa se u tom slučaju govori o prestehiometrijskom (eng. *overstoichiometric*) taloženju.

Mehanizam nastajanja taloga magnezijeva hidroksida se dijeli u 2 faze koje su određene koncentracijama  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Ca}^{2+}$  iona:

- otapanje kalcijeva hidroksida
- nastajanje magnezijeva hidroksida

Ukupna brzina nastajanja taloga ovisi o najsporijoj fazi procesa, a ispitivanja su pokazala da ista opada s porastom veličine čestica korištenog dolomitnog vapna, tj. brzina taloženja je ograničena brzinom otapanja taložnog sredstva.

### 1.1.3. Sedimentacija magnezijeva hidroksida

Suspenzija magnezijeva hidroksida pumpama se prebacuje iz reaktora u taložnik. To su okrugli bazeni određenog promjera i dubine. Magnezijev hidroksid je teško topljiv, bijeli talog te ostaje na dnu taložnika, dok se bistri sloj preljeva preko rubova taložnika i nakon obrade ponovno pušta u more. Ovo je najosjetljivija faza tehnološkog procesa,

zbog velikog broja molekula koji se adsorbiraju na talog, te sam proces dugo traje. Sedimentaciju koloidnih čestica karakterizira kinetička (sedimentacijska) i koagulacijska (agregacijska) stabilnost. Kinetička stabilnost je funkcija stupnja disperzije dok je koagulacijska stabilnost funkcija elektrokinetičkog ( $\zeta$ ) potencijala. Smanjenjem vrijednosti ( $\zeta$ ) potencijala čestica je nestabilnija i sedimentira. U stanju  $\zeta = 0$ , čestice se nesmetano talože jer nema razlike potencijala između koloidne čestice i disperzne sredine. To stanje predstavlja izoelektričnu točku. Sedimentacija se vrši pri uvjetima laminarnog strujanja, pa vrijedi Stokesov zakon:

$$v = \frac{g \cdot d_s^2 \cdot (\rho_s - \rho_l)}{18 \cdot \mu} \quad (3)$$

gdje je:

$v$  – brzina sedimentacije,  $\text{m s}^{-1}$

$g$  – gravitacijsko ubrzanje,  $\text{m s}^{-2}$

$d_s$  – promjer čestice,  $\text{m}$

$\rho_s$  – gustoća čestice,  $\text{kg m}^{-3}$

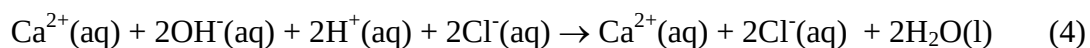
$\rho_l$  – gustoća kapljevine,  $\text{kg m}^{-3}$

$\mu$  – viskoznost,  $\text{Pa s}$

Što je čestica većeg promjera i što joj je gustoća veća to će brže padati. Porastom veličine čestice, opada kinetička (sedimentacijska) stabilnost koloidnog sustava. Snažno miješanje otopine dovodi do brže raspodjele i izmješanosti reaktanata. Dodatkom odgovarajućih koagulirajućih sredstava (anionskih flokulanata) pospješuje se brzina sedimentacije magnezijeva hidroksida. Oni neutraliziraju  $\zeta$ -potencijal te omogućuju okrupnjavanje čestica, zbog čega raste i brzina padanja čestica ( $v \sim d_s^2$ ). Optimalno vrijeme, obzirom na potpunost reakcije, je oko 30 min.

#### 1.1.4. Neutralizacija otpadne morske vode

Tijekom sedimentacije preko rubova taložnika prelijeva se otpadna morska voda koja se prije vraćanja u more, radi ekoloških razloga, neutralizira dodatkom konc. kloridne kiseline. Reakcija je sljedeća:



Neutralizacija se obavlja do postizanja pH vrijednosti oko (8,0 – 8,2), što odgovara pH vrijednosti morske vode. Pri nestehiometrijskom 80%-tnom taloženju potrebna je znatno manja količina kloridne kiseline koja iznosi 1,1 g konc. HCl / kg MgO.<sup>5</sup>

### 1.1.5. Obrada taloga magnezijeva hidroksida

Obrada taloga magnezijeva hidroksida ovisi o njegovoj konačnoj namjeni. Ukoliko se želi dobiti visokovatrostalni magnezijev oksid, talog magnezijeva hidroksida se žari pri 950 °C pri čemu nastaje „kaustični magnezijev oksid“, koji procesom sinteriranja pri visokim temperaturama (>1750 °C) prelazi u periklas, tj. vatrostalni magnezijev oksid. Ako se želi dobiti metalni magnezij talog magnezijeva hidroksida prevodi se u bezvodni magnezijev klorid i podvrgava procesu elektrolize.

U svrhu dobivanja nanočestica talog magnezijeva hidroksida tretira se primjenom ultrazvuka visokog intenziteta.<sup>6</sup> Ultrazvučni uređaji velike snage najčešće djeluju s rasponom frekvencija od 20 do 100 kHz. Princip rada ultrazvuka velike snage temelji se na pretvaranju električne energije u ultrazvuk velike snage s visokim amplitudama.

Ultrazvuk tako visokog intenziteta može uzrokovati fizičke promjene materijala te određene kemijske reakcije u materijalima na kojima je primijenjen. Ultrazvuk pokreće generator koji pretvara napon istosmjerne struje u visoke frekvencije od oko 25 kHz (25 000 ciklusa po sekundi) električne energije. Pomoću ultrazvučnih pretvarača, uglavnom piezoelektričnih, električna energija pretvara se u energiju zvuka. U nastalom električnom polju piezoelektrični kristali se šire i kontrahiraju. Uslijed privlačenja polariziranih molekula dolazi do pojave mehaničkih vibracija koje se pojačavaju na pojačalu te se ultrazvučni valovi emitiraju sondaom u medij. Prolaskom ultrazvučnog vala kroz medij dolazi do nastanka longitudinalnih valova što dovodi do stvaranja promjenjivih kompresija i ekspanzija tlaka.

Dobiveni talog magnezijeva hidroksida nakon tretiranja s ultrazvukom suši se u sušioniku pri 105 °C.

## 1.2. NANOTEHNOLOGIJA

Zadnjih desetljeća nanotehnologija i nanomaterijali sve više zaokupljaju interes među znanstvenicima i vrlo su živo područje istraživanja u svijetu. Velika zainteresiranost prema nanotehnologiji leži u novim mogućnostima koje ovo područje donosi u medicini, zaštiti okoliša, informacijsko-komunikacijskim tehnikama, kemijskoj, prehrambenoj i farmaceutskoj industriji te kozmetici.<sup>7</sup> U širem smislu pojam „nanotehnologija“ uključuje istraživanje i razvoj tehnologija i novih svojstava struktura s dimenzijama na nanoskali (1 do 100 nm).<sup>8</sup>

Ono što nanomaterijale čini jedinstvenima je njihovo različito ponašanje u usporedbi s makromaterijalima istog sastava. Te razlike proizlaze iz promjena fizikalnih i kemijskih svojstava zbog reduciranja veličine od makro i mikro na nano. Iz navedenog proizilazi i njihova jedinstvena primjena u mnogim komercijalnim i tehnološkim područjima.<sup>9</sup> Smanjenjem veličine čestica raste omjer između broja atoma na površini i onih u masi (volumenu) pa nanočestice mogu biti mnogo reaktivnije i djelotvornije kao npr. katalizatori ili kao punila i ojačavala u kompozitnim materijalima.<sup>7</sup>

Nanokeramički prašci<sup>7</sup> uske raspodjele veličine čestica i visoke čistoće omogućuju:

- dobivanje uređenih struktura i uniformnih poredaka
- sinteriranje pri nižim temperaturama i
- proizvodnju dobro kontroliranih proizvoda za mikroelektroniku, magnetnu pohranu podataka, različite kemijske primjene.

Područje nanotehnike<sup>7</sup> može se podijeliti na tri dijela:

- Prvoj skupini pripadaju nanomaterijali – to su jednokomponentni ili višekomponentni materijali kod kojih je barem jedna dimenzija komponente u rasponu između 0,1 i 100 nm (nanočestice, nanovlakna i nanocjevčice, nanokompoziti i nanostrukturirane površine
- Drugu skupinu čine nanoalati (alati i tehnike za sintezu nanomaterijala)
- Treći dio pripada nanouređajima (naprave na nanoskali važne u mikroelektronici i optoelektronici).

Uz golem tržišni potencijal oni donose i nove rizike zbog negativnog utjecaja nanočestica na žive organizme, ljudsko zdravlje i okoliš.<sup>10,11</sup>

## **2. EKSPERIMENTALNI DIO**

## 2.1. ANALIZA MORSKE VODE

Morska voda korištena za dobivanje magnezijeva oksida uzeta je na lokaciji Oceanografskog instituta u Splitu. Za analizu morske vode na sadržaj magnezijeva oksida i kalcijeva oksida primjenjuje se kompleksometrijska metoda. Slobodni CO<sub>2</sub> u morskoj vodi, kao i potpunost uklanjanja CO<sub>2</sub> nakon prolaska morske vode kroz desorpcijski toranj tijekom predobrade, određen je titracijom s natrijevim hidroksidom. Sadržaj bora u morskoj vodi određen je potencijometrijskom titracijom.

### 2.1.1. Određivanje kalcija u morskoj vodi

Potrebni reagensi:

- 0,05 mol dm<sup>-3</sup> EDTA
- konc. trietanolamin
- 10%-tna otopina KOH
- kalcein indikator

#### Postupak rada:

U 5 cm<sup>3</sup> morske vode doda se 5 kapi konc. trietanolamina (veže se R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, R = Al, Fe) i uključi magnetska miješalica. Otopina se razrijedi s 50-60 cm<sup>3</sup> destilirane vode, a zatim zaluži s 10%-tnom otopinom KOH da se postigne pH = 12,00-13,00 te se na kraju doda malo kalcein indikatora. Titrira se s 0,05 mol dm<sup>-3</sup> EDTA do prvog izrazitog prijelaza boje iz zeleno-žute u ružičastu.

Sadržaj kalcija u uzorku, izražen kao CaO, izračunava se na sljedeći način:

$$\text{CaO} = \frac{B \cdot 0,005 \cdot f \cdot r \cdot M(\text{CaO})}{1000}, \text{ g dm}^{-3} \quad (5)$$

gdje je:

B – cm<sup>3</sup> 0,05 mol dm<sup>-3</sup> EDTA utrošeni za titraciju CaO

f – faktor 0,05 mol dm<sup>-3</sup> EDTA

r – razrijedenje

M(CaO) – molarna masa CaO

Primjer proračuna:

$B = 1,29 \text{ cm}^3$   $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  EDTA (srednja vrijednost tri mjerenja)

$f = 1,0151$

$r = 200$

$M(\text{CaO}) = 56,08 \text{ g mol}^{-1}$

$$\text{CaO} = \frac{1,29 \cdot 0,05 \cdot 1,0151 \cdot 200 \cdot 56,08}{1000} = 0,7344 \text{ g dm}^{-3}$$

### 2.1.2. Određivanje magnezija u morskoj vodi

Potrebni reagensi: –  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  EDTA

– konc. trietanolamin

– pufer otopina ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$ )

– metil-timol plavo indikator

Postupak rada:

U  $5 \text{ cm}^3$  morske vode doda se 5 kapi konc. trietanolamina (veže se se  $\text{R}_2\text{O}_3$ ,  $\text{R} = \text{Al}, \text{Fe}$ ) i uključi magnetska miješalica. Otopina se razrijedi sa  $50\text{-}60 \text{ cm}^3$  destilirane vode. Zatim se doda pufer otopina ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$ ) da se postigne  $\text{pH} = 10,00$ . Uz dodatak male količine metil-timol plavo indikatora otopina se titrira do prijelaza modre u prljavo-sivu boju. Pri kraju titracije treba raditi sasvim polagano uz intenzivno miješanje. Ovom metodom određuje se ukupni kalcij i magnezij u uzorku.

Sadržaj magnezija u uzorku, izražen kao MgO, izračunava se na sljedeći način:

$$\text{MgO} = \frac{(A-B) \cdot 0,05 \cdot f \cdot r \cdot M(\text{MgO})}{1000}, \text{ g dm}^{-3} \quad (6)$$

gdje je:

$A$  –  $\text{cm}^3$   $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  EDTA utrošeni kod titracije ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ )

$B$  –  $\text{cm}^3$   $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  EDTA utrošeni za titraciju CaO

$f$  – faktor  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  EDTA

$r$  – razrijeđenje

$M(\text{MgO})$  – molarna masa MgO



Primjer proračuna:

A = 6,94 cm<sup>3</sup> 0,05 mol dm<sup>-3</sup> EDTA (srednja vrijednost tri mjerenja)

B = 1,29 cm<sup>3</sup> 0,05 mol dm<sup>-3</sup> EDTA (srednja vrijednost tri mjerenja)

f = 1,0151

r = 200

M(MgO) = 40,32 g mol<sup>-1</sup>

$$\text{MgO} = \frac{(6,94 - 1,29) \cdot 0,05 \cdot 1,0151 \cdot 200 \cdot 40,32}{1000} = 2,3125 \text{ g dm}^{-3}$$

### 2.1.3. Određivanje slobodnog CO<sub>2</sub> u morskoj vodi

Potrebni reagensi:      – 0,05 mol dm<sup>-3</sup> NaOH  
                                 – fenolftalein indikator

Postupak rada:

Otpipetira se 200 cm<sup>3</sup> zakiseljene morske vode i stavi u tikvicu od 250 cm<sup>3</sup> s brušenim čepom. Doda se 0,5 cm<sup>3</sup> fenolftaleina i titrira s 0,05 mol dm<sup>-3</sup> NaOH uz mućkanje do lagano ružičaste boje. Tijekom mućkanja tikvicu treba držati začepljenu. Sadržaj slobodnog CO<sub>2</sub> u morskoj vodi računa se na osnovi odnosa:

$$1,00 \text{ cm}^3 0,05 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaOH} \sim 2,2 \text{ mg CO}_2 \quad (7)$$

Primjer proračuna:

Analiza morske vode prije propuhivanja komprimiranim zrakom:

Volumen 0,05 mol dm<sup>-3</sup> NaOH = 1,45 cm<sup>3</sup> (srednja vrijednost tri mjerenja)

$$1,00 \text{ cm}^3 0,05 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaOH} \sim 2,2 \text{ mg CO}_2$$

$$\underline{1,45 \text{ cm}^3 0,05 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaOH} \sim x \text{ mg CO}_2}$$

$$x = 3,19 \text{ mg CO}_2 / 200 \text{ cm}^3 \text{ morske vode} = 15,95 \text{ mg CO}_2 / \text{dm}^3 = 0,01595 \text{ g CO}_2 / \text{dm}^3$$

Analiza morske vode nakon propuhivanja komprimiranim zrakom:

Volumen  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH =  $0,85 \text{ cm}^3$  (srednja vrijednost tri mjerenja)

$1,00 \text{ cm}^3$   $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH  $\sim 2,2 \text{ mg CO}_2$

$0,85 \text{ cm}^3$   $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH  $\sim x \text{ mg CO}_2$

$x = 1,87 \text{ mg CO}_2 / 200 \text{ cm}^3 \text{ morske vode} = 9,35 \text{ mg CO}_2 / \text{dm}^3 = 0,00935 \text{ g CO}_2 / \text{dm}^3$

Smanjenje količine  $\text{CO}_2$  u morskoj vodi:

$15,95 - 9,35 = 6,6 \text{ mg CO}_2 / \text{dm}^3 \text{ morske vode} = 0,0066 \text{ g CO}_2 / \text{dm}^3 \text{ morske vode}$

#### 2.1.4. Određivanje bora u morskoj vodi

Određivanje bora u morskoj vodi vrši se metodom potenciometrijske titracije. Praćenje promjene pH vrijednosti tijekom titracije vrši se na pH-metru (tip SevenCompact<sup>TM</sup> S220) uz korištenje kombinirane elektrode. Koeficijent varijacije ove metode<sup>12</sup> je  $\pm 1\%$ .

Potrebni reagensi:

- $1 \text{ mol dm}^{-3}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$
- $3 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH
- $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH
- D (-) manitol (manit) p.a.

Postupak rada :

U čašu od  $600 \text{ cm}^3$  otpipetira se  $100 \text{ cm}^3$  morske vode i doda  $100 \text{ cm}^3$  destilirane vode. Otopina se zakiseli s  $1 \text{ mol dm}^{-3}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  do volumena u čaši od oko  $250 \text{ cm}^3$  (višak  $0,5\text{-}1,0 \text{ cm}^3$ ). Uzorak se zakuha da se istjera  $\text{CO}_2$  (dok se volumen ne smanji na oko  $200 \text{ cm}^3$ ), a zatim se uzorak pokrije poklopcem da se spriječi utjecaj atmosferskog  $\text{CO}_2$ . Hlađenje do sobne temperature vrši se pomoću vodene kupelji. Tijekom titracije otopina se miješa na magnetskoj miješalici. Otopinu je potrebno neutralizirati do pH = 5,00 dodatkom  $3 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH, a potom do pH = 7,00 dodatkom  $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH. Ukoliko se dodatkom lužine prijeđe vrijednost pH = 7,00, tada

se dodatkom HCl (1:1) vrijednost snižava na  $\text{pH} \leq 7,00$ . U početnoj točki titracije ( $\text{pH} = 7,00$ ) doda se  $5,0 \text{ g } (\pm 0,1 \text{ g})$  manitola. Nastavlja se titrirati sa  $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH dok se ponovo ne postigne početna točka titracije.

Bilježi se broj  $\text{cm}^3$  standardne otopine lužine, nakon dodatka manitola u početnoj točki titracije.

Na isti način vrši se određivanje slijepe probe, koristeći  $100 \text{ cm}^3$  destilirane vode umjesto uzorka. Utrošak  $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH kod titracije slijepe probe je  $0,0 \text{ cm}^3$ .

Sadržaj bora u uzorku, izražen u  $\text{mg dm}^{-3}$  morske vode, određuje se prema izrazu:

$$B = \frac{(A - C) \cdot 0,0231 \cdot f \cdot M(B)}{a}, \text{ mg dm}^{-3} \quad (8)$$

gdje je:

$A$  –  $\text{cm}^3$   $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH utrošeni za titraciju bora u uzorku

$C$  –  $\text{cm}^3$   $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH utrošeni za titraciju slijepe probe

$f$  – faktor  $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH

$M(B)$  – molarna masa bora ( $10,82 \text{ g mol}^{-1}$ )

$a$  –  $\text{cm}^3$  uzorka (morska voda)

Primjer proračuna:

$A = 1,717 \text{ cm}^3$   $0,0231 \text{ mol dm}^{-3}$  NaOH (srednja vrijednost tri mjerenja)

$f = 1,0909$

$M(B) = 10,82 \text{ g mol}^{-1}$

$a = 100 \text{ cm}^3$  morske vode

$$B = \frac{1,717 \cdot 0,0231 \cdot 1,0909 \cdot 10,82 \cdot 1000}{100} = 4,68 \text{ mg dm}^{-3} = 4,68 \cdot 10^{-3} \text{ g dm}^{-3}$$

#### 2.1.4.1. Princip rada pH-metra SevenCompact™ S220



Slika 1. Shematski prikaz pH-metra SevenCompact™ S220

##### Kalibracija instrumenta:

- uključiti instrument pritiskom na **On/Off**
- uroniti elektrodu u pufer otopinu 1 i na pokazivaču pritisnuti oznaku **Cal**
- kad se vrijednost stabilizira isprati elektrodu destiliranom vodom
- uroniti elektrodu u pufer otopinu 2 i na pokazivaču pritisnuti oznaku **Cal**
- nakon što se vrijednost stabilizira na pokazivaču pritisnuti oznaku **End**, a zatim **Save**.

Na taj način izvršena je kalibracija instrumenta.

Za određivanje pH nepoznate otopine uroniti elektrodu u otopinu i pritisnuti oznaku **Read**,

- nakon što se vrijednost ustali očitati pH.

Postignuti rezultati ispitivanja sastava morske vode uzete s lokacije Oceanografskog instituta prikazani su u tablici 1.

TABLICA 1. Kemijski sastav morske vode

| Komponenta                  | CaO    | MgO    | CO <sub>2</sub> | B                    |
|-----------------------------|--------|--------|-----------------|----------------------|
| $\gamma / \text{g dm}^{-3}$ | 0,7344 | 2,3125 | 0,016           | $4,68 \cdot 10^{-3}$ |

## 2.2. DOBIVANJE MAGNEZIJEVA HIDROKSIDA IZ MORSKE VODE DOLOMITNIM VAPNOM

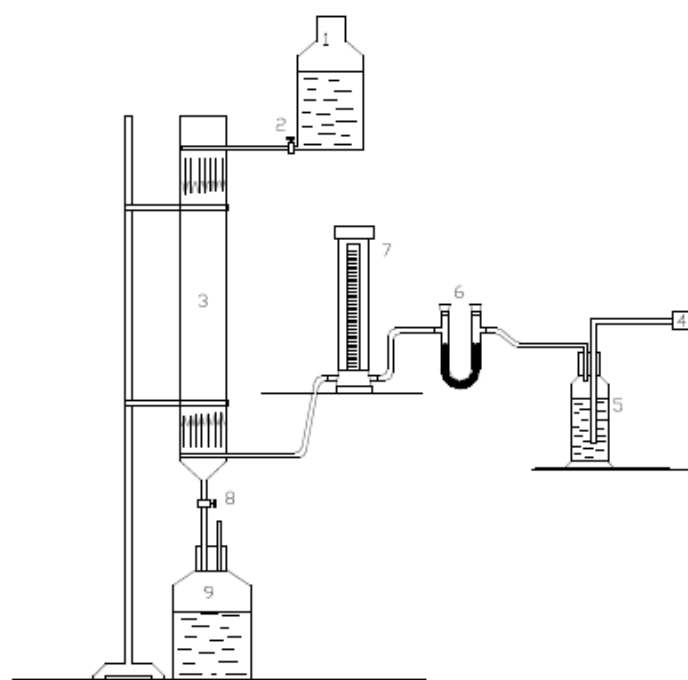
### 2.2.1. Izvedba eksperimenta

#### 2.2.1.1. Predobrada morske vode

Nakon analize morske vode na kalcij i magnezij (prema postupku 2.1.1.), obavlja se predobrada morske vode zakiseljavanjem sulfatnom kiselinom do pH = 3,8 - 4,0. Promjena pH morske vode prati se na pH-metru (tip SevenCompact™ S220).

Da se odstrani CO<sub>2</sub> koji ostaje otopljen u morskoj vodi, zakiseljena morska voda provodi se kroz desorpcijski toranj u protustruji s komprimiranim zrakom. Aparatura za desorpciju CO<sub>2</sub> iz morske vode prikazana je na slici 2.2.

U posudi (1) nalazi se zakiseljena morska voda (pH = 3,8 - 4,0). Pomoću pipca (2) regulira se protok morske vode u desorpcijski toranj (3). Toranj je ispunjen Raschingovim prstenima kako bi se povećala reakcijska površina tornja. Iz pumpe (4) protustrujno morskoj vodi, dolazi inertni plin (zrak). Zrak prolazi kroz ispiralicu (5) s 10%-tnom KOH. KOH apsorbira CO<sub>2</sub> iz zraka. Zrak dalje prolazi kroz U-cijev (6) ispunjenu pamukom kako bi se odstranile eventualne kapljice KOH nošene zrakom iz ispiralice. Ovo je neophodno da se spriječi prijevremeno taloženje magnezijeva hidroksida u desorpcijskom tornju. Protok zraka mjeri se rotametrom (7). Nakon prolaza kroz rotametar zrak ulazi u desorpcijski toranj. U desorpcijskom tornju struja zraka raspršuje kapljice morske vode, odnosi CO<sub>2</sub> u atmosferu, dok morska voda oslobođena od CO<sub>2</sub> preko pipca (8) otječe u posudu (9). Stupanj desorpcije CO<sub>2</sub> podešava se uspostavljanjem odgovarajućeg protoka zraka na rotametri (7) i regulacijom protoka morske vode pomoću pipca (2).

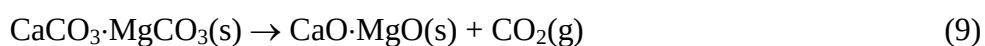


Slika 2. Shematski prikaz aparature za desorpciju CO<sub>2</sub> iz morske vode, 1 – posuda napunjena zakiseljenom morskom vodom, 2 – pipac, 3 – desorpcijski toranj, 4 – crpka, 5 – ispiralica, 6 – U-cijev, 7 – rotametar, 8 – pipac, 9 – posuda s obrađenom morskom vodom

Protok komprimiranog zraka iznosio je  $Q = 120 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$ , a protok morske vode  $Q = 100 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$  (odnosno  $6 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$ ). Potpunost uklanjanja CO<sub>2</sub> ispituje se titracijom s NaOH (vidi postupak 2.1.3.).

#### 2.2.1.2. Priprema dolomitnog vapna za taloženje magnezijeva hidroksida iz morske vode

Prije reakcije taloženja obavlja se kalcinacija dolomita prema reakciji:



Proces kalcinacije potrebno je voditi tako da dođe do potpunog raspada karbonata prema reakciji (9), ali ne i do prepečenosti. Nedovoljno kalciniran ili pak pretjerano

kalciniran dolomit ulazi u talog magnezijeva hidroksida kao onečišćenje. Osim toga, nepravilno kalciniran dolomit pokazuje znatno slabiju reaktivnost.

Ispitivanja su pokazala da se povoljni rezultati postižu žarenjem do konstantne mase pri temperaturi 950 °C u trajanju 5 sati.

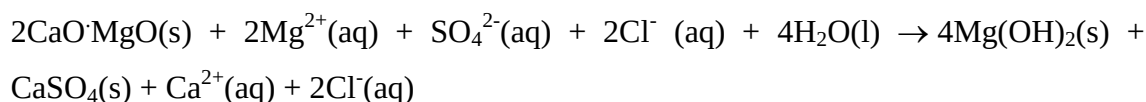
Kemijska analiza kalciniranog dolomita prikazana je u tablici 2.

TABLICA 2. Kemijska analiza dolomitnog vapna

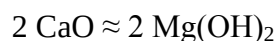
| Sastojak                       | Maseni udjel<br>mas. % |
|--------------------------------|------------------------|
| MgO                            | 40,69                  |
| CaO                            | 59,03                  |
| SiO <sub>2</sub>               | 0,1083                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0705                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0925                 |

### 2.2.1.3. Izračunavanje mase dolomitnog vapna potrebne za taloženje magnezijeva hidroksida iz morske vode

Proces taloženja magnezijeva hidroksida u morskoj vodi dolomitnim vapnom može se prikazati jednadžbom (2), tj.:



Kako magnezijev oksid iz dolomitnog vapna ne sudjeluje u reakciji taloženja slijedi da je:



odnosno da je:



Koristeći se ovom relacijom može se iz poznatih kemijskih analiza morske vode i dolomitnog vapna izračunati masa taložnog reagensa potrebnog za taloženje magnezijeva hidroksida iz  $2 \text{ dm}^3$  morske vode.

Primjer proračuna:

Morska voda u kojoj se taložio magnezijev hidroksid imala je ovu masenu koncentraciju s obzirom na magnezijev oksid:

$$\text{MgO} = 2,3125 \text{ g dm}^{-3}.$$

Sastav žarenog dolomita s obzirom na kalcijev oksid iznosio je:

$$\text{CaO} = 59,03 \text{ mas. \%}$$

Dakle, u 100 g žarenog dolomita ima 59,03 g CaO.

$$\text{CaO iz dolomita} \approx \text{MgO iz morske vode}$$

$$56,08 \approx 40,32$$

$$x \approx 2,3125$$

---

$$x = 3,2164 \text{ g CaO je potrebno za taloženje MgO iz } 1 \text{ dm}^3 \text{ morske vode}$$

$$1 \text{ g žarenog dolomita} \approx 0,5903 \text{ g CaO}$$

$$x \approx 3,2164$$

---

$$x = 5,4488 \text{ g dolomitnog vapna je potrebno za 100\%-tno taloženje MgO u } 1 \text{ dm}^3 \text{ morske vode}$$

Za 100%-tno taloženje u volumenu od  $1 \text{ dm}^3$  morske vode potrebno je izvagati

5,4488 g dolomita.

Odgovarajuću masu, m, dolomitnog vapna potrebnu za nestehiometrijsko, 80%-tno taloženje magnezijeva hidroksida u volumenu od  $2 \text{ dm}^3$  morske vode dobit će se ako masu dolomitnog vapna potrebnu za 100%-tno taloženje (stehiometrijsko taloženje) pomnožimo s odgovarajućim koeficijentom.

Za 80%-tno taloženje, iz  $2 \text{ dm}^3$  morske vode, potrebna masa dolomitnog vapna iznosi:

$$m = 5,4488 \cdot 0,8 \cdot 2 = 8,7181 \text{ g}$$



#### 2.2.1.4. Reakcijsko taloženje magnezijeva hidroksida iz morske vode dolomitnim vapnom

Reakcijsko taloženje magnezijeva hidroksida u predobrađenoj morskoj vodi obavlja se s 80%-tnom količinom dolomitnog vapna kao taložnog sredstva uz optimalni dodatak flokulanta<sup>13</sup> 818A, u svrhu poboljšanja brzine sedimentacije nastalog magnezijeva hidroksida.

##### Postupak rada je sljedeći:

U čašu od 2 dm<sup>3</sup> doda se prethodno obrađena morska voda (volumen izmjeriti odmjernom tikvicom). Uključi se magnetska miješalica i pričekaj do pojave "vira". Zatim se u "vir" doda izvagana količina dolomitnog vapna u prahu i suspenzija miješa na magnetskoj miješalici 30 minuta. Dva puta tijekom reakcije (u 10-oj i 20-oj min.) prekida se rad miješalice i suspenzija promiješa staklenim štapićem tako da se krupnije čestice neizreagiranog reagensa koncentriraju na središnjem dijelu dna čaše. Krupnija zrna se razbiju štapićem, a zatim se miješalica ponovo uključi. U 30-oj minuti u "vir" se doda određena količina flokulanta 818A. Optimalna količina<sup>13</sup> 818A flokulanta za 80 %-tno taloženje iz 2 dm<sup>3</sup> morske vode iznosi 6,8 cm<sup>3</sup>. Miješalica se isključi i ponovo uključi do pojave "vira". Kad se pojavi "vir" miješalica se isključi, a suspenzija se ostavi da sedimentira. Masa magnezijeva hidroksida koja se dodatkom 8,7181 g dolomitnog vapna (za 80%-tno taloženje) taloži može se izračunati na sljedeći način:

$$8,7181 \cdot 0,5903 = 5,1463 \text{ g CaO}$$

$$8,7181 \cdot 0,4069 = 3,5474 \text{ g MgO}$$

$$\text{CaO iz dolomita} \approx \text{MgO iz morske vode}$$

$$56,08 \approx 40,32$$

$$x \approx 5,1463$$

---

$$x = 3,7001 \text{ g MgO}$$

Dakle, CaO iz ovog uzorka dolomitnog vapna može istaložiti 3,7001 g MgO iz 2 dm<sup>3</sup> morske vode.

$$\text{Ukupno MgO} = \text{MgO istaložen iz morske vode} + \text{MgO iz dolomitnog vapna}$$

$$\text{Ukupno MgO} = 3,7001 + 3,5474 = 7,2475 \text{ g}$$

$$\text{MgO} \approx \text{Mg(OH)}_2$$

$$40,32 \approx 58,32$$

$$x \approx 7,2475$$


---

$$x = 10,4829 \text{ g Mg(OH)}_2$$

Dakle, masa taloga magnezijeva hidroksida koji sedimentira pri 80%-tnom taloženju iz 2 dm<sup>3</sup> morske vode iznosi 10,4829 g.

#### 2.2.1.5. Dobivanje nanočestica taloga magnezijeva hidroksida

Nakon sedimentacije taloga magnezijeva hidroksida vrši se dekantacija i talog magnezijeva hidroksida 5 puta ispiri destiliranom vodom.

Nakon završenog ispiranja u suspenziju magnezijeva hidroksida unosi se sonda ultrazvuka HIELSCHER UP 400St pri radnim uvjetima:

- amplituda = 25%,
- vrijeme = 30 min,
- snaga = 96 W.

U svrhu izdvajanja taloga vrši se centrifugiranje na uređaju TEHTNICA LC-320 pri brzini od 3000 okr./min u trajanju 5 min.

Radi usporedbe pripremljen je i uzorak taloga magnezijeva hidroksida bez uporabe ultrazvuka. Uzorak je nakon dekantacije i ispiranja 5 puta destiliranom vodom, filtriran na većem broju lijevaka (filar papir plava vrpca) da se odstrani kapljevita faza.

Talozi koji ostaju nakon ispiranja na lijevcima i nakon centrifugiranja se prenose na satna stalakca i suše u sušioniku pri 105 °C, a zatim se usitne mljevenjem u mikro mlinu ("pulverisette 0" – njemačke tvrtke Fritsch) .

U radu su, dakle, pripremljena dva uzorka magnezijeva hidroksida:

- Uzorak 1 – bez uporabe ultrazvučnog generatora
- Uzorak 2 – uz uporabu ultrazvučnog generatora

## 2.3. KARAKTERIZACIJA PRAHA MAGNEZIJEVA HIDROKSIDA

### 2.3.1. Određivanje kemijskog sastava praha

Uzorci magnezijeva hidroksida žareni su pri 950 °C u trajanju 5 sati te im je određen kemijski sastav s obzirom na MgO, CaO, sadržaj bora kao i gubitak žarenja.

Prikazani rezultati predstavljaju prosjek većeg broja mjerenja.

Gubitak žarenja ispitivanih uzoraka iznosio je 32,44 mas. %.

Dobiveni MgO imao je sljedeći kemijski sastav:

MgO = 96,62 mas. %; CaO = 3,07 mas. %; B = 0,0829 mas. %

Koristeći navedene podatke izračunat je kemijski sastav magnezijeva hidroksida dobivenog (80%-tnim taloženjem) iz morske vode. Rezultati su prikazani u tablici 3.

TABLICA 3. Kemijski sastav magnezijeva hidroksida (80%-tno taloženje) iz morske vode

| Sastojak | CaO  | MgO   | B      | g.ž.  |
|----------|------|-------|--------|-------|
| mas. %   | 2,07 | 65,28 | 0,0560 | 32,44 |

### 2.3.2. Određivanje raspodjele veličina čestica praha magnezijeva hidroksida

Raspodjela veličina čestica praha magnezijeva hidroksida za Uzorak 1 i Uzorak 2 izvršena je na analizatoru veličina čestica „Mastersizer 2000“ na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu u Laboratoriju za sintezu novih materijala.

Uređaj služi za mjerenje raspodjele veličina čestica metodom raspršenja laserskog svjetla u području od 20 nm do 2 mm.

Analiza raspodjele veličina čestica laserskom difrakcijom temelji se na činjenici da čestice prilikom prolaska kroz izvor svjetlosti (lasersku zraku) raspršuju svjetlost pod određenim kutevima koji izravno ovise o veličini čestica.

Kut pod kojim čestica raspršuje svjetlost logaritamski raste sa smanjenjem veličine čestica. Intenzitet raspršene svjetlosti također ovisi o veličini čestica.

Čestice velikih dimenzija raspršuju svjetlost pod malim kutevima, ali sa visokim intenzitetom, dok čestice malih dimenzija svjetlost raspršuju pod širim kutevima ali s manjim intenzitetom.

Uređaj za određivanje veličina čestica (Slika 3.) sastoji se od lasera kao izvora svjetlosti točno definirane valne duljine, detektora koji mjere intenzitet raspršene svjetlosti pod raznim kutevima te dobavne jedinice koja je odgovorna za raspršenje i ravnomjernu raspodjelu čestica u mjernoj ćeliji.



Slika 3. Uređaj za određivanje raspodjele veličina čestica

Uređaj se koristi za određivanje raspodjele veličina čestica koje se nalaze raspršene u tekućini (voda ili organsko otapalo) metodom raspršenja laserskog svjetla prema Mie teoriji. Koristi se za čestice različitih oblika, disperziteta, gustoće i podrijetla (organske, anorganske, kristalne, amorfne, itd.). Potrebno je znati refrakcijski indeks materijala za

ispitivane čestice. Hydro 2000S je vanjska jedinica za kontinuirani protok uzorka kroz protočnu ćeliju. Ima ugrađen ultrazvuk za razbijanje agregata, računalnu kontrola protoka, ispiranja i čišćenja ćelije.

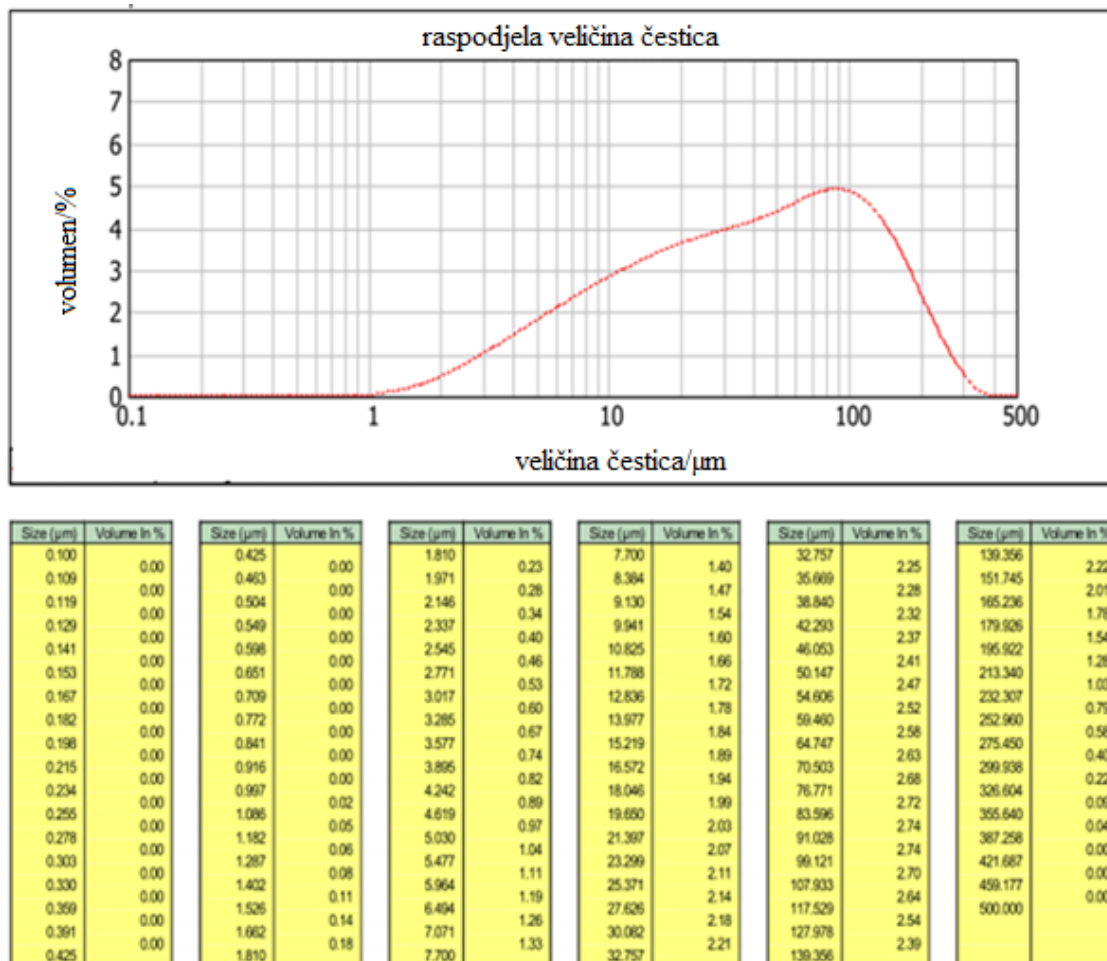
### **2.3.3. SEM analiza praha magnezijeva hidroksida**

Mikrostruktura uzoraka magnezijeva hidroksida promatrana je skenirajućim elektronskim mikroskopom (eng. *Scanning Electron Microscopy*, SEM) tipa JEOL JSM-7000F, optičke rezolucije 1,2 nm. Uzorci su snimljeni u Laboratoriju za sintezu novih materijala na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu.

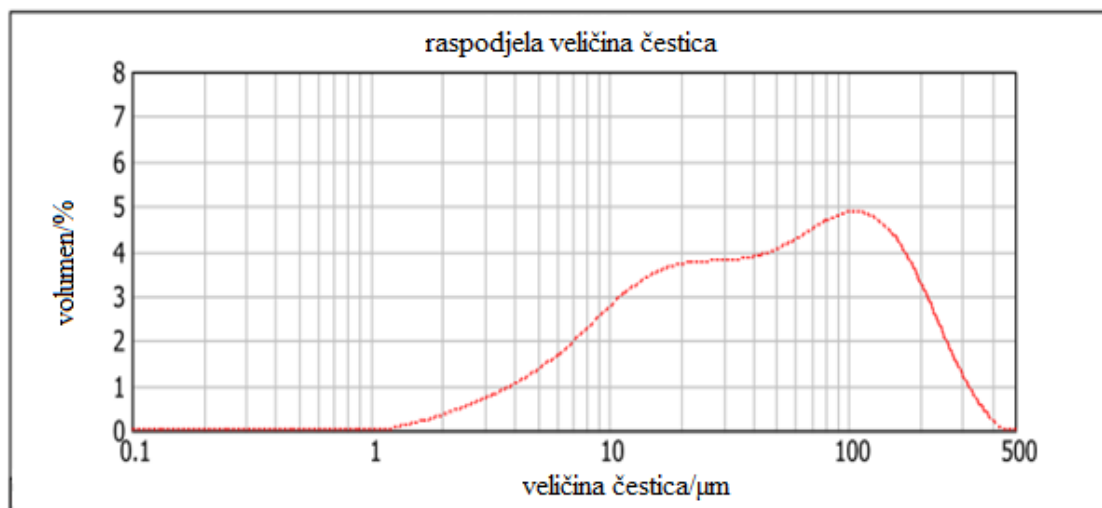
Ispitivanja se u pretražnom elektronskom mikroskopu odvijaju u vakuumskoj komori pri tlaku  $10^{-4} - 10^{-6}$  mbar. SEM uređaj je elektronski uređaj u kojem se s elektronskom puškom (W-katoda, 30 - 60 kV) proizvode elektroni koji se sakupljaju pomoću elektromagnetskih leća u određeni snop promjera 5-10 nm.

### **3. REZULTATI**

Rezultati određivanja raspodjele veličina čestica za Uzorak 1 i Uzorak 2 prikazani su na slikama od 4 do 12.



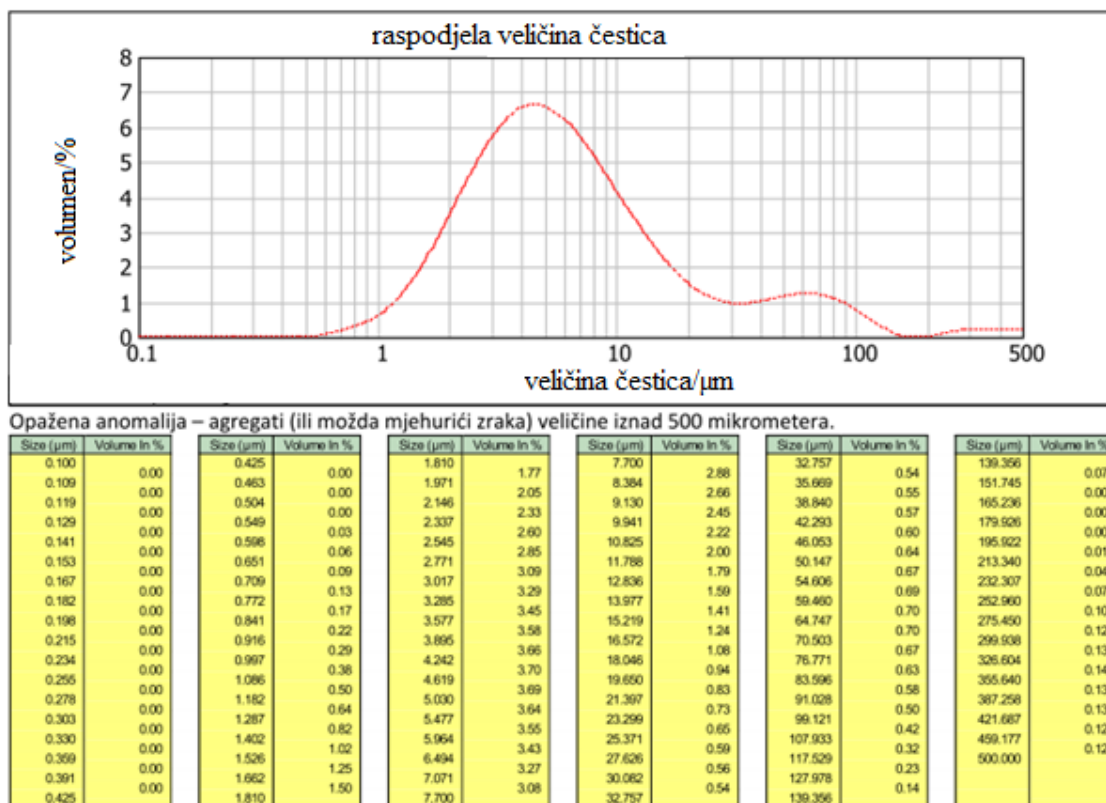
Slika 4. Raspodjela veličina čestica za Uzorak 1



| Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 0.100     | 0.00        | 0.425     | 0.00        | 1.810     | 0.17        | 7.700     | 1.25        | 32.757    | 2.12        | 139.356   | 2.52        |
| 0.109     | 0.00        | 0.463     | 0.00        | 1.971     | 0.20        | 8.384     | 1.36        | 35.669    | 2.13        | 151.745   | 2.39        |
| 0.119     | 0.00        | 0.504     | 0.00        | 2.146     | 0.24        | 9.130     | 1.47        | 38.840    | 2.16        | 165.236   | 2.21        |
| 0.129     | 0.00        | 0.549     | 0.00        | 2.337     | 0.29        | 9.941     | 1.57        | 42.293    | 2.19        | 179.926   | 2.01        |
| 0.141     | 0.00        | 0.598     | 0.00        | 2.545     | 0.33        | 10.825    | 1.67        | 46.053    | 2.22        | 195.922   | 1.78        |
| 0.153     | 0.00        | 0.651     | 0.00        | 2.771     | 0.37        | 11.788    | 1.76        | 50.147    | 2.27        | 213.340   | 1.54        |
| 0.167     | 0.00        | 0.709     | 0.00        | 3.017     | 0.42        | 12.836    | 1.84        | 54.606    | 2.33        | 232.307   | 1.29        |
| 0.182     | 0.00        | 0.772     | 0.00        | 3.285     | 0.47        | 13.977    | 1.91        | 59.460    | 2.39        | 252.960   | 1.04        |
| 0.198     | 0.00        | 0.841     | 0.00        | 3.577     | 0.52        | 15.219    | 1.97        | 64.747    | 2.46        | 275.450   | 0.80        |
| 0.215     | 0.00        | 0.916     | 0.00        | 3.895     | 0.58        | 16.572    | 2.01        | 70.503    | 2.52        | 299.938   | 0.59        |
| 0.234     | 0.00        | 0.997     | 0.00        | 4.242     | 0.64        | 18.046    | 2.05        | 76.771    | 2.59        | 326.604   | 0.40        |
| 0.255     | 0.00        | 1.086     | 0.00        | 4.619     | 0.71        | 19.650    | 2.07        | 83.596    | 2.65        | 355.640   | 0.25        |
| 0.278     | 0.00        | 1.182     | 0.03        | 5.030     | 0.79        | 21.397    | 2.09        | 91.028    | 2.69        | 387.258   | 0.13        |
| 0.303     | 0.00        | 1.287     | 0.05        | 5.477     | 0.87        | 23.299    | 2.10        | 99.121    | 2.71        | 421.687   | 0.02        |
| 0.330     | 0.00        | 1.402     | 0.07        | 5.964     | 0.96        | 25.371    | 2.10        | 107.933   | 2.71        | 459.177   | 0.00        |
| 0.359     | 0.00        | 1.526     | 0.10        | 6.494     | 1.05        | 27.626    | 2.11        | 117.529   | 2.69        | 500.000   |             |
| 0.391     | 0.00        | 1.662     | 0.13        | 7.071     | 1.15        | 30.082    | 2.11        | 127.978   | 2.62        |           |             |
| 0.425     | 0.00        | 1.810     |             | 7.700     |             | 32.757    |             | 139.356   |             |           |             |

Slika 5. Raspodjela veličina čestica za Uzorak 2





Slika 6. Raspodjela veličina čestica za Uzorak 1

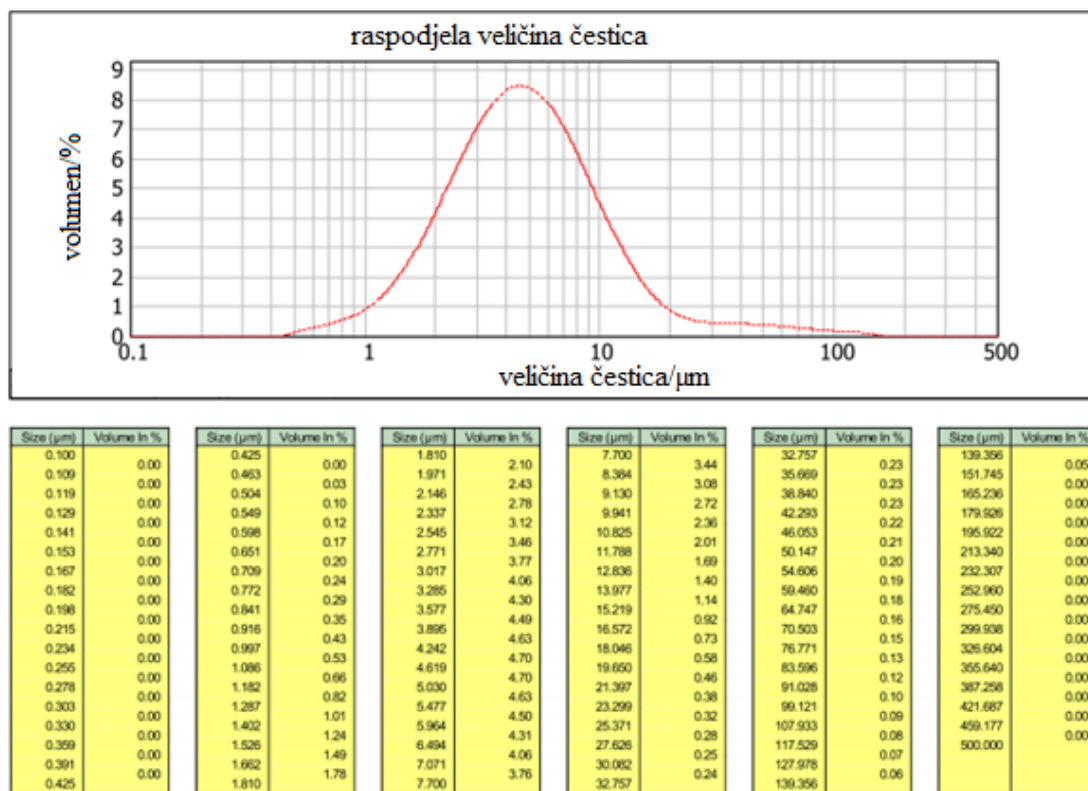
(prije određivanja raspodjele veličina čestica izvršeno razbijanja aglomerata primjenom ultrazvuka u trajanju od 60 sekundi)



| Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % | Size (μm) | Volume In % |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 0.100     | 0.00        | 0.425     | 0.00        | 1.810     | 1.71        | 7.700     | 3.50        | 32.757    | 0.44        | 139.356   | 0.05        |
| 0.109     | 0.00        | 0.463     | 0.02        | 1.971     | 1.97        | 8.384     | 3.28        | 35.669    | 0.40        | 151.745   | 0.00        |
| 0.119     | 0.00        | 0.504     | 0.07        | 2.146     | 2.25        | 9.130     | 3.04        | 38.640    | 0.38        | 165.236   | 0.00        |
| 0.129     | 0.00        | 0.549     | 0.10        | 2.337     | 2.52        | 9.941     | 2.79        | 42.293    | 0.38        | 179.926   | 0.00        |
| 0.141     | 0.00        | 0.598     | 0.15        | 2.545     | 2.79        | 10.825    | 2.54        | 46.053    | 0.39        | 195.922   | 0.00        |
| 0.153     | 0.00        | 0.651     | 0.19        | 2.771     | 3.06        | 11.788    | 2.28        | 50.147    | 0.40        | 213.340   | 0.00        |
| 0.167     | 0.00        | 0.709     | 0.23        | 3.017     | 3.30        | 12.836    | 2.04        | 54.606    | 0.41        | 232.307   | 0.00        |
| 0.182     | 0.00        | 0.772     | 0.27        | 3.285     | 3.53        | 13.977    | 1.80        | 59.460    | 0.41        | 252.960   | 0.00        |
| 0.198     | 0.00        | 0.841     | 0.33        | 3.577     | 3.72        | 15.219    | 1.58        | 64.747    | 0.41        | 275.450   | 0.00        |
| 0.215     | 0.00        | 0.916     | 0.40        | 3.895     | 3.87        | 16.572    | 1.37        | 70.503    | 0.41        | 299.938   | 0.00        |
| 0.234     | 0.00        | 0.997     | 0.48        | 4.242     | 3.98        | 18.046    | 1.19        | 76.771    | 0.39        | 326.604   | 0.00        |
| 0.255     | 0.00        | 1.086     | 0.58        | 4.619     | 4.05        | 19.650    | 1.02        | 83.596    | 0.36        | 355.640   | 0.00        |
| 0.278     | 0.00        | 1.182     | 0.71        | 5.030     | 4.07        | 21.397    | 0.87        | 91.028    | 0.31        | 387.258   | 0.00        |
| 0.303     | 0.00        | 1.287     | 0.86        | 5.477     | 4.04        | 23.299    | 0.75        | 99.121    | 0.26        | 421.687   | 0.00        |
| 0.330     | 0.00        | 1.402     | 1.04        | 5.964     | 3.97        | 25.371    | 0.64        | 107.933   | 0.20        | 459.177   | 0.00        |
| 0.359     | 0.00        | 1.526     | 1.24        | 6.494     | 3.85        | 27.626    | 0.55        | 117.529   | 0.14        | 500.000   | 0.00        |
| 0.391     | 0.00        | 1.662     | 1.47        | 7.071     | 3.69        | 30.082    | 0.49        | 127.978   | 0.07        |           |             |
| 0.425     | 0.00        | 1.810     |             | 7.700     |             | 32.757    |             | 139.356   |             |           |             |

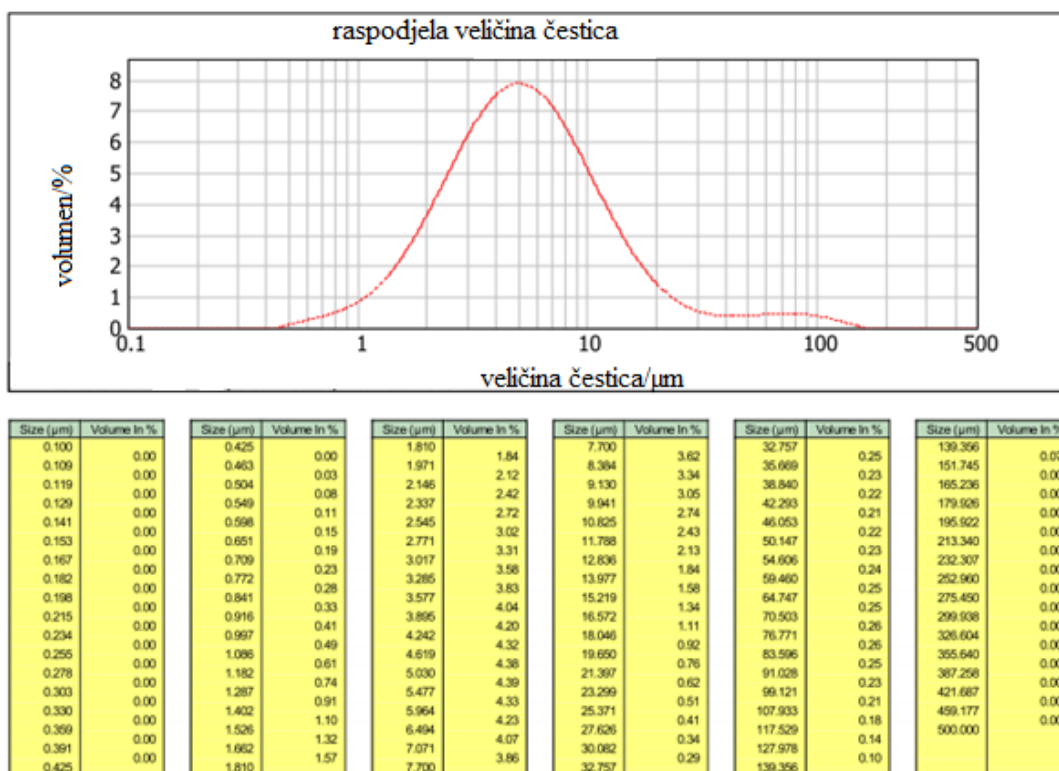
Slika 7. Raspodjela veličina čestica za Uzorak 2

(prije određivanja raspodjele veličina čestica izvršeno razbijanja aglomerata primjenom ultrazvuka u trajanju od 60 sekundi)



Slika 8. Raspodjela veličina čestica za Uzorak 1

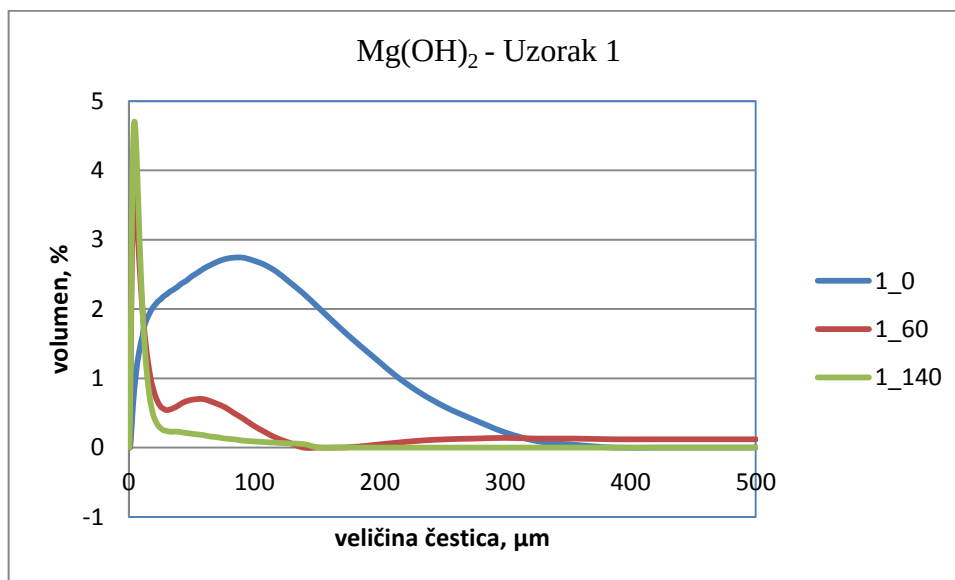
(prije određivanja raspodjele veličina čestica izvršeno razbijanja aglomerata primjenom ultrazvuka u trajanju od 140 sekundi)



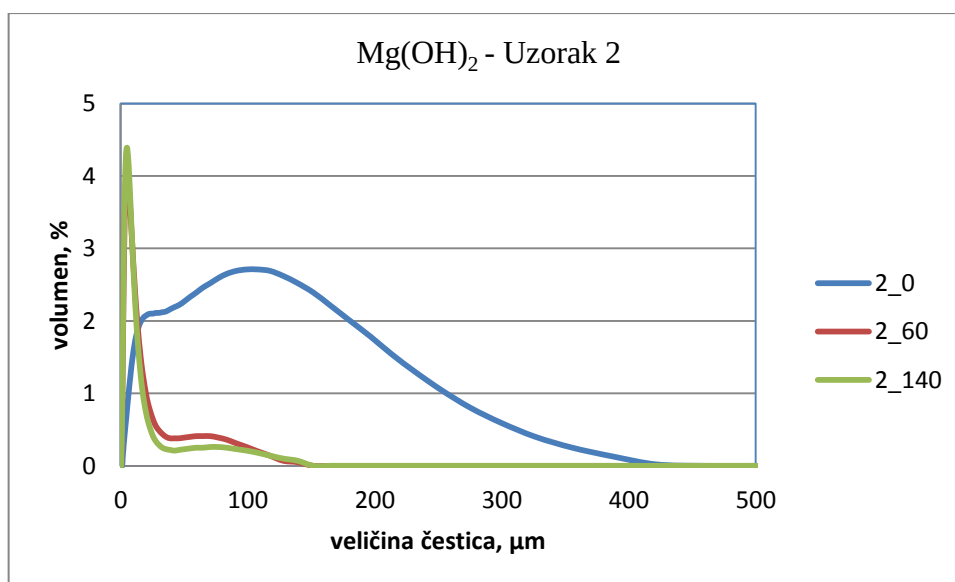
Slika 9. Raspodjela veličina čestica za Uzorak 2

(prije određivanja raspodjele veličina čestica izvršeno razbijanja aglomerata primjenom ultrazvuka u trajanju od 140 sekundi)

Na slici 10 prikazana je ovisnost volumena i veličine čestica za Uzorak 1, a na slici 11 prikazana je ovisnost volumena i veličine čestica za Uzorak 2 magnezijeva hidroksida

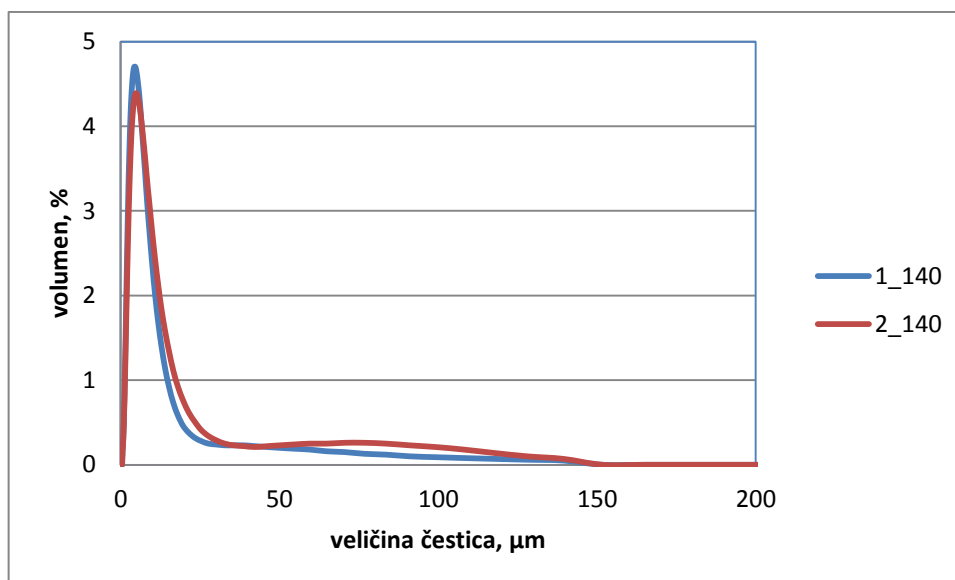


Slika 10. Ovisnost volumena i veličina čestica za Uzorak 1 magnezijeva hidroksida



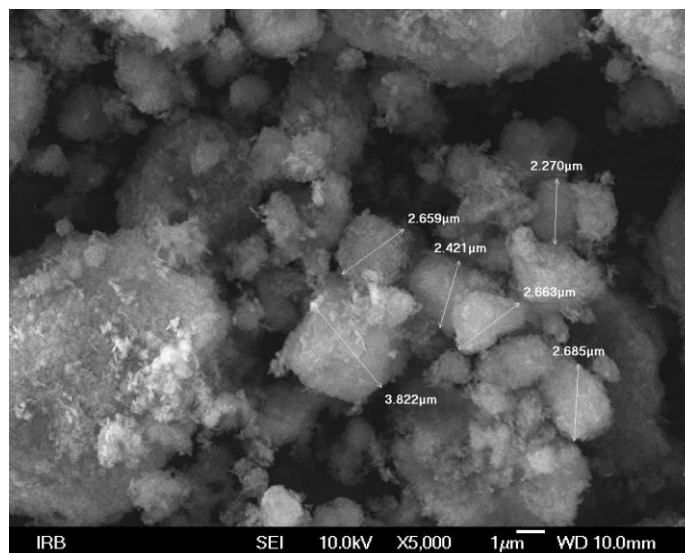
Slika 11. Ovisnost volumena i veličina čestica za Uzorak 2 magnezijeva hidroksida

Na slici 12 prikazana je usporedba Uzorka 1 i Uzorka 2 magnezijeva hidroksida (prije određivanja raspodjele veličina čestica izvršeno razbijanje aglomerata primjenom ultrazvuka u trajanju od 140 sekundi).

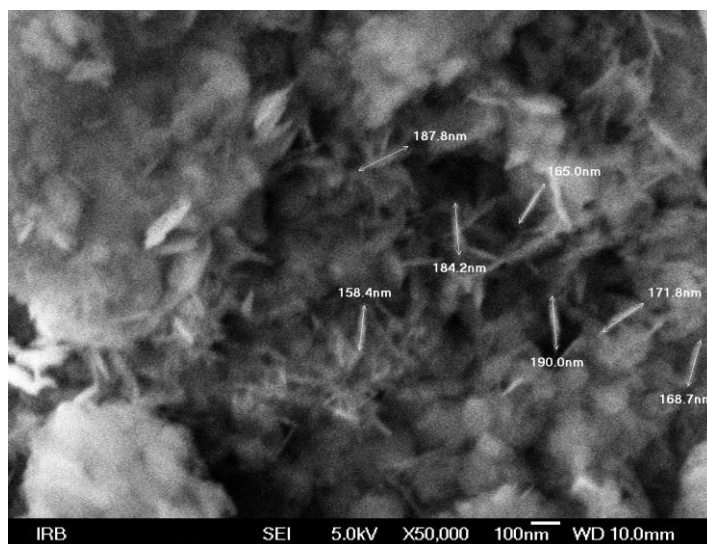


Slika 12. Usporedba ovisnosti volumena i veličina čestica za Uzorak 1 i Uzorak 2 magnezijeva hidroksida (prije određivanja raspodjele veličina čestica izvršeno razbijanja aglomerata primjenom ultrazvuka u trajanju od 140 sekundi).

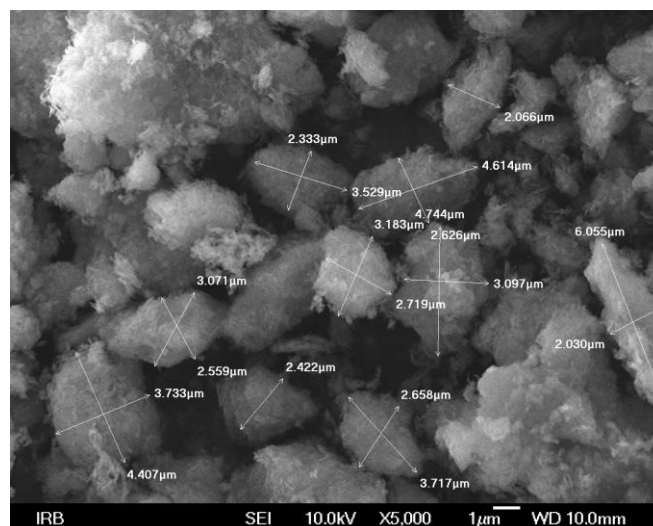
Dobiveni SEM snimci za Uzorak 1 prikazani su na slikama 13 i 14, a za Uzorak 2 na slikama 15 i 16.



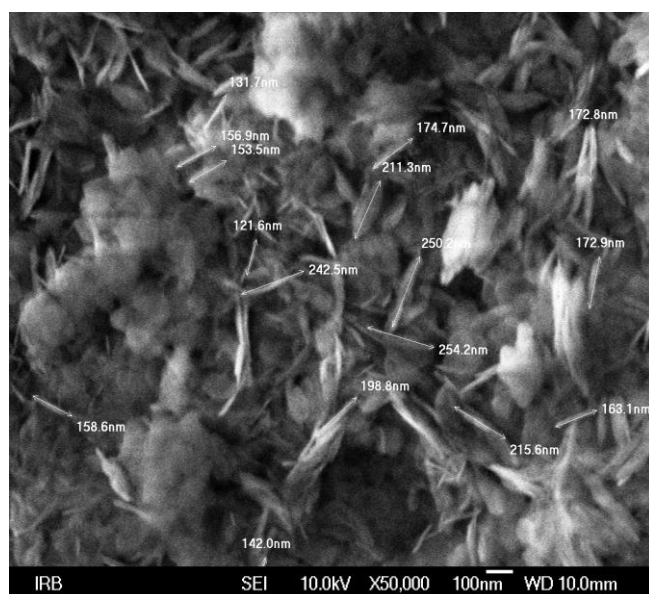
Slika 13. SEM snimka Uzorka 1, povećanje 5000 x.



Slika 14. SEM snimka Uzorka 1, povećanje 50 000 x.



Slika 15. SEM snimka Uzorka 2 (primjena ultrazvuka uz amplitudu 25% / 60 min),  
povećanje 5000 x.



Slika 16. SEM snimka Uzorka 2, (primjenu ultrazvuka uz amplitudu 25% / 60 min),  
povećanje 50 000 x.



#### **4. RASPRAVA**

Cilj ovog rada je dobivanje magnezijeva hidroksida iz morske vode čije su čestice veličine nanometra. U tu svrhu korišten je ultrazvuk HIELSCHER UP 400St čija je amplituda iznosila 25%, snaga 96 W, a ultrazvučna sonda je bila uronjena u suspenziju magnezijeva hidroksida u trajanju od 60 min. U svrhu izdvajanja taloga izvršno je centrifugiranje na uređaju TEHTNICA LC-320 pri brzini od 3000 okr./min u trajanju od 5 min.

Nakon centrifugiranja talog magnezijeva hidroksida se suši u sušioniku pri temperaturi 105 °C u trajanju od 5 sati. Da bi se ustanovila učinkovitost ultrazvuka pripremljen je uzorak magnezijeva hidroksida bez uporabe ultrazvuka.

Nakon sušenja oba uzorka su usitnjena mljevenjem u mikro mlinu Pulverisette 0-njemačke tvrtke Fritsch.

Uzorcima magnezijeva hidroksida (Uzorak 1 i Uzorak 2) određena je raspodjela veličina čestica koristeći analizator veličina čestica Mastersizer 2000. Rezultati su prikazani na slikama 4 i 5.

Raspodjela veličina čestica za oba uzorka pomaknuta je u područje od 90 do 150  $\mu\text{m}$ . Navedeno upućuje na postojanje aglomerata u ispitivanim uzorcima magnezijeva hidroksida što je i potvrđeno SEM snimkama navedenih uzoraka (Slika 13. – Uzorak 1 te Slika 15.- Uzorak 2).

Da bi se aglomerati razbili oba uzorka su namakana 24 sata u vodi, a zatim izložena djelovanju ultrazvuka u trajanju od 60 s te ostavljeni oko 5 sati u kiveticama. Nakon toga je određena raspodjela veličina čestica za oba uzorka kao što je prikazano na slikama 6 i 7. Iz dobivenih vrijednosti uočava se da je raspodjela veličina čestica za oba uzorka pomaknuta prema nižim vrijednostima, tj. u područje od 2 do 6  $\mu\text{m}$ .

Uočljivo je da je vrijeme djelovanja ultrazvuka nedovoljno za razbijanje aglomerata te su uzorci podvrgnuti djelovanju ultrazvuka u trajanju od 140 s. Rezultati su prikazani na slikama 8 i 9 iz kojih je vidljivo da produženo vrijeme na 140 s djeluje na daljno raspadanje aglomerata te dobivena krivulja raspodjele veličina čestica je uža.

Za pretpostaviti je da je došlo do nastajanja sraslaca u ispitivanim uzorcima (svijetli dijelovi poput iglica na SEM snimkama na slikama 14-Uzorak 1 i 15-Uzorak 2) koji se ne mogu razbiti ni nakon tretiranja uzoraka ultrazvukom u trajanju od 140 s.

Usporedba postignutih raspodjela veličina čestica za Uzorak 1 prikazana je na slici 10, a za Uzorak 2 na slici 11. Tretiranje uzoraka ultrazvukom u trajanju 60 i/ili 140 s prije izvršenog mjerenja doprinosi pomaku raspodjele veličine čestica prema nižim vrijednostima. Iz prikaza na slici 12 vidljivo je da nema značajnije razlike između

raspodjele veličina čestica Uzorka 1 i Uzorka 2. Dakle, primjena ultrazvučnog generatora pri ispitivanim uvjetima rada (amplituda 25%, vrijeme 60 min. i snaga 96 W) nije dovoljna da bi se dobio magnezijev hidroksid veličine čestica nanometra. Trebalo bi povećati amplitudu i vrijeme trajanja ultrazvučnog djelovanja u suspenziji magnezijeva hidroksida.

## **5. ZAKLJUČCI**

Temeljem dobivenih rezultata može se zaključiti:

- Određivanje raspodjele veličina čestica uzoraka magnezijeva hidroksida (80%-tno taloženje) dobivenog iz morske vode bez i uz primjenu ultrazvuka ukazuje da je raspodjela veličina čestica za oba uzorka pomaknuta prema nižim vrijednostima, tj. u područje od 2 do 6  $\mu\text{m}$ , ukoliko se prije određivanja raspodjele veličina čestica izvrši razbijanja aglomerata primjenom ultrazvuka u trajanju od najmanje 60 sekundi.
- Karakterizacija uzoraka magnezijeva hidroksida (80%-tno taloženje) dobivenog iz morske vode bez i uz primjenu ultrazvuka SEM analizom potvrđuje nastanak aglomerata (veličine  $\mu\text{m}$ ) odnosno sraslaca u uzorku.
- Primjena ultrazvučnog generatora pri ispitivanim uvjetima rada (amplituda 25% u trajanju 60 min.) nije dovoljna da bi se dobio magnezijev hidroksid veličine čestica nanometra.

## **6. LITERATURA**

1. V. *Martinac*, Magnezijev oksid iz morske vode, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 2010.
2. N. *Heasman*, New developments in seawater magnesia, Gas Wärme International, **28** (1979) 392-397.
3. M. A. *Shand*, The Chemistry and Technology of Magnesia, Wiley, New York, 2006.
4. O. V. *Bonney*, Recovery of magnesium as magnesium hydroxide from seawater, U S Pat. 43 149 85 (to Amstar Corporation, New York), 9. Feb. 1982, Chem. Abstr. **96** (1982) 125549.
5. N. *Petric*, B. *Petric*, V. *Martinac*, Examination of boron content and properties of magnesium oxide obtained from sea water, J. Chem. Tech. Biotechnol., **52** (1991) 519-526.
6. <https://geek.hr/clanak/sto-je-to-nanotehnologija/> (7.10.2018.)
7. M. *Ivanković*, Nanomaterijali i nanoprodukti – mogućnosti i rizici, Polimeri, **32** (1) (2011) 23-28.
8. R. *Booker* & E. *Boysen*, Nanotechnology for dummies, Wiley, Indianapolis, Indiana, 2005.
9. B. *Mijović*, Nano – mnoštvo rizika i koristi, Sigurnost, **57** (3) (2015) 205-209.
10. J. S. *Brown*, K. L. *Zeman*, W. D. *Bennett*, Ultrafine particle deposition and clearance in the healthy and obstructed lung, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, **166** (2002) 1240-1247.
11. A. O. *Gamer*, E. *Leibold*, B. *Van Ravenzwaay*, The in vitro absorption of microfine zinc oxide and titanium dioxide through porcine skin, Toxicology in Vitro, **20** (2006) 301-307.
12. F. *Culkin*, The major constituents of sea water, in: Chemical Oceanography, Eds. J. P. *Riley*, G. *Skirow*, Vol. 1., Academic Press, London, 1975., str.136-151.
13. N. *Petric*, V. *Martinac*, M. *Labor*, O. *Jurin*, Effect of 818A and 827N flocculants on seawater magnesia process, Kovine Zlitrine Tehnologije, **33** (1999) 473-478.