

Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд

E-mail: s.mihajlovic@itnms.ac.rs

Др Славица Михајловић, виши научни сарадник

Датум: 10.11.2021. године

Поштована,

На основу Вашег захтева од 05.11.2021. године за потврду категорије монографије под називом: „**Кречњак-еколошка минерална сировина**” аутор Славица Михајловић, из 2020. године,

,

Обавештавам Вас следеће:

Након прибављеног мишљења о наведеној монографији, чланови МНО за материјале и хемијске технологије су га, на седници одржаној 29.10.2021. године разматрали и сачинили предлог да монографија под називом „**Кречњак-еколошка минерална сировина**” аутор Славица Михајловић, из 2020. године **ИСПУЊАВА** све услове предвиђене *Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача* („Службени гласник РС“, број 24/2016, 21/2017, 38/2017 и 159/20) за доделу категорије **М42 - Монографија националног значаја**.

Предлог се доставља МПНТР РС ради процене и прихватања истог.

Председник МНО

за материјале и хемијске технологије



Проф. др Влада Вељковић

*Dr Slavica R. Mihajlović, „Krečnjak – ekološka mineralna sirovina“, monografija, 2020.*

---

**INSTITUT ZA TEHNOLOGIJU NUKLEARNIH I DRUGIH  
MINERALNIH SIROVINA  
BEOGRAD**

**DR SLAVICA R. MIHAJLOVIĆ**

**KREČNJAK  
EKOLOŠKA MINERALNA SIROVINA**

**BEOGRAD 2020.**

**Autor:** Dr Slavica R. Mihajlović

**Recenzenti:** Dr Vladimir Simić, redovni profesor RGF, Beograd

Dr Milica Vlahović, IHTM, Beograd

Dr Srđan Matijašević, ITNMS, Beograd

**Dizajn korica:** Dr Nenad Vušović, redovni profesor TF, Bor

**Tehnička obrada crteža:** Marina Blagojev, master ing. rudarstva

Stefan Mihajlović, student FIT, Beograd

**Izdavač:** Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina,  
Beograd

**Za izdavača:** Dr Miroslav Sokić, direktor

Odlukom Naučnog veća ITNMS iz Beograda, broj 13/9E-5 od 27. 01. 2021. godine, odobreno je štampanje rukopisa kao naučne monografije.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије,  
Београд

553.551.1

МИХАЈЛОВИЋ, Славица, 1967-

Кречњак : ekološka mineralna sirovina / Slavica R. Mihajlović. -  
Beograd : Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina,  
2020 (Zemun : Akademska izdanja). - 154 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 100. - Bibliografija: str. 137-154.

ISBN 978-86-82867-29-6

a) Лежишта кречњака

COBISS.SR-ID 25852425

**Štampa:** Akademska izdanja, Slobodana Bajića 23, Zemun

**Tiraž:** 100 primeraka

*Tebi, koji si moja inspiracija za sve i najveći motiv da idem napred.*

*Za Stefana od mame*

## **Zahvalnica**

*Želim da izrazim izuzetnu zahvalnost recenzentima napisanog teksta koji su kao eksperti u oblastima prikazanim u monografiji dali svoj doprinos da tekst dobije kako na kvalitetu tako i na kvantitetu, prof. dr Vladimiru Simiću, dr Milici Vlahović i dr Srđanu Matijaševiću.*

*Monografija „Krečnjak-ekološka mineralna sirovina“ je nastala kao rezultat istraživanja vezanih za ovu vrstu mineralne sirovine u okviru projekata finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Predviđene aktivnosti u okviru projekata i neophodna laboratorijska ispitivanja su realizovana u Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina u Beogradu čijem kolektivu pripadam. Zato želim da se zahvalim kolegama iz instituta koji su dali svoj doprinos u domenu svojih kompetentnosti.*

*Hvala prof. dr Nenadu Vušoviću na predivnom dizajnu korica monografije i kolegini Marini Blagojev na tehničkoj obradi crteža uz nesebičnu pomoć mog sina Stefana.*

*Takođe, želim da se zahvalim direktoru ITNMS dr Miroslavu Sokiću na podršci da institut bude izdavač monografije.*

*Zahvalnost i Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj pomoći za štampanje monografije.*

*Hvala mom sinu Stefanu na podršci da istrajem u svim poslovnim izazovima i da se ne predajem u borbi sa problemima koje život donosi.*

*Autor*

*Dr Slavica Mihajlović*

## **Predgovor**

Monografija pruža sveobuhvatnu analizu krečnjaka sa stanovišta njegovog nastanka, mineralnog sastava, načina pripreme i primene. Prikazani su i novi trendovi korišćenja ove sirovine na globalnom nivou. Takođe, dat je odgovor na pitanje zašto je ova sirovina aktuelna i čega je to posledica. U monografiji su prikazana najvažnija ležišta i pojave ove sirovine na teritoriji Republike Srbije.

Smatram da će monografija biti od koristi svima onima koji imaju određenu ulogu u eksploataciji krečnjaka, postupcima pripreme i njegovoj primeni u različitim industrijskim granama.

Takođe, monografija je namenjena i svim studentima koji na fakultetu, u okviru predviđenih akademskih programa, izučavaju karbonatne mineralne sirovine, zatim istraživačima, investitorima, preduzetnicima, konsultantima i svima koji daju svoj stručni doprinos u izradi poslovnih strategija vezanih za ovu mineralnu sirovinu.

## SADRŽAJ

UVOD .....	3
1. STENE KAO OSNOVA GRAĐE ZEMLJINE KORE .....	7
2. KARBONATNE MINERALNE SIROVINE .....	16
2.1. Krečnjak i dolomiti .....	16
2.1.1. Minerali kalcit i dolomit .....	21
3. EKSPLOATACIJA I POSTUPCI PRIPREME KREČNJAKA .....	25
3.1. Uređaji za usitnjavanje krečnjaka .....	32
3.1.1. Drobilice.....	33
3.1.2. Mlinovi.....	34
3.2. Uređaji za prosejavanje i klasiranje krečnjaka.....	37
4. MINERALNI RESURSI KREČNJAKA I DOLOMITA U REPUBLICI SRBIJI .....	39
4.1. Mineralni resursi krečnjaka.....	39
4.2. Mineralni resursi dolomita .....	41
5. SVETSKO TRŽIŠTE KREČNJAKA–TRENDOVI I PROGNOZE.....	44
6. ZAHTEVI TRŽIŠTA ZNAČAJNI ZA UPOTREBU MINERALNIH SIROVINA .....	48
7. PRIMENA KREČNJAKA .....	51
7.1. Primena krečnjaka kao punioca u industriji polivinil-hlorida.....	52

7.1.1. Struktura i podela masnih kiselina .....	59
7.1.2. Osnovne karakteristike površinski aktivnih materija .....	61
7.2. Primena krečnjaka u cilju smanjenja emisije ugljen dioksida .....	66
7.2.1. Krečnjak kao dodatak konvencionalnom portland cementu .....	68
7.2.2. STEP postupak dobijanja kreča iz krečnjaka bez emisije ugljen dioksida .....	70
7.3. Primena krečnjaka za odsumporavanje dimnih gasova nastalih sagorevanjem uglja.....	73
7.4. Primena krečnjaka za proizvodnju kreča .....	77
7.5. Primena krečnjaka u poljoprivredi .....	85
7.6. Primena krečnjaka u ostalim industrijama .....	88
8. PREGLED LEŽIŠTA KREČNJAKA, DOLOMITA I MERMERA U REPUBLICI SRBIJI .....	94
9. KRITERIJUMI ZA FORMIRANJE ZAKONSKIH REGULATIVA O KORIŠĆENJU MINERALNIH SIROVINA I ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE U REPUBLICI SRBIJI.....	117
10. ANALIZA MOGUĆNOSTI RECIKLAŽE MATERIJALA NA BAZI KREČNJAKA .....	125
11. LITERATURA.....	137





## UVOD

Zaštita životne sredine i sprovođenje mera koje tome doprinose su prioritetni ciljevi razvijenih društava savremenog doba. Koliko će društvo biti uspešno u postizanju ovih ciljeva zavisi od mnogo činilaca. To ukazuje da je za rešavanje ovog problema neophodan jedan multidisciplinarni pristup na globalnom nivou. Pojedinačni doprinos svake države, nesumnjivo, zavisi od njenih finansijskih mogućnosti da ulaže u ovu važnu oblast i od ostvarenih rezultata u delu koji se odnosi na informisanost stanovništva o tome koliko je važna zdrava životna sredina.

Ubrzani tehnološki razvoj dovodi do poboljšanja kvaliteta života u svim sferama ljudskih aktivnosti, ali paralelno sa tim stvara se mogućnost veće degradacije životne sredine. Zato je važno analizirati negativan uticaj svih primenjenih tehničko-tehnoloških procesa kao i konstantan uvid u vrednosti parametara koji pokazuju nivo zagađenja. Jedino takvim pristupom ostvario bi se kontinuitet u praćenju zagađenosti životne sredine i na vreme bi se definisale aktivnosti u cilju sprovođenja adekvatnih mera zaštite. Naravno, tako bi se dao doprinos i kontrolisanom korišćenju prirodnih resursa i energije [1]. Uvođenjem pravila vezanih za zaštitu životne sredine u sve vidove proizvodnje dovelo je do nastajanja ekološke ekonomije. Ova ekonomija je postala najbolji i najpotpuniji analitički okvir za procenu uspešnosti svih poslovnih i proizvodnih aktivnosti. Efikasnijem korišćenju prirodnih resursa doprineo je ekonomski aspekt održivog razvoja [2, 3]. Održivi razvoj se definiše kao razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje

sopstvene potrebe [4]. Koncept održivog razvoja je objedinio u jednu celinu sve pojedinačne mere i usaglasio sadržaj pojedinačnih strategija u cilju očuvanja životne sredine. Veliki doprinos u nastajanju ovog koncepta dalo je Međunarodno udruženje za zaštitu životne sredine i prirodnih resursa. Može se slobodno reći da je koncept održivog razvoja tek tada dobio svoj pravi smisao. Udruženje je 1980. godine razvilo strategiju zaštite životne sredine koja je kao osnovni zadatak postavila ostvarivanje održivog razvoja kroz zaštitu prirodnih resursa. Kasnije je ovaj koncept preuzela Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj [4]. Ova komisija, poznatija kao Bruntlendova komisija, pripremila je 1987. godine izveštaj pod nazivom „Naša zajednička budućnost“ (Our Common Future). U izveštaju je akcent bio na politički prihvatljivijoj ideji održivog razvoja u odnosu na one ideje koje su promovisane u „Granicama rasta“ iz 1972. godine [5].

Ideje u „Granicama rasta“ su se bazirale na iscrpljivanju resursa i mogućim granicama rasta što je bilo neprihvatljivo za svetsku, naučnu i političku javnost. To je uticalo da se odmah počne sa aktivnostima kako bi se koncept održivog razvoja našao u vrhu prioriteta međunarodne političke scene. Koncept održivog korišćenja i zaštita prirodne okoline, a samim tim i prirodnih resursa, bazira se na strategiji prostornog razvoja i nacionalnoj strategiji održivog korišćenja prirodnih resursa i dobara. Strategijama se definiše pitanje i nivo istraženosti prirodnih resursa i dobara po vrstama, prostornom rasporedu, raznovrsnosti, obimu i kvalitetu. Takođe, određuju se bilansne kategorije i predviđaju promene stanja, način vrednovanja i uslovi održivog korišćenja [6,7].

Prirodni procesi se odigravaju po zakonima kojima je tačno definisano njihovo trajanje i brzina odvijanja. Problem nastaje kada čovek

svojim aktivnostima poremeti prirodne procese. Zbog toga je neophodno usmeriti proizvodnju pojedinih materijala ka alternativnim rešenjima, uz korišćenje komponenti i procesa koje nemaju negativan uticaj na životnu sredinu. Jedan od ekološki prihvatljivih materijala je **krečnjak**. Prirodna svojstva rovnog krečnjaka moguće je poboljšati različitim procesima pripreme mineralnih sirovina čime se proširuje polje njegove primene.

Izuzetnu pažnju zaštiti životne sredine i kontrolisanom korišćenju prirodnih resursa posvećuje i naša zemlja. Vlada Republike Srbije je usvojila 2012. godine Nacionalnu strategiju održivog korišćenja prirodnih resursa i dobara. Strategijom je jasno definisan okvir za održivo korišćenje i zaštitu prirodnih vrednosti Republike Srbije. Cilj je bio formiranje jedne zajedničke platforme za koordinisano upravljanje prirodnim resursima. Za sprovođenje Strategije odgovorno je ministarstvo nadležno za poslove zaštite životne sredine. Ciljevi Nacionalne strategije održivog korišćenja prirodnih resursa i dobara u velikoj meri su već integrisani u ciljeve strateških dokumenata iz više oblasti: Nacionalnom programu zaštite životne sredine, Nacionalnoj strategiji za aproksimaciju u oblasti životne sredine za Republiku Srbiju, Strategiji uvođenja čistije proizvodnje u Republici Srbiji, Strategiji upravljanja otpadom i Nacionalnoj strategiji održivog razvoja [8].

Definisani osnovni ciljevi Nacionalne strategije uklapaju se i u ciljeve strateškog dokumenta Evropa 2020 (COM(2010) 2020). To je posebno uočljivo u delu koji se odnosi na obezbeđivanje održivog rasta i obezbeđivanju uslova za smanjenje gubitaka usled neodrživog korišćenja prirodnih resursa. Osnovni ciljevi Nacionalne strategije su:

1. Usmeravanje i obezbeđivanje uslova za održivo korišćenje prirodnih resursa i dobara, stvaranjem osnove za postavljanje planova, programa i osnova za svaki pojedinačni prirodni resurs ili dobro (u okviru ovog cilja definisano je 32 opšta sektorska cilja);

2. Redukovanje negativnog uticaja korišćenja resursa na ekonomiju i životnu sredinu, postavljanjem osnovnih indikatora koje treba pratiti (26 opštih sektorskih ciljeva);

3. Doprinos usmeravanju razvoja ka održivoj proizvodnji (kroz manje i efikasnije korišćenje prirodnih resursa) i potrošnji (promeni ustaljenih načina potrošnje), kao i ozakonjenju javnih nabavki (10 opštih sektorskih ciljeva).

Strategija deli prirodne resurse u 7 kategorija: mineralni resursi; obnovljivi resursi; šume i šumski resursi; zaštićena područja, biodiverzitet, geodiverzitet i okolni (teritorijalni) diverzitet; riblji resursi; vodni resursi i zemljišni resursi. Za svaki od navedenih resursa predstavljeno je stanje, postojeći pravni i institucionalni okvir, izazovi i ciljevi za njihovo održivo korišćenje i mere za ostvarivanje njihovog održivog korišćenja [8].

Kada govorimo o korišćenju prirodnih resursa izuzetno je važan način na koji ih koristimo, jer od toga zavisi nastajanje otpada i formiranje koncepta upravljanja otpadom. Može se reći da je stvaranje velikih količina nepotrebnog otpada pokazatelj neefikasnog korišćenja resursa. U skladu sa ovom konstatacijom nastale su i osnove Strategije Evropske Unije o održivom korišćenju prirodnih resursa. Ova strategija se bazira na tvrdnji da adekvatno upravljanje otpadom smanjuje pritisak na prirodne resurse i redukuje zagađenje prilikom njihove eksploatacije i prerade odgovarajućim postupkom [8].

## **1. STENE KAO OSNOVA GRAĐE ZEMLJINE KORE**

Petrologija je nauka koja se bavi proučavanjem stena sa aspekta hemijskog sastava, strukture, načina postanka kao i njihove klasifikacije [9, 10]. Stene su prirodni agregati tačno određenog hemijskog sastava, strukture i teksture koji su nastali kao proizvod različitih geoloških procesa. Različiti uslovi nastajanja stena su uticali da se formiraju stene različitih fizičkih i hemijskih karakteristika. Shodno tome, oblast i način primene stena je različit. Kriterijumi za podelu stena mogu biti različiti, ali u oblasti rudarstva se koristi podela prema načinu postanka i stepenu povezanosti stenske mase.

Stene se prema načinu i uslovima nastanka dele u tri grupe:

1. Magmatske stene;
2. Sedimentne stene i
3. Metamorfne stene.

**Magmatske stene** su nastale očvršćavanjem prirodnog silikatnog rastopa, odnosno magme u Zemljinoj unutrašnjosti i hlađenjem i očvršćavanjem lave na površini Zemlje. U zavisnosti od mesta i dubine očvršćavanja, magmatske stene se dele na: dubinske (odlikuju se zrnastom strukturom), žične (za njih je karakteristična intersertalna struktura) i izlivne (imaju porfirsku strukturu). Prema hemijskom sastavu magmatske stene se dele na: bazične (gabro), ultrabazične (peridotit), intermedijarne (diorit) i kisele (granit).

**Sedimentne ili taložne stene** nastale su od produkata fizičko-mehaničkih i hemijskih promena već postojećih stenskih tvorevina i

ostataka biljnog i životinjskog sveta, kao i produkata nastalih pod uticajem vulkanskih aktivnosti. Zbog toga se za ove stene može reći da su geološke tvorevine površinskog dela zemljine kore. Taloženje raspadnutog stenskog materijala se odvijao u tzv. zoni sedimentacije u vidu slojevitih naslaga. Nastajanje sedimentnih stena se vezuje za površinske delove litosfere, hidrosfere i donje delove atmosfere. Sedimentni omotač čini oko 5% zapremine Zemljine kore i oko 0,1% zapremine cele Zemlje. Debljina sedimentnog omotača na kontinentima iznosi u proseku 1,9 km, a u okeanskim basenima 0,3 km [11]. Da bi se stvorila čvrsta sedimentna stena neophodna su sledeća tri uslova:

1. Površinsko raspadanje;
2. Transport raspadnutog materijala i njegova sedimentacija i
3. Dijageneza (litifikacija, očvršćavanje, okamenjavanje)  
transportovanog materijala.

1. Površinsko raspadanje stena se može definisati kao skup više različitih procesa koji dovode do formiranja rastresitog materijala od čvrstih stena koje se ranije nastale i nalaze na površini Zemlje. Kojom brzinom će se odvijati proces površinskog raspadanja zavisi od više faktora, a pre svega od karakteristika same stene, od vrste uticaja kojim je ona izložena i od dužine trajanja tih uticaja. Razlikuju se dva tipa površinskog raspadanja i to:

- Fizičko, kada stena gubi svoju čvrstinu i raspada se u sitne komade i
- Hemijsko, kada stena osim što se fizički raspada, menja svoj hemijski i mineralni sastav.

U prirodi se fizičko i hemijsko raspadanje stenske mase najčešće javljaju zajedno. Pri tome fizičko raspadanje ubrzava hemijske procese, a sa druge strane, hemijski procesi ubrzavaju fizičko raspadanje. Koja će vrsta

raspadanja osnovne stenske mase biti prisutna zavisi od više faktora, a u prvom redu od karakteristika terena i klimatskih uslova područja gde se nalazi osnovna stenska masa. Tako je fizičko raspadanje stena najizraženije na ogoljenim terenima gde nema vegetacije, dok je hemijsko raspadanje prisutno na terenima pokrivenim vegetacijom gde ima dosta vodenog taloga. Stepenn pokrivenosti terena vegetacijom u direktnoj je vezi sa klimom i odlikama klime, pre svega sa količinom padavina i temperaturom. U zavisnosti od tipa klime mogu se izdvojiti četiri regiona sa karakterističnom vegetacijom nastalom shodno klimatskim uslovima, a to su: polarno područje sa nivalnom (snežnom) klimom, tropske šume i tajge sa humidnom klimom, pustinje i polupustinje sa aridnom (suvom) klimom i topli priobalni pojasevi sa sezonskom klimom [11-13].

Na intenzitet fizičkog raspadanja stena mogu uticati različite pojave kao što je dnevno kolebanje temperature na određenoj teritoriji, jaki vetrovi, zatim uticaj Sunca, odnosno insolacije (osunčanosti), procesi kristalizacije soli u mikroprrslinama stena, rast korena biljaka, zamrzavanje vode u kapilarima kao i mehaničko trenje stena usled kretanja glečera, lomljenja i trenja prilikom transporta materijala, delovanja mora duž obala i drugo.

Hemijsko raspadanje stena u najvećem broju slučajeva nastaje kao posledica rastvaranja pojedinih komponenti stena kroz koje voda prolazi. Pored vode, hemijsko raspadanje može da izazove i kiseonik iz vazduha koji u površinskom delu vrši oksidaciju, zatim kiseline različitog porekla, kao i veliki broj drugih uzročnika kao štoje na primer voda bogata sa CO<sub>2</sub>. Stene se odlikuju različitim stepenom rastvorljivosti u vodi i on zavisi od njihovog hemijskog i mineralnog sastava. Tako, na primer, za stene koje sadrže mineralne komponente koje se dobro rastvaraju kao što je kamena so, sulfati



i drugo, karakterističan je brz proces rastvaranja. Međutim, postoje stene za čije rastvaranje je neophodan dug vremenski period, kao što su karbonati ili stene koje se skoro i ne rastvaraju, kao što je kvarc. Na hemijsko raspadanje stena utiče i temperatura vode, pri čemu najčešće, sa porastom temperature vode raste i njena rastvorljivost [13].

2. Transport i sedimentacija raspadnutog stenskog materijala nastaje posle razaranja stenske mase nakon čega se rastvoreni materijal i nerastvoreni ostatak prenose sa mesta raspadanja u nova područja. Transport novonastalog raspadnutog stenskog materijala može se vršiti na više načina i to: gravitacijski, zatim uz pomoć vode, vetra i glečera (leda) [13].

Što se tiče gravitacijskog transporta neophodno je naglasiti da je moguć samo na strmim padinama i da njegova brzina zavisi od pokrivenosti terena vegetacijom. Na područjima gde nema vegetacije gravitacijski transport je veoma brz. Međutim, kod strmih, ali pošumljenih padina, posebno na padinama obraslim travom, transport je spor. Materijali koji se transportuju samo gravitacijski i čije je vreme transporta veoma kratko formiraju eluvijalne nanose. U sastav eluvijalnih nanosa ulazi neklasirani materijal različite krupnoće i komadi stena nezaobljenih i oštih ivica.

Voda raspadnuti stenski materijal može da transportuje na različitu udaljenost u odnosu na mesto njegovog nastanka. To zavisi od brzine vodenog toka i oblika komada raspadnutog materijala. Raspadnuti stenski materijal biće transportovan na veću udaljenost ako je brzina vodenog toka veća. Važno je naglasiti da se teže transportuju materijali veće specifične težine (veće gustine). S obzirom na oblik, najlakše se transportuju pločasti i ljušpasti komadi, a najteže kuglasti. Pri tome jedna vrsta raspadnutog materijala lebdi u vodi, a druga se kotrlja po dnu rečnog korita. Prilikom

kretanja po dnu, odnosno prilikom kotrljanja, materijal se stalno zaobljava. Slabljenjem snage vode kojom se materijal transportuje dolazi do taloženja transportovanog materijala i formiranja aluvijalnih nanosa. Materijal koji je formirao aluvijalni nanos je karakteristično to da je klasiran po krupnoći i da je heterogenog je sastava.

Vetrom se na veliku udaljenost transportuju veoma sitna zrna raspadnutog stenskog materijala. U područjima gde duvaju jaki vetrovi, naročito u pustinjским oblastima, može se prenositi i krupniji materijal. U takvim uslovima transporta krupniji materijal se kotrlja po površini zemlje i kada naiđe na neku prepreku počinje da se nagomilava. Na taj način se formiraju posebni oblici reljefa, a to su dine. Transport materijala pomoću vetra je posebno izražen u oblastima sa slabijom vegetacijom i sušnom klimom kao što su pustinje i stepe. Takođe, vetar je značajan i za prenošenje vrlo sitnog materijala koji je vulkanskom erupcijom izbačen na velike visine. Taloženjem materijala koji je transportovan vetrom dobijaju se eolski sedimenti.

U polarnim oblastima, na području veoma visokih planina na kojima i danas postoje glečeri, transport materijala se vrši ledom. Glečeri mogu da nose i veoma velike stenske blokove. Međutim, transport glečerom je spor, najviše nekoliko metara dnevno. Svojim kretanjem glečer lomi komade različite krupnoće i sastava pri čemu nema zaobljavanja materijala, već samo dolazi do trenja po podlozi. Takođe, nema ni klasiranja materijala po krupnoći. Po zaustavljanju glečera, zajedno se talože blokovi stena, šljunak i glinovita frakcija. Sedimenti koji nastaju na ovaj način nazivaju se glacijalni sedimenti.

Kada govorimo o transportu raspadnutog stenskog materijala veoma je važno izdvojiti transport produkata rastvaranja stena u vidu jonskog ili koloidnog rastvora. Naime, poznato je da stene ili pojedine njene komponente mogu da se, u manjoj ili većoj meri, rastvaraju u vodi. Produkti takvog rastvaranja mogu da se transportuju kao jonski ili koloidni rastvori. Elementi koji se nalaze samo u jonskim rastvorima su elementi tipa kalijum, natrijum, kalcijum, magnezijum, dok su u koloidnim rastvorima, a u malim količinama i u jonskim, pretežno javljaju elementi tipa silicijum, aluminijum, gvožđe. Do taloženja iz rastvora dolazi kada rastvor postane prezasićen određenim elementom, zatim kada se u rastvoru smanjuje određena komponenta koja je povećavala rastvorljivost ostalih, ili što je veoma čest slučaj, ukljanjanjem (obično isparavanjem) rastvarača. Takođe, taloženje iz rastvora može da nastane i usled promene temperature vode kao i promena pritiska koji povećava rastvorljivost gasova, a oni dalje svojim prisustvom ubrzavaju samo taloženje. Izlučivanje iz koloidnih rastvora vrši se koagulacijom gela, tako što se ukloni zaštitni naelektrisani omotač oko koloidnih čestica koji inače sprečava koagulaciju. Ovaj proces nastaje kao posledica dovođenja suprotno naelektrisanih koloidnih čestica ili delovanja jakih elektrolita koji su prisutni u rastvoru. Takođe, do taloženja koloidnih rastvora može da dođe u uslovima naglog isušivanja.

3. Dijageneza ili litifikacija je proces kojim se rastresita stena (sediment) prevodi u kompaktnu sedimentnu stenu bez značajnijeg povećanja pritiska ili temperature [13]. Do litifikacije može da dođe odmah posle taloženja, ali ima slučajeva kada ovaj proces traje veoma dugo. Na brzinu dijageneze utiču različiti faktori. Na prvom mestu je postojanje i najmanjeg pritiska koji vrši zbijanje diskretnih fragmenta ili klasta minerala

nastalih iz drugih stena. Pri tome se smanjuje međuprostor klasta i redukuje zapremina sedimenta. Proces dijageneze se ubrzava gubitakom vlage ili uopšte dehidracijom sedimenta, jer dolazi do smanjenja plastičnosti i vlažnosti u sedimentu. Sa smanjenjem vlage smanjuje se i cirkulacija vode sa rastvorenim solima koje se izlučuju u međuprostore klasta u sedimentu ili dolazi do njihove rekristalizacije. Dijagenetska konsolidacija se može vršiti na nekoliko načina:

1. Rastom i srastanjem jednih klasta na račun rastvaranja nekih drugih iz iste stene (ovako nastaju neke karbonatne stene).

2. Taloženjem veziva između klasta na račun delimičnog rastvaranja pojedinih detritičnih minerala iz iste stene. Kvarcni peskovi prelaze, na primer, u kvarcne peščare, karbonatne breče se vezuju cementom stvorenim na račun klasta, itd.

3. Dodavanjem supstance koja će vezati klaste i koja može imati sastav sasvim različit od klasta koje vezuje. Kvarcni pesak prelazi na taj način u krečnjački peščar.

4. Isušivanjem plastičnih ili polutečnih stenskih masa.

5. Interakcijom postojećih komponenata u steni (naročito posle zbijanja), odnosno rekristalizacijom.

Za sedimentne stene se može reći da nastaju od sedimentnog materijala koji se formirao od magmatskih, metamorfnih i starijih sedimentnih stena. Građu sedimentnih stena čine minerali koji se nalaze u magmatskim stenama, kao što je kvarc, muskovit, feldspati, tako i minerali koji se formiraju u hidratogenom ciklusu (kristalizacija iz hladnih vodenih rastvora), kao što su kalцит, dolomit, minerali glina, razni sulfati, haloidi i

drugo. Komponente koje ulaze u sastav novostvorene sedimentne stene mogu se podeliti na dve grupe i to:

1. Alotigene komponente, čine ih minerali koji su se već ranije formirali i na mesto sedimentacije su dospeli u čvrstom stanju.

2. Autigene komponente, čine ih minerali koji su nastali prilikom nastanka same stene. Tako su, na primer, fragmenti u klastičnim stenama alotigeni, a cementna masa je autigena.

Autogeni minerali u jednoj steni daju značajne informacije o uslovima nastajanja sedimentne stene, dok alotigeni sastojci ukazuju na geološku građu područja gde je sedimentna stena nastala i odakle je materijal prenošen [13]. Sedimentne stene se međusobno razlikuju po sastavu, velikom broju prelaznih tipova kao i po različitom odnosu komponenti koje ulaze u sastav određenog tipa stene. Zbog toga postoji više kriterijuma za njihovu klasifikaciju. Međutim, ispravna klasifikacija ovih stena se može izvršiti na osnovu dva aspekta i to: na osnovu načina postanka, odnosno, geneze sedimentnih stena i na osnovu dijagenetskih karakteristika. Prema načinu postanka sedimentne stene se dele na tri velike grupe:

1. Klastične (mehaničke ili terigene) sedimentne stene, koje nastaju od ostataka raspadanja ili mehaničkog detritusa.

2. Hemijske (hemogene ili mineralogene) sedimentne stene, koje nastaju taloženjem iz rastvora.

3. Organogene sedimentne stene u čijem su nastajanju biljni i životinjski organizmi imali presudnu ulogu.

Prema stepenu dijageneze ili litifikacije sedimentne stene se dele na:

1. Nevezane sedimentne stene ili nevezani sedimenti;

2. Poluvezane sedimentne stene ili poluvezani sedimenti i
3. Vezane sedimentne stene ili vezani sedimenti.

Treba istaći da postoji mnogo prelaznih tipova sedimentnih stena, što znači da se ne treba izričito vezati ni za jednu od navedenih podela. Tako na primer krečnjaci, nastaju kao organogene stene, kao hemijski talozi i kao klastičine sedimentne stene. Međutim, važno je naglasiti činjenicu da je jedan od glavnih predstavnika sedimentnih stena upravo kalcijum karbonatna sirovina pod nazivom **krečnjak**.

**Metamorfne stene** nastaju metamorfozom, odnosno preobražajem, magmatskih i starijih sedimentnih stena pod uticajem visoke temperature i pritiska. Takođe, do metamorfoze može da dođe usled kontakta sa vrelom parom i gasovima [13]. Prema načinu postanka metamorfne stene se dele na:

1. Regionalno-metamorfne, koje nastaju metamorfozom postojećih magmatskih stena usled kretanja mase unutar zemlje i promene pritiska. Primer za ovakvu vrstu metamorfizma je prelazak granita u gnajs.

2. Kontaktno-metamorfne, koje nastaju metamorfozom postojećih sedimentnih stena usled kontakta sa magmom i lavom. Primer za ovakvu metamorfozu je prelazak krečnjaka u mermer kada dođe u kontakt sa lavom ili magmom. Kod krečnjaka, kao izvornog materijala, pod uticajem novonastalih i veoma izraženih fizičko-hemijskih parametara, dolazi do promena u strukturi, pri čemu nastaje potpuno nova stena.

U zavisnosti od stepena povezanosti stenske mase stene se mogu podeliti na: 1. Čvrste stene (građevinski kamen); 2. Poluvezane stene (gline) i 3. Nevezane stene (drobina, šljunak, pesak).

## **2. KARBONATNE MINERALNE SIROVINE**

Karbonatne mineralne sirovine pripadaju grupi nemetalinih mineralnih sirovina i dele se na **krečnjake** i **dolomite** [14]. U ovu grupu mineralnih sirovina spada i karbonatna stena **mermer** koja nastaje metamorfozom krečnjaka i dolomita. Za karbonatne mineralne sirovine je karakteristično da imaju različita fizička i hemijska svojstva, što je posledica različitog hemijskog i mineralnog sastava.

### **2.1. Krečnjak i dolomiti**

**Krečnjak** je sedimentna karbonatna stena koja je izgrađena od kalcita,  $\text{CaCO}_3$ , kao dominantnog minerala, uz neznatno prisustvo aragonita. Kalcit i aragonit su dva polimorfna oblika  $\text{CaCO}_3$ . Takođe, u krečnjaku se nalaze i prateći minerali koji predstavljaju primese kao što su: dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , siderit, opal, rodohrozit, kalcedon, kvarc, minerali iz grupe glina, kao i oksidni i hidroksidni minerali gvožđa i mangana, kao i drugih metala, ali u manjim koncentracijama. U zavisnosti od mineralnog sastava i udela primesa u krečnjaku razlikuju se: dolomitisani, laporoviti, silifikovani, bituminozni, tufitični krečnjaci i drugi varijeteti. Prisustvo katjona teških metala povećava gustinu krečnjaka, ali istovremeno utiče i na promene njegove boje. Na promenu boje krečnjaka takođe utiče i prisustvo različitih minerala kao primesa. Tako braon i žuta boja krečnjaka potiču od prisustva limonita, crvena od hematita, nijansa zelene od serpentina, crna od bituminoznih materija, dok svetlo-siva boja potiče od gline [15].

Sve klasifikacije krečnjaka se, uglavnom, zasnivaju na sadržaju MgO i glinovite supstance ( $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$ ) %. Najčešći nazivi koji se sreću za krečnjake su: čist krečnjak, laporoviti krečnjak i dolomitisani krečnjak. Polazeći od sadržaja MgO u krečnjaku, drugim rečima od učešća dolomita, a po nekim autorima od odnosa kalcit:dolomit, moguće je razlikovati sledeće tipove krečnjaka [14]:

1. Čist krečnjak sa sadržajem više od 95 %  $\text{CaCO}_3$  i manje od 1,2 % MgO;
2. Krečnjak sa manje od 10 % dolomitske komponente;
3. Dolomitski krečnjak sa 10-15 % dolomitske komponente i
4. Kalcitski dolomit sa 50-90 % dolomitske komponente.

Za laporovite krečnjake je karakteristično da sadrže 6-10 % minerala gline, dok jako laporoviti sadrže čak 10-21 %.

Generalno se može reći da se pod pojmom krečnjak podrazumeva ona mineralna sirovina koja sadrži najmanje 50 %  $\text{CaCO}_3$ . Ekonomski najznačajnija ležišta krečnjaka, velikih dimenzija, nastala su tokom procesa sedimentacije. Sedimenti krečnjaka čine 10-12 % svih sedimentnih tvorevina u zemljinoj kori. Neznatan ekonomski značaj imaju hidrotermalne kalcitske žice, jer su malih dimenzija. Međutim, treba istaći da ova ležišta karakteriše odličan kvalitet, odnosno visok sadržaj  $\text{CaCO}_3$ . Sedimentne mase krečnjaka obično su nastajale u morima, a samo manjim delom u jezerima. U plitkim delovima toplih voda koncentrisala se krečnjačka masa nastala od marinskih organizama, zatim formirana u procesima hemijske sedimentacije i kao posledica nakupljenih klastičnih krečnjačkih materijala. Jedan poseban varijetet krečnjaka organskog porekla je kreda koja je nastala od ljušturica foraminifera.



**Dolomiti** su karbonatne stene kod kojih je sadržaj minerala dolomita,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , veći od 90 %. U ležištima dolomita se nalaze i različiti minerali koji predstavljaju primese, kao što su kalcit, magnezit, siderit, kvarc, opal, kalcedon, minerali glina, gips i drugo. U slučaju kada dolomitska stena sadrži povećani sadržaj  $\text{CaCO}_3$  tada se dolomit kao mineralna sirovina svrstava u neku od ranije pomenutih grupa krečnjaka. U zavisnosti od vrste prisutnih primesa boja dolomita može biti različita i obično varira od bele, do nijansi žute i sive.

U zavisnosti od uslova pod kojima su se formirala ležišta dolomita, od strukturne građe ležišta, zatim od načina nastanka dolomita i sadržaja  $\text{MgO}$ , postoji više tipova ležišta. Najveća i ekonomski najznačajnija su sedimentna, marinska, ležišta dolomita. U grupu sedimentnih ležišta spadaju i jezerska, infiltraciona, metamorfna i hidrotermalna ležišta. Jezerska ležišta su manjeg obima, dok se hidrotermalna ležišta mogu pojaviti u formi većih ležišta i za njih je karakteristično da dolomit pokazuje izrazito kristalnu građu. Infiltraciona ležišta nastaju dolomitizacijom krečnjaka u uslovima kada je došlo do obogaćenja stena magnezijumom. Metamorfna ležišta se formiraju usled promena primarnih ležišta dolomita, pri čemu se obrazuju dolomitski mermeri i breče [15].

Kada se govori o krečnjačkim i dolomitskim stenama važno je naglasiti da se ove stene mogu pojaviti u okviru istog ležišta i zato je važno tačno definisati tip mineralne sirovine. Postoji više načina kojima se može utvrditi da li se radi o krečnjaku ili dolomitu. U tu svrhu potrebno je primeniti više tehnika za utvrđivanje osnovne stenske mase, a zatim je neophodno odrediti sadržaj  $\text{MgCO}_3$  i  $\text{CaCO}_3$ . Najbrži, ali najmanje pouzdan, način je na osnovu različite rastvorljivosti krečnjaka i dolomita u  $\text{HCl}$

(krečnjak se rastvara, a dolomit ne). Međutim, najprecizniji način utvrđivanja vrste karbonata je hemijska analiza, zatim rendgenska i termijska analiza.

Veoma značajna i po svom sastavu karakteristična karbonatna stena je **mermer**. Reč “*mermer*” je grčkog porekla i znači kristalna ili svetlucava stena. Kao što je poznato stene su prirodni agregati ili kombinacije jednog ili više minerala. Minerali su prirodna neorganska čvrsta tela određenog hemijskog sastava i uređene atomske građe. Stene se, najčešće, sastoje od više minerala, međutim postoje i one koje se sastoje od samo jednog minerala kao što je slučaj kod mermera.

Mermer je čist kalcit ili dolomit, ali može da sadrži i primese kao što su minerali gline, liskuni, kvarc, pirit, oksidi gvožđa i grafit. Sastoji se od isprepletanog mozaika karbonatnih kristala, koji nastaju kao rezultat metamorfoze, promenljive rekristalizacije, originalnih karbonatnih mineralnih zrna. Sve navedeno ukazuje da se mermer može definisati kao metamorfna stena nastala ponovnom kristalizacijom krečnjaka i dolomita. Promena krečnjaka i dolomita nastaje pod uticajem toplote i visokog pritiska. Mermer najčešće nastaje na konvergentnim granicama tektonskih ploča gde su veliki delovi zemljine kore izloženi regionalnom metamorfizmu. Takođe, može da nastane usled kontaktnog metamorfizma kada vrela magma zagreva okolni krečnjak i dolomit [16].

Istraživanja su pokazala da se pre početka metamorfoze kalcit u krečnjaku nalazi u fosilnom obliku. Međutim, tokom procesa metamorfoze dolazi do rekristalizacije kalcita i promene teksture stene u kojoj se nalazio. Na početku procesa prelaska krečnjaka u mermer, kristali kalcita su vrlo mali. Međutim, kako se proces metamorfizma intenzivira, kristali postaju

sve veći i jasno vidljivi u formi isprepletenih kristala kalcita. Zbog toga mermer koji je nastao na nižim nivoima metamorfoze, ima vrlo sitne kristale kalcita, a mermer koje se formirao na višem nivou, odnosno tokom procesa metamorfoze koji je duže trajao, ima krupnije kristale. Za ležišta mermera je karakteristično da su geografski veoma rasprostranjena i da se javljaju u vidu velikih depozita koji mogu imati debljinu i nekoliko stotina metara. Najpoznatije i najveće ležište kvalitetnog mermera u Evropi nalazi se u Karari u Italiji, a u Srbiji je ležište „Venčac“ kod Arandelovca [16].

Boja mermera je najčešće svetla i zavisi od sadržaja nečistoća u krečnjaku od kog je nastao. Mermer koji je nastao od krečnjaka koji sadrži malo nečistoća, ima belu boju, slika 1. Međutim, kad krečnjak sadrži primese, kao što su minerali gline, oksidi gvožđa ili bitumenski materijal, mermer može biti plav, siv, roz, žut, pa čak i crn.



Slika 1. Mermer [17]

Mermer ima veliku primenu u različitim industrijskim granama. Koristi kao građevinski materijal, zatim u hemijskoj i farmaceutskoj

industriji, za izradu skulptura i ukrasnih predmeta, u poljoprivredi i stočarstvu. Zatim se koristi i za proizvodnju boja, kreča, plastike, maltera, papira i drugih industrijskih proizvoda. Mermer odlikuje postojanost i otpornost na sve vrste temperaturnih promena, kao i sve vrste atmosferskih padavina, pa otuda i njegova velika primena [9, 10, 18].

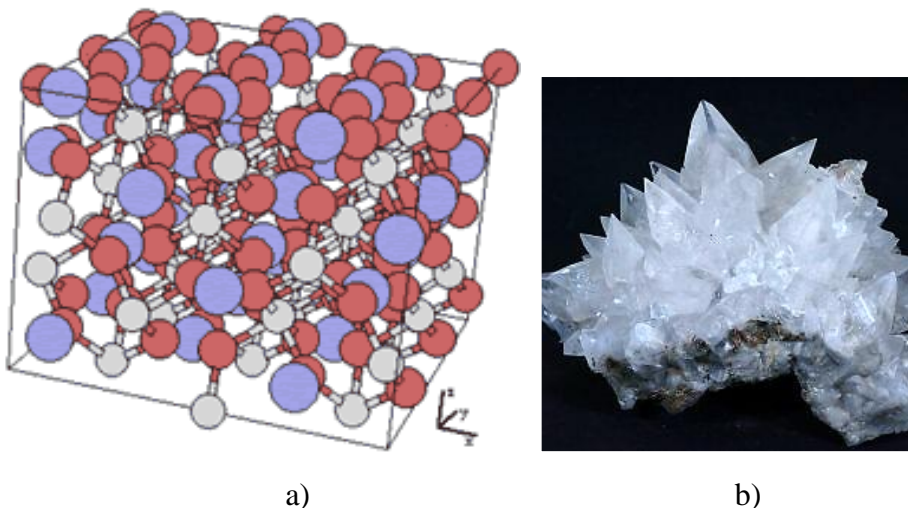
Prilikom analize upotrebne vrednosti svih mineralnih sirovina, pa tako i karbonatnih, u cilju utvrđivanja mogućnosti njihovog korišćenja za različite namene, neophodno jasno i tačno definisati tip mineralne sirovine [14]. Kada je upotreba krečnjaka u pitanju, veoma je važno naglasiti, da industrijske grane koje koriste ovu sirovinu doprinose očuvanju životne sredine imajući u vidu da su materijali na bazi krečnjaka ekološki prihvatljivi [19-21]. Kako je krečnjak sedimentna karbonatna stena koja je izgrađena od kalcita kao glavnog minerala, a dolomiti karbonatne stene kod kojih dominira mineral dolomit u daljem tekstu su date osnovne karakteristike ovih minerala.

### **2.1.1. Minerali kalcit i dolomit**

Naziv minerala kalcita potiče od grčke reči „*cals*“ koja označava gašeni kreč. Kalcit predstavlja najčešći i najrasprostranjeniji mineral u prirodi. Veliki deo sedimentnih i metamorfnih stena, krečnjaka i mermera, sastoje se skoro isključivo od kalcita, laporca i kalcitskih ili mermernih škriljaca. Kalcit je glavno vezivno sredstvo u mnogim klastičnim sedimentima. Po hemijskom sastavu je  $\text{CaCO}_3$  i sadrži 56 % CaO i 44 %  $\text{CO}_2$ . Ima tvrdina po Mos-u 3, vrlo je krt, gustina čistog minerala je  $2,72 \text{ kgm}^{-3}$ , a ako sadrži primese gustina varira od  $2,7 \text{ kgm}^{-3}$  do  $2,85 \text{ kgm}^{-3}$ .

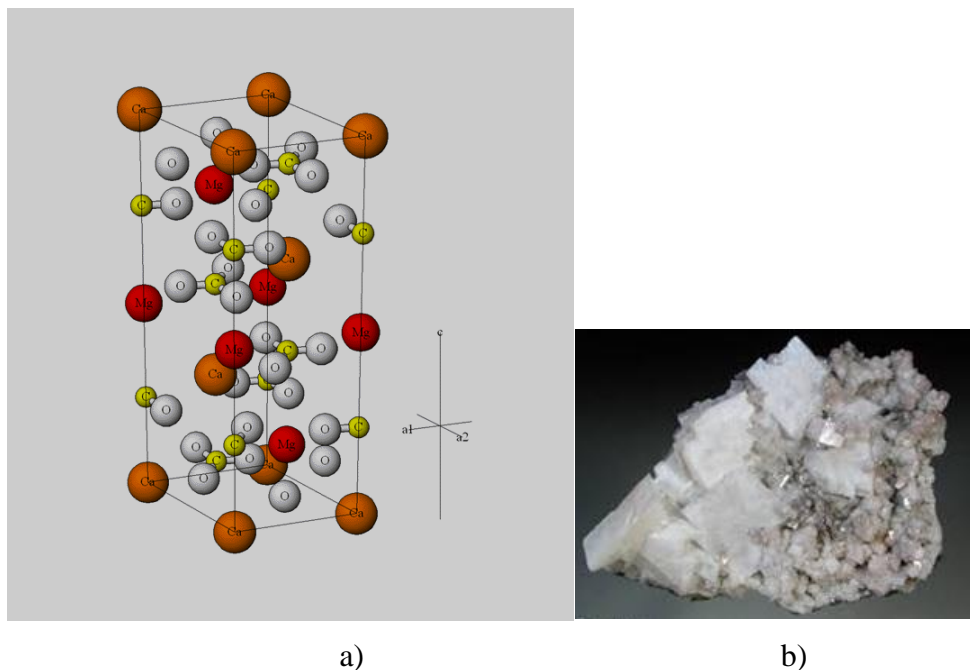
Odlikuje ga staklasti sjaj, a po ravnima cepljivosti može da se zapazi prelivanje boja. Kalcit je providan do mutan. Kada je čist i potpuno bezbojan naziva se islandski kalcit. Obično je bele boje, ali može imati i nijanse plave, sive, žute, zelene, crvene ili neke druge boje. Kalcit je relativno lako rastvoran pri delovanju atmosferskih padavina i površinskih voda pri čemu se prevodi u kalcijum bikarbonat,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , koji je znatno rastvorljiviji od samog kalcijum karbonata [22, 23].

U prirodi se sreće oko 300 kristalnih formi kalcita. Kristali su obično oblika prizme, romboedra ili skalenoedra, koji su najčešći. U nekim slučajevima nastajanja kalcita obrazuju se skeletni kristali. Javlja se u obliku stalaktita, zatim kao krupno do sitnozrnasti i kompaktni kalcit [22]. Kristalna rešetka kalcita je prikazana na slici 2a [24], a izgled minerala kalcita na slici 2b [25].



Slika 2. a) Kristalna rešetka kalcita: kalcijum ●; ugljenik ●; kiseonik ● i b) Izgled minerala kalcita

Dolomit je mineral koji se sastoji od kristala kalcijum-magnezijum karbonata čija je formula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  odnosno  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ . Sadrži 30,41 % CaO; 21,86 % MgO i 47,73 %  $\text{CO}_2$ . Kristališe u trigonalno-romboedarskom sistemu sa čestom pojavom bližnjenja kristala koji mogu biti i u obliku masivnih agregata. Nastali kristali dolomita su najčešće bele boje, zatim sive do roze. Po fizičkim karakteristikama sličan je mineralu kalcitu, ali se ne može rastvoriti u hladnoj hlorovodoničnoj kiselini. Tvrdina dolomita po Mosovoj skali je 3,5 do 4 i gustina  $2,8 \text{ kgm}^{-3}$  do  $2,95 \text{ kgm}^{-3}$ . Sjajnost mu je staklasta, a cepljivost savršena [22]. Kristalna rešetka dolomita prikazana je na slici 3a [26], a izgled minerala dolomita na slici 3b [27].



Slika 3. a) Kristalna rešetka dolomita i b) Izgled minerala dolomita

Interesantno je napomenuti da postoji mineral ankerit koji je po sastavu sličan dolomitu. Razlikuju se po tome što je u ankeritu magnezijum delimično zamenjen gvožđem i manganom. Između dolomita i ankerita se može formirati izomorfna serija u kojoj se menja sadržaj magnezijuma i gvožđa. Male količine gvožđa u strukturi dolomita daju kristalima žutu do braon nijansu, dok roze boja kristala ukazuje na prisustvo mangana. Takođe, magnezijum može biti zamenjen olovom i cinkom. Tekstura dolomita varira od sitnozrne do krupnozrne i često sadrži male šupljine [28].

Različite strukturne, teksturne i hemijske karakteristike dolomita ukazuju da se ovaj mineral može formirati u okviru nekoliko tipova okruženja. Pojedini istraživači konstatuju da ne postoji jedinstveni mehanizam formiranja dolomita. Tome ide u prilog i saznanje da se mlađi dolomiti u velikoj meri razlikuju od dolomita koji su nastali u geološkoj prošlosti. Sve to navodi na zaključak da su opravdane tvrdnje o različitim sredinama u kojima su se dolomiti stvarali u geološkoj prošlosti u odnosu na današnje. Nastajanje dolomita je vezano za proces dolomitizacija kalcita na određenim dubinama, ispod koralnih atola (ostrva), gde je voda nezasićena kalcijum karbonatom, ali je zasićena dolomitom. Na intenziviranje ovog procesa utiču morski talasi i morske struje, kao i hidrotermalne struje, nastale usled vulkanskih aktivnosti ispod ostrva. Geološkim istraživanjima zabeležene su velike količine dolomita, ali je ovaj mineral relativno redak u današnjem okruženju. Danas je moguće sintetisati dolomit u laboratorijskim uslovima, samo na temperaturama koje su više od 100 °C, što su tipični uslovi za tople delove sedimentacionih basena. Međutim, postoji i mišljenje da su velike količine dolomita koje se sada nalaze u stenama, stvarane u dalekoj prošlosti i na nižim temperaturama [28].

### **3. EKSPLOATACIJA I POSTUPCI PRIPREME KREČNJAKA**

Krečnjak je izuzetno rasprostranjena karbonatna sirovina i to uglavnom u površinskim delovima zemljine kore. To ovu sirovinu svrstava u red lako dostupnih za eksploataciju. Osim velikih kompanija koje su registrovale svoju delatnost eksploatacije krečnjaka, postoji i eksploatacija od strane pojedinaca. Sve to ukazuje na veliku eksploataciju krečnjaka na svim nivoima. U cilju dobijanja definitivnog proizvoda za primenu rovni krečnjak se tretira odgovarajućim postupcima pripreme.



Slika 4. Površinski kop krečnjaka [29, 30]

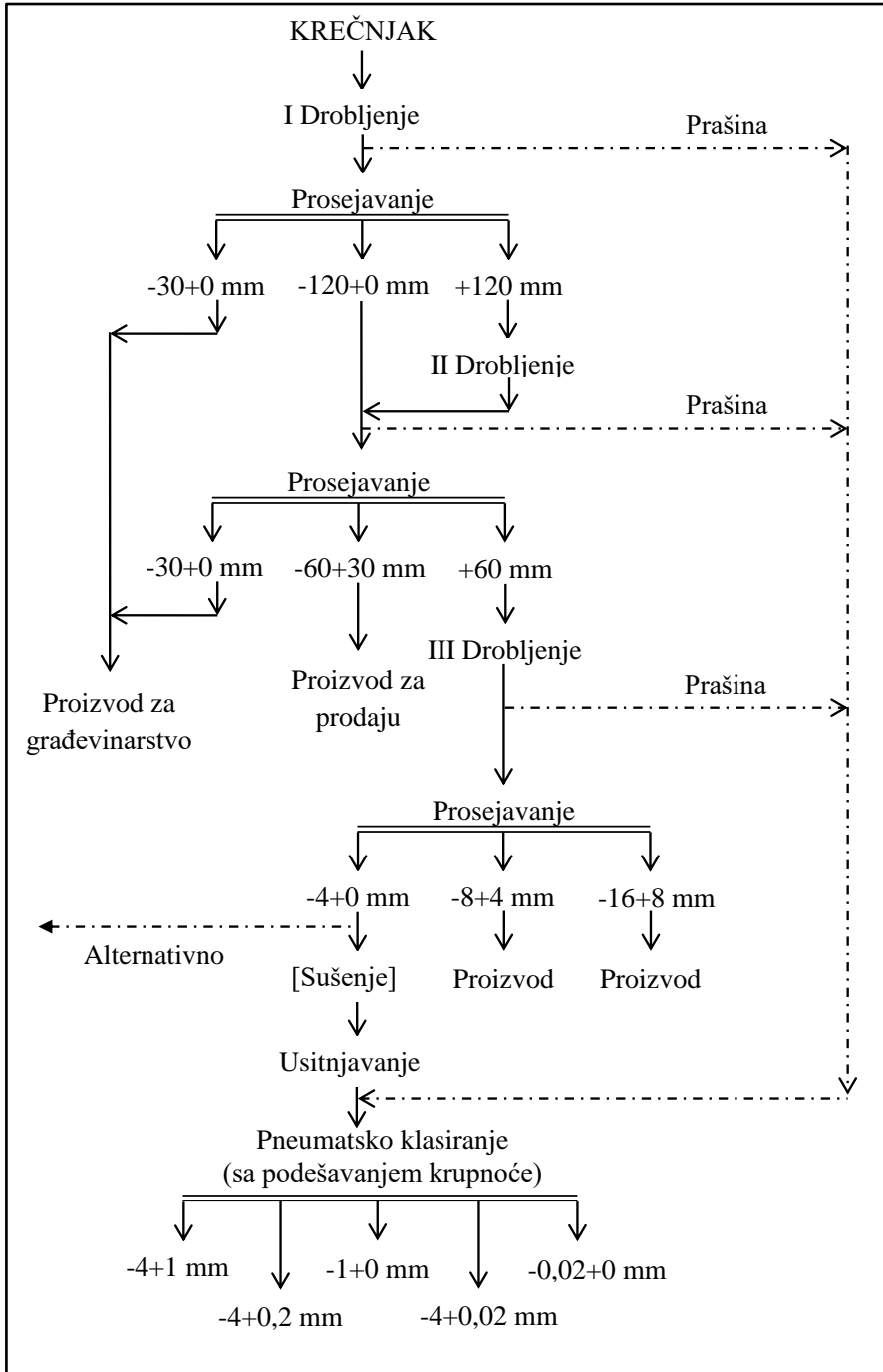
Eksplotacija krečnjaka se najčešće vrši metodom površinskog otkopavanja, slika 4. Tada dolazi do promene reljefa i izmene prirodnog izgleda prostora gde se kop nalazi što može da ima određene posledice na životnu sredinu. Zbog toga je veoma važna potpuna kontrola i plansko izvođenje svih aktivnosti vezanih za eksploataciju kako bi se izbegle neželjene posledice. Prilikom miniranja, bušenja i utovara, a u određenoj meri i transporta, stvara se velika količina prašine. Takođe, mašine koje rade



na kopu stvaraju buku i proizvode štetne gasove, pa je zato neophodno voditi računa i o tome. Posebno treba obratiti pažnju na buku ako se radi o otvaranju kopa u neposrednoj blizini naseljenih mesta.

Postupci priprema rovnog krečnjaka zasnovani su na višestepenom usitnjavanju i klasiranju [14]. Usitnjavanje se vrši postupcima drobljenja i mlevanja u zavisnosti od toga koja je zahtevana krupnoća gotovog proizvoda, a klasiranje se vrši postupkom prosejavanja. Bez obzira na postupak usitnjavanja, pripremom rovnog krečnjaka dobija se veći broj proizvoda koji se razlikuju po krupnoći. Shodno tome, dobijeni proizvodi mogu da se koriste za različite namene i u različitim industrijskim granama. Eksploatacija krečnjaka se vrši metodom površinskog otkopavanja, pa se u takvim uslovima na kopu dobijaju komadi gornje granične krupnoće (ggk) 600-800 mm. Principijelna šema pripreme rovnog krečnjaka prikazana je na slici 5.

Proces pripreme rovnog krečnjaka počinje usitnjavanjem do zahtevane krupnoće postupkom drobljenja koje je najčešće u dva stepena. U prvom stepenu drobljenja krupnoća se redukuje do 60 (100) mm, nakon čega se vrši klasiranje postupkom prosejavanja. Sekundarnim drobljenjem uzorak se usitnjava do ggk 30 mm, nakon čega se prosejava. Prosejavanjem se dobijaju sledeće klase krupnoće: -30+16 mm; -16+8mm; -8+4mm, ali i klase -30+4 mm i -4+0 mm. Klase -30+4 mm i -4+0 mm su proizvodi koji se koriste u građevinarstvu za dobijanje betonskih agregata, za izradu tampona, zatim u niskogradnji i za druge namene. Kada se radi o kompaktnom krečnjaku, koji nije podložan trošenju, izdvajaju se klase krupnoće koje se koriste u industriji šećera, kao što je klasa -150+80 mm.

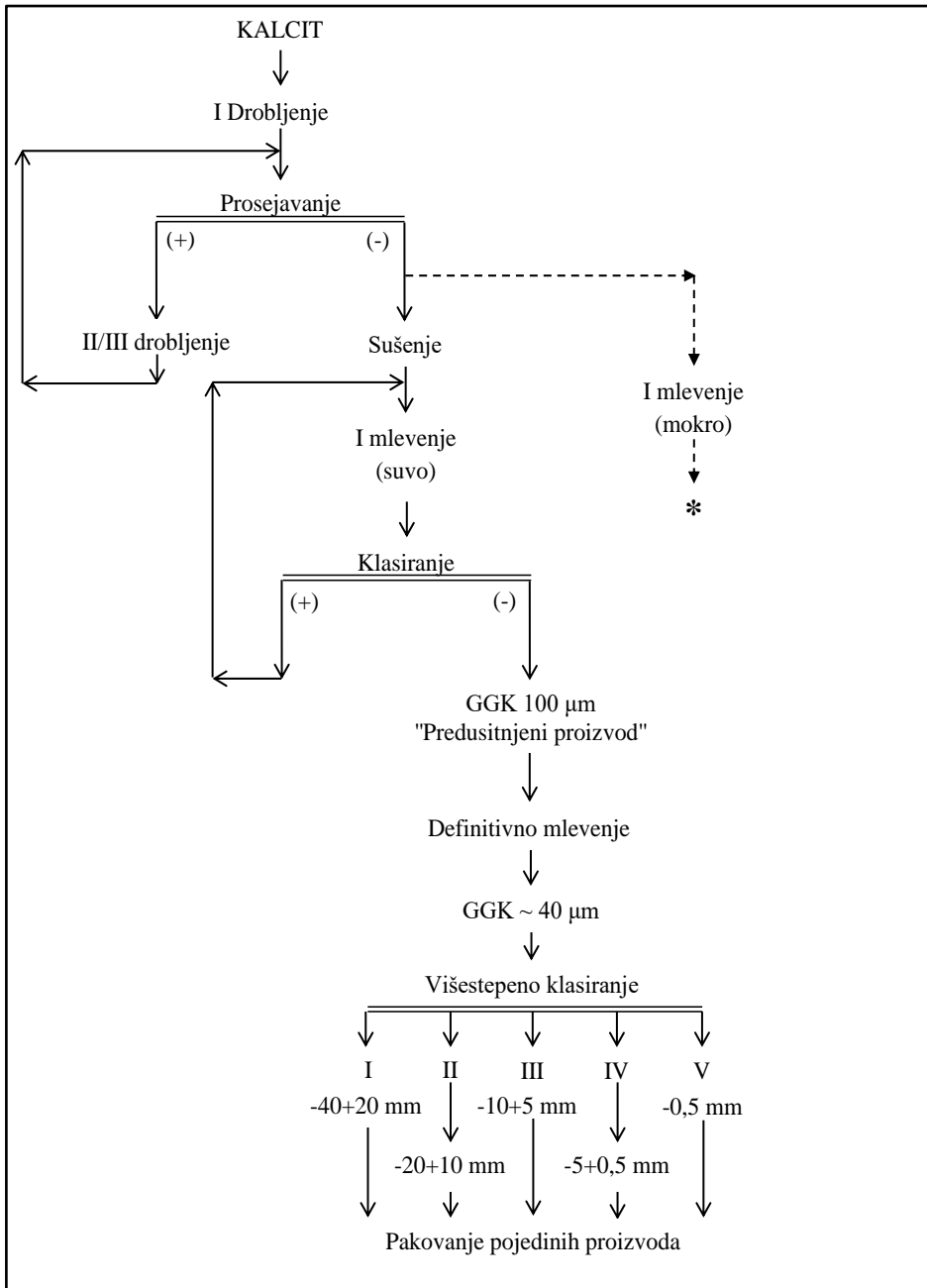


Slika 5. Šema procesa pripreme krečnjaka [14]

Kada se radi o postupku pripreme čistog varijeteta krečnjaka, kalcita, takođe se vrši usitnjavanje drobljenjem sa klasiranjem kao i kod krečnjaka koji sadrži primese. Međutim, da bi se dobile sitnije klase krupnoće predviđeno je i usitnjavanje mlevenjem. Proizvodi koji se dobijaju postupkom mlevenja, a zatim klasiranja, imaju svoju primenu u hemijskoj industriji, industriji papira, kartona i punila. Zahtevana krupnoća u ovim industrijskim granama je najčešće ispod 0,06 mm. Da bi se dobila ova krupnoća iz ulaza -60 mm, koriste se specijalni mlinovi ili udarne i frikcione drobilice. Za klasiranje samlevenog proizvoda koriste se pneumatski klasifikatori. Kod ovih uređaja postoji mogućnost podešavanja režima rada tako da se mogu dobiti sledeće klase krupnoće: -0,04+0 mm, ali i klase -0,02+0 mm; -0,01+0 mm; -0,004+0 mm kao i druge koje zahteva korisnik.

Primeri u praksi pokazuju da se najsitnije klase mogu dobiti otprašivanjem u fazi drobljenja i prosejavanja tzv. „suvim“ postupkom. Međutim, problem kod ovakvog načina dobijanja sitnih klasa može da bude prisustvo vlage u ulaznoj sirovini. Zbog toga se u tehnološkoj šemi mora predvideti postupak sušenja. Sušenje je u fazi kada počinje klasiranje u vazdušnoj struji, pri čemu se ostvaruje visoka oštrina razdvajanja. Na taj način se dobijaju veoma fine klase krupnoće. Šema jednog takvog postrojenja prikazana je na slici 6.

Postupak pripreme nekada zahteva tzv. „mokro“ mlevenje koje se obavlja u mlinovima sa oblogama, pri čemu se koriste meljuća tela od nemetala (sileks, porcelan). U tom slučaju neophodan je postupak odvodnjavanja. Za odvodnjavanje se koriste filter prese [14].



Slika 6. Šema procesa pripreme kalcita za punila, boje i lakove [14]

\*-nastavak je kao na slici 5

Postupci pripreme rovnog krečnjaka koji je bogat dolomitom tzv. dolomitske rude u koje spada dolomitski krečnjak i dolomitski mermer, su nekada slični postupcima pripreme magnezita, a nekada postupcima pripreme krečnjaka. Koji će se postupak pripreme izabrati zavisi od toga gde će se dobijeni proizvod postupka pripreme koristiti. Na primer, za potrebe vatrostalne industrije neophodno je da sadržaj MgO bude veći od 19 %. Da bi se dobio takav kvalitet neophodno je za postupak pripreme predvideti gravitacijsku ili flotacijsku koncentraciju. Ovaj vid pripreme je isti kao kod pripreme magnezita. Danas su postupci pripreme dolomita tako koncipirani da se dobijaju veoma kvalitetni proizvodi koji mogu čak i da zamene magnezit, a to je moguće zbog njegovih dobrih svojstava. Zahvaljujući dobrim hemijskim i fizičkim svojstvima dolomit ima veliku primenu i u građevinarstvu, poljoprivredi, zatim kao punilac u undustriji gume, papira, plastike i dr. Da bi se dolomit koristio u navedenim industrijama postupci njegove pripreme su isti kao i postupci pripreme krečnjaka, a to je usitnjavanje sa klasiranjem [14].

Kada se vrši analiza pripreme mineralnih sirovina na bazi krečnjaka, sa ciljem koncipiranja tehnološke šeme za dobijanje što kvalitetnijeg proizvoda, u prvi plan je cilj same pripreme. Kod ove vrste mineralne sirovine cilj je postizanje kvaliteta dobijenih proizvoda u pogledu hemijskog i granulometrijskog sastava. Najčešće se zadati kvalitet ostvaruje, na izgled veoma jednostavnim postupkom, a to je usitnjavanje sa klasiranjem. Međutim, ono što ga izdvaja u odnosu na usitnjavanje sa klasiranjem kod drugih rovnih sirovina je dobijanje krupnoće koja se izražava u hiljaditim delovima milimetra. Naravno, treba istaći da je u slučajevima slabijeg kvaliteta karbonatnih sirovina i prisutnih primesa, pored postupka

usitnjavanja sa klasiranjem, neophodno predvideti i adekvatni vid koncentracije. Što znači da se usitnjavanja sa klasiranjem, kao jedini postupak pripreme, primenjuje samo na najkvalitetnijim karbonatnim rudama sa visokim sadržajem  $\text{CaCO}_3$  i bez štetnih primesa. Važno je naglasiti da se mlevenje isključivo obavlja u mlinovima bez čeličnih obloga i čeličnih kugli, jer bi u protivnom došlo do kontaminacije krečnjaka komponentama gvožđa.

Osnovna karakteristika usitnjavanja rovnog krečnjaka postupkom drobljenja, a zatim mlevenja, je dobijanje zadate krupnoće postupnim redukovanjem određenih krupnoća sve dok se ne dobije definitivna. Tako se, drobljenjem u prvoj fazi usitnjavanja i mlevenjem u drugoj, može dobiti proizvod do ggk 0,1 mm. U sledećoj, završnoj, fazi mlevenja dobija se krupnoća do ggk 0,04 mm i to upotrebom specijalnih mlinova. Postupak klasiranja jednom usitnjenog krečnjaka odvija se u više faza pri čemu se dobija obično 4-5 finalnih proizvoda. Prednost jednostepenog mlevenja i višestepenog klasiranja je u tome što se ostvaruje velika ušteda energije. Naime, mlevenje je kao način usitnjavanja mnogo skuplji od drobljenja, jer se troši više električne energije. Takođe, jednostepenim mlevenjem eliminiše se stvaranje tzv. „sitneži“ odnosno preusitnjenih zrna krupnoće ispod 0,0005 mm. Za usitnjavanje mlevenjem koriste se vertikalni mlinovi sa meljućim telima od stakla ili tvrdog porculana. Potrošnja energije je visoka i kreće se od 65 kWh/t do 115 kWh/t i to u uslovima kada se izdvajaju samo dva proizvoda („pesak“ i „preliv“) [14].

Za postupak mlevenja mogu da se koriste mlinovi koji rade u režimu „suvog“ i režimu „mokrog“ mlevenja. Od načina mlevenja zavisi i način klasiranja. Koji postupak mlevenja će se koristiti zavisi od namene

dobijenog proizvoda. Na primer, u undustriji boja, lakova, plastike, gume i dr. koristi se krečnjak u „suvom“ stanju, pa se u tom slučaju primenjuje „suvo“ mlevenje za dobijanje zahtevane krupnoće. Da bi se dobili proizvodi visokog kvaliteta u navedenim industrijama, zahtevani sadržaj kalcita u mešavinama kreće se od 10 % do 40 % u zavisnosti od finoće usitnjenog proizvoda, zatim njegovih reoloških i drugih svojstava. Početkom druge polovine XX veka postupak „mokrog“ mlevenje je postao veoma aktuelan. Tada je u industriji papira počela da se upotrebljava kalcitska pulpa umesto kaolina. Do zamene je došlo, jer je kaolin veoma skupa sirovina, za razliku od karbonatnih sirovina koje su neuporedivo jeftinije. Takođe, karbonatne sirovine su veoma rasprostranjene. Obično se nalaze u površinskim delovima zemljine kore, tako da su lako dostupne za eksploataciju.

### **3.1. Uređaji za usitnjavanje krečnjaka**

U postrojenje za pripremu mineralnih sirovina doprema se sirovina različite krupnoće. Krupnoća rovne sirovine zavisi od vrste mineralne sirovine, uslova njenog nastanka u ležištu kao i od procesa miniranja, otkopavanja i transporta. Rovni krečnjak ima komade krupnoće 600-800 mm, dok pojedine mineralna sirovina mogu imati komade i blokove iznad 1500 mm. Podaci o krupnoći rovne sirovine i masenoj zastupljenosti komada su izuzetno važani, jer direktno utiču na izbor opreme za primarno drobljenje. Rovni krečnjak se usitnjava postupcima drobljenja sa prosejavanjem i mlevenja sa klasiranjem. Postupak klasiranja krečnjaka zavisi od odabranog načina mlevenja. Izbor uređaja i opreme u postupku

pripreme krečnjaka zavise od projektovanog kapaciteta proizvodnje i zahtevanog kvaliteta proizvoda koji treba da se dobije pripremom [31].

### **3.1.1. Drobilice**

Na izbor drobilice za primarno drobljenje utiče tvrđina mineralne sirovine, krupnoća ulaza i željeni kapacitet. Za kalcijum karbonatne mineralne sirovine mogu se koristiti sledeće drobilice [31]:

1. Kružne i čeljusne drobilice za tvrde krečnjake i dolomite (čvrstoća na pritisak je 100-200 MPa);
2. Udarne drobilice za umereno tvrde krečnjake (čvrstoća na pritisak je 50-100 MPa);
3. Drobilice sa valjcima za mekane krečnjake (čvrstoća na pritisak je 12,5-50 MPa) i trošne krečnjake (čvrstoća na pritisak je 1,25 MPa).

U fazi sekundarnog drobljenja može da se koriste veći broj drobilica. Za tvrde krečnjake to su čeljusne, konusne i drobilice sa glatkim valjcima, za umereno tvrde krečnjake koriste se čeljusne (sa jednom i dve raspone ploče), udarne, čekićne i drobilice sa valjcima, a za meke krečnjake drobilice sa nazubljenim valjcima (sa jednim ili dva valjka). Treba naglasiti da je izbor između čeljusne i konusne drobilice veoma složen, jer ulazna krupnoća sirovine i kapacitet više nisu tako različiti. Za tercijarno drobljenje koriste se iste drobilice kao za sekundarno drobljenje [31].

Posle svakog stepena drobljenja mineralna sirovina se prosejava. Uređaji koji se koriste za prosejavanje su rešetke i sita. Prema definiciji prosejavanje je proces raspodele sipkog i zrnastog materijala po klasama krupnoće. Vršiti se tako što se mineralna sirovina propušta kroz određenu



prosewnu površinu pri čemu sitniji materijal prolazi kroz otvore i izdvaja se kao prosev, a krupniji se zadržava na prosevnoj površini kao odsev [31]. Na kopu gde se vrši eksploatacija krečnjaka najčešće se postavljaju kompletne linije za njegovo usutnjavanje sa prosejavanjem, slika 7 [32].



Slika 7. Postrojenje za usutnjavanje krečnjaka sa prosejavanjem

### **3.1.2. Mlinovi**

Nakon redukovanja krupnoće mineralne sirovine postupkom drobljenja, nastavlja se dalje usutnjavanje postupakom mlevenja. Mlevenje se može obavljati u jednom ili više stepena. Savremeni pristup postupku mlevenja se bazira na jednostepenom mlevenju sa efikasnim klasiranjem pri čemu se u jednom uređaju završava celokupan proces. U zavisnosti od toga

da li se mlevenje obavlja u prisustvu vode ili ne, može biti „suvo“ i „mokro“ mlevenje, pri čemu je uvek prisutan postupak klasiranja. Klasiranje je postupak sortiranja materijala po klasama zasnovan na različitoj brzini padanja zrna različite krupnoće i gustine u fluidu voda ili vazduh (Stoksov zakon). Kada se mlevenje obavlja u fluidu voda tada se primenjuje hidrauličko klasiranje. Međutim, kada se mineralna sirovina melje bez prisustva vode primenjuje se „suvi“ postupak klasiranja tzv. pneumatsko klasiranje. Ovaj vid klasiranja je najčešće prisutan kod pripreme krečnjaka. Bez obzira o kom je postupku klasiranja reč, uvek se dobijaju dva proizvoda: sitniji (preliv) i krupniji (pesak). Pesak se ponovo vraća na dodatno isitnjavnje [31].

Kada se izrađuje tehnološka šema mlevenja sa klasiranjem i vrši izbor uređaja treba naglasiti da je izbor i ponuda uređaja znatno šira nego kada je u pitanju drobljenje sa prosejavanjem.



Slika 8. Industrijski cilindrični (bubnjasti) mlin [33]

Na slici 8 je prikazan izgled cilindričnog (bubnjastog) industrijskog mlina koji se može koristiti za mlevenje krečnjaka, a takođe i drugih mineralnih sirovina. Režim rada ovog mlina može biti podešen i za „suvi“ i za „mokri“ postupak [33]. Postupak usitnjavanja je izuzetno važna faza u pripremi krečnjaka, a naravno i drugih mineralnih sirovina. Konstruktori i kompanije koje se bave proizvodnjom mlinova posvećuju veliku pažnju modernizaciji ovih uređaja sa ciljem bržeg i efikasnijeg rada. Tako je početkom 2000. godine u kompaniji „Strommashina Corp.“- Rusija konstruisan vertikalni mlin novije generacije izuzetnog dizajna, slika 9 [34].



Slika 9. Vertikalni mlin

Za ovaj mlin je karakteristično da u njemu mogu da se obavlja tri operacije istovremeno: sušenje, mlevenje i klasiranje (tzv. mlin 3 u 1). Karakteriše ih kontinuirani rad, pouzdanost u radu, multifunkcionalnost,

visok kapacitet i nizak nivo buke zbog čega mogu da se postavljaju van hala, odnosno na otvorenom prostoru. Mogu da rade i u režimu suvog i u režimu mokrog mlevenja. Potrošnja električne energije je manja za 20 %, pa čak i za 50 % u poređenju sa ostalim mlinovima [34]. Ovo je izuzetno važno imajući u vidu da je mlevenje jedan od najskupljih procesa u pripremi mineralnih sirovina zbog velikog utroška električne energije po toni samlevene sirovine. Režim postupka klasiranja može biti tako podešen da se dobija frakcija željene krupnoće, a ono što nije dovoljno usitnjeno vraća se na domeljavanje.

### **3.2. Uređaji za prosejavanje i klasiranje krečnjaka**

Prosejavanje i klasiranje su sastavni deo procesa drobljenja i mlevenja krečnjaka. Za postupak prosejavanja koriste se rešetke i sita. Kriterijum za podelu na rešetke i sita je prema načinu formiranja prosevne površine. Izgled prosevne površine rešetke i prosevne površine sita prikazane su na slici 10.



a)

b)

Slika 10. Izgled prosevne površine: a) Rešetka i b) Sito [35]

U postrojenjima za pripremu mineralnih sirovina kombinuju se i rešetke i sita. Uređaji su konstruisani tako da imaju jednu ili više prosevnih površina koje su obično pod nagibom da bi se obezbedilo bolje kretanje mineralne sirovine. Rešetke mogu da budu stacionarne (nepokretne) i pokretne [31]. U zavisnosti od vrste mineralne sirovine i njenih karakteristika, kao i od samog postupka pripreme primenjuju se različite vrste sita. U pogonima za pripremu najveću primenu imaju vibraciona (vibro) sita. Izgled jednog industrijskog vibro sita prikazan je na slici 11.



Slika 11. Industrijsko vibro sito [36]

Za klasiranje krečnjaka najčešće se koriste uređaji za „suvo“ klasiranje, a to su pneumatski klasifikatori. Klasiranje se bazira na različitoj brzini padanja zrna različite krupnoće i gustine u fluidu vazduh. U klasifikatoru se dobijaju dva proizvoda „preliv“ (sitnija klasa) i „pesak“

(krupnija klasa), pri čemu se pesak, najčešće kod klasiranja nakon primarnog mlevenja, vraća na domeljavanje.

#### **4. MINERALNI RESURSI KREČNJAKA I DOLOMITA U REPUBLICI SRBIJI**

Najznačajnije nemetalične mineralne sirovine koje se eksploatišu u Republici Srbiji su: magnezit, gline (opekarske, keramičke, vatrostalne i bentonitske), kvarcne sirovine (kvarcni pesak, kvarcni peščari, kvarciti, žični kvarc), **krečnjaci**, barit, **dolomit**, hrizotil-azbest, gips i anhidrit, zeoliti, feldspati, liskuni, dijabazi, tehnički kamen i arhitektonski kamen. Potencijalne nemetalične mineralne sirovine koje bi mogle da se pod određenim uslovima eksploatišu su: bor (delom je već u eksploataciji) i litijum, bazalti, fosforiti, fluorit, volastonit, dijatomit, vermikulit, granati, sepiolit, prirodni pigmenti i juvelirske mineralne sirovine. Resursi nemetaličnih mineralnih sirovina u našoj zemlji pripadaju serijama endogenih, egzogenih i metamorfofenih ležišta mineralnih sirovina. Nalaze se na područjima Dinaridske, Srpsko-makedonske, Karpato-balkanske, Dakijske mineragenetske provincije i Panonskog basena [8].

##### **4.1. Mineralni resursi krečnjaka**

**Mineragenetski položaj i ekonomski tipovi ležišta.** U Republici Srbiji, najkvalitetniji krečnjaci po svom hemijskom sastavu, rasprostranjeni su u mezozojskim formacijama. Mogu se naći i u paleozojskim formacijama, ali znatno ređe. Ono što je geološkim istraživanjima učeno je

činjenica da velike krečnjačke masive vrlo često prate i značajne mase mermera. Što se tiče njihove primene u Republici Srbiji eksploatišu se uglavnom kao tehnički-građevinski kamen, delom i kao sirovina za dobijanje kreča i za potrebe hemijske industrije. Ekonomski tipovi ležišta su egzogena i metamorfogena ležišta [8].

**Rezerve.** U našoj zemlji geološke rezerve krečnjaka i mermera, koje su ujedno i bilansne, iznose oko 563,07 Mt. Bilansne rezerve krečnjaka od oko 535,63 Mt nalaze se na prostoru uže Srbije, dok se bilansne rezerve krečnjaka od oko 27,44 Mt ili oko 5,6 % nalazi na prostoru Kosova i Metohije. Od ukupnih bilansnih rezervi krečnjaka na prostoru uže Srbije tehničkom-građevinskom kamenu pripada oko 458,11 Mt. Ove bilansne rezerve su u ležištima: „Straževica“, „Sušica“, „Lešje“, „Kriveljski kamen“, „Tisnica“, „Dobrilovići“, „Rupljevo“, „Dolac“, „Surduk“, „Jelenska strana“, „Kovilovača“, „Grabovnik“, „Jelen do“ i drugim ležištima. Bilansne rezerve krečnjaka i mermera kao industrijske karbonatne sirovine iznose oko 77,52 Mt i nalaze se u ležištima: „Rujevački krš“, „Čelije“, „Krečana Banja“, „Kaona-Kučevo“, „Bučevski potok“ i drugim ležištima (stanje 31.decembar 2009.) [8].

**Kvalitet.** Kvalitet krečnjaka i mermera u bilansnim rezervama izražen hemijskim sastavom kao srednji sadržaj komponenti je sledeći: 53-55,9 % CaO; 0,3-0,86 % SiO<sub>2</sub>; 0,15-0,8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i 0,02-0,6 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. [8].

**Resursi.** Potencijalni resursi krečnjaka u Republici Srbiji kada se govori o njegovoj primeni kao industrijske sirovine, procenjuju se na oko 250 Mt, a kada se govori o primeni kao tehničkog-građevinskog kamena mogu se oceniti kao neograničeni [8]. Ono što je važno naglasti je činjenica da je našaj zemlja bogata krečnjačkim stenama i da se vrši njihova

eksploatacije iz velikog broja otkrivenih ležišta. Krečnjak ima široko polje primene, pa je samim tim i potreba za ovom sirovinom velika. Koristi se u građevinarstvu, metalurgiji, hemijskoj industriji, industriji šećera, stakla, hartije, gume, boja, agro-kompleksu i drugo. Takođe, treba naglasiti da krečnjak spada u jeftine mineralne sirovine. Zbog toga treba izbegavati troškove njegovog transporta i uvoza sa teritorije drugih zemalja i u skladu sa tim orjentisati se prema iskorišćenju domaćih resursa. Otvaranje novih ležišta krečnjaka na svim lokacijam gde se nalazi je značajno zbog povećanja obima njegove eksploatacije i dobijanja asortimana koji, kao što je već istaknuto, imaju široku primenu.

**Godišnji obim proizvodnje.** Proizvodnja krečnjaka na godišnjem nivou je najčešće ograničena na kapacitete koji ne prelaze 4 Mt/god. Početkom osamdesetih godina prošlog veka na teritoriji uže Srbije bilo je registrovano 179 kamenoloma krečnjaka i mermera. Podaci sa terena su pokazali da je aktivna eksploatacija bila u 53 kamenoloma krečnjaka i 14 kamenoloma mermera. Tokom izrade bilansa rezervi 1988. godine zaključeno je da se eksploatacija krečnjaka vrši u samo 22 kamenoloma, dok je prema podacima iz 2010. godine taj broj porastao na 81 kamenolom. Ono što je važno za Republiku Srbiju su značajni kapaciteti za proizvodnju kreča. Na godišnjem nivou naša zemlja može da proizvede od 100 do  $200 \times 10^3$  t. Najveći pogoni za proizvodnju kreča su „Jelen Do“-Jelen Do, „Ravanija“-Mali Zvornik, IGM „Kolubara“ i drugi [8].

#### **4.2. Mineralni resursi dolomita**



**Mineragenetski položaj i ekonomski tipovi ležišta.** Ležišta dolomita u našoj zemlji pripadaju endogenoj seriji. Ujedno predstavljaju i satavni deo jako velikih stenskih masa dolomita koje zauzimaju velika geografska prostranstva. Republika Srbija ima izuzetno rasprostranjene dolomitske formacije u većini mineragenetskih jedinica. Sa aspekta geoloških nauka utemeljenim na naučnim pretpostavkama postoje realni preduslovi da se pronađu nova ležišta ove mineralne sirovine. Dolomiti se uglavnom koriste u industriji stakla, zatim za proizvodnju magnezijum-metala, proizvodnju mineralne vune, u vatrostalnoj industriji, crnoj metalurgiji i industriji punila [8].

**Rezerve.** U našoj zemlji geološke rezerve dolomita, koje su ujedno i bilansne, iznose oko 61,28 Mt (stanje 31.decembra 2009. godine). Bilansne rezerve od oko 59,91 Mt nalaze se na prostoru uže Srbije u ležištima „Gajića Stena“, „Samar“, „Gradac“, „Rogavčina“, „Lokva“-Gradac, koja se nalaze u blizini Raške, zatim „Lipovača“-Loznica, „Zabrdica“-Valjevo, „Stublo“-Valjevo, „Ladne vode“ i dr., a bilansne rezerve u količini od oko 1,37 Mt u ležištu „Venje“-Vrdnik u Vojvodini. Navedene rezerve dolomita se pretežno odnose na dolomit kao tehnički građevinski kamen. Deo dolomita se koristi kao industrijska sirovina, tako da su bilansne rezerve dolomita za ovu upotrebu oko 14,77 Mt [8].

**Kvalitet.** Kvalitet dolomita u bilansnim rezervama izražen hemijskim sastavom kao srednji sadržaj komponenti je sledeći: 0,26 %  $Al_2O_3$ ; 30,28 %  $CaO$ ; 21,23 %  $MgO$ ; 0,26 %  $Fe_2O_3$  i 0,06 %  $K_2O$  [8].

**Resursi.** Potencijalni resursi dolomita, kada se govori o njegovoj primeni kao industrijske sirovine, procenjuju se na oko 163 Mt. Po oblastima primene raspodela je sledeća: oko 17 Mt dolomita za industriju

stakla; oko 20 Mt dolomita za proizvodnja magnezijum metala; oko 10 Mt dolomita za proizvodnju mineralne vune; oko 50 Mt dolomita za vatrostralnu industriju; oko 46 Mt dolomita za crnu metalurgiju i oko 20 Mt dolomita za industriju punila. Potencijalni resursi dolomita, u delu primene kao tehničkog-građevinskog kamena mogu se oceniti kao neograničeni [8]. Istraživanja su pokazala da se geografska područja u našoj zemlji koja imaju velike stenske mase dolomita nalaze u dolini Jadra, zatim okolini Valjeva, Loznice i Uba. Posebno je interesantna Studenička serija dolomita.

**Godišnji obim proizvodnje.** Proizvodnja kvalitetnih dolomita na godišnjem nivou iznosi približno 0,4 Mt/god. Ono što je važno da se naglasi je stalni porast njegove proizvodnje. Navedeni podatak se odnosi na proizvodni kapacitet koji se ostvaruje u svim industrijama, ne računajući industriju građevinskog materijala i poljoprivredu. Poznato je da se velike količine dolomita koriste za proizvodnju metalnog magnezijuma. Ležišta u kojima se eksploatiše dolomit za ove namene su „Gradac“ i „Lokve“ kod Raške. Naravno i ostala ležišta imaju kvalitetan dolomit koji može da se koristi i u drugim industrijama. Tako, na primer, dolomit iz ležišta „Velika Straževica“ kod Batočine ima takav kvalitet da može da se koristi za proizvodnju visoko vatrostralnih opeka uz upotrebu tera [8].

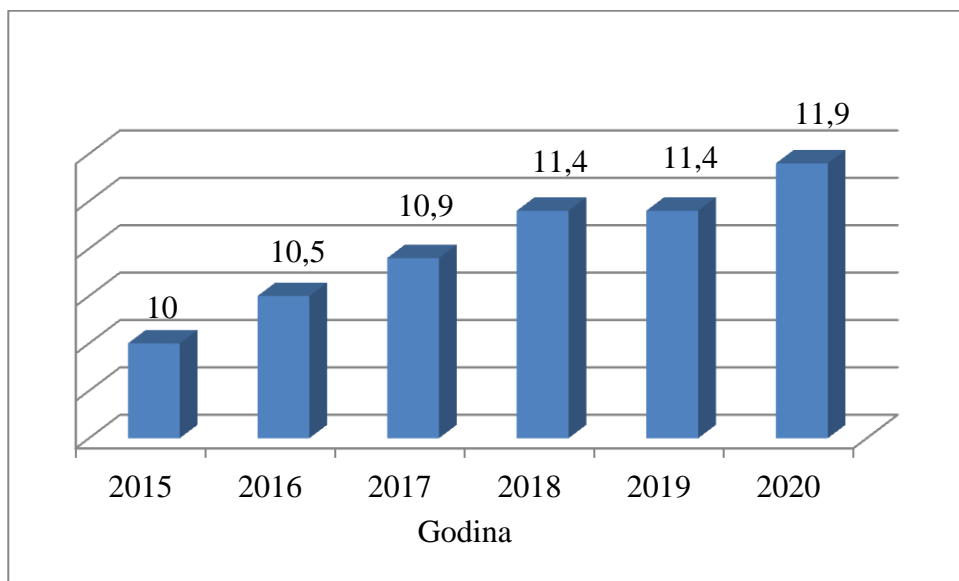
## **5. SVETSKO TRŽIŠTE KREČNJAKA–TRENDOVI I PROGNOZE**

Jedan od glavnih uzročnika širenja tržišta krečnjaka na svetskom nivou i konstantnog porasta potreba za ovom sirovinom je nesumnjivo građevinski sektor. U oblasti građevinske industrije ova karbonatna sirovina se koristi kao direktni građevinski materijal, zatim kao različiti agregati za izgradnju saobraćajnica i kao polazna sirovina za dobijanje kreča. Istraživanje i analiza potrošnje kreča na godišnjem nivou su pokazala da se za izgradnju saobraćajnica, nasipa i za poboljšanje stanja zemljišta tokom izvođenja radova na gradilištima koristi preko 2 miliona tona kreča [37].

Prema studiji Svetskog Instituta građevinskih inženjera (Institution of Civil Engineers - ICE), očekuje se da će građevinska industrija do 2030. godine, na globalnom nivou, dostići vrednost od 8 biliona dolara. Vodeće zemlje koje će prednjačiti po visini ulaganja u oblasti građevinarstva su prvenstveno Kina, Indija i region Sjedinjenih Američkih Država. Na svetskom nivou najveća ulaganja biće u Azijsko-Pacifičkoj regiji pri čemu će građevinsko tržište predvoditi Indija, Kina i pojedine zemlje jugoistočne Azije. Bogate zemlje sprovode niz aktivnosti kako bi uticale na ulaganja stranih kompanija na svojoj teritoriji. Tako je, na primer, vlada Indije pokrenula projekat „100 pametnih gradova“ i „Stambeno stanovanje do 2022. godine“ kako bi animirala i privukla strane investitore da pokažu interesovanje za ovaj infrastrukturni sektor [37].

Zahvaljujući snažnoj ekonomiji i pozitivnim tržišnim osnovama za komercijalne nekretnine, građevinskoj industriji Sjedinjenih Američkih Država prognozirani je nastavak uspešnog širenja. Očekuje se da će navedeni faktori za podsticaj građevinske industrije u pojedinim zemljama doprineti pokretanju globalnog tržišta u budućem periodu.

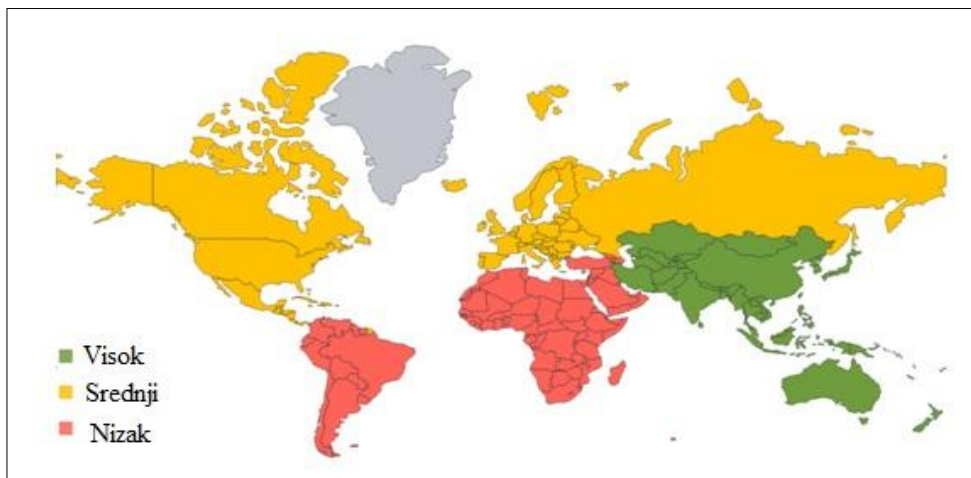
Da teoretska predviđanja mogu da se uzmu kao validna i da će se ostvariti u praksi pokazuje i prethodni analizirani period 2015.-2020. godina. Naime, predviđeni rast u oblasti građevinske industrije od 2015.-2019. godine se i ostvario što je grafički prikazano na slici 12. Očekuje se da se taj trend nastavi i u 2020.godini.



Slika 12. Rast građevinske industrije na globalnom nivou u hiljadama biliona USD u periodu od 2015.-2020. godine [37]

Razvoj i širenje građevinske industrije nesumnjivo dovodi do veće potrošnje krečnjaka. Tako je eksploatacija krečnjaka u Indiji, gde je

građevinski sektor u Azijsko-Pacifičkoj regiji najrazvijeniji, za posljednje 4 godine dostigla 313,2 miliona tona. Na osnovu analize razvoja građevinarstva u svetu i potrošnje krečnjaka u toj oblasti, moguće je predvideti rast tržišta krečnjaka u svetu za naredni period. Na slici 13 je prikazana svetska prognozirana brzina rasta tržišta krečnjaka po regionima do 2024. godine [37].



Slika 13. Brzina rasta tržišta krečnjaka u svetu u periodu 2019.-2024.godina

Sa slike 13 se vidi da je tržište krečnjaka jasno podeljeno po regionima što se tiče njegovog plasmana na tržištu. Predviđa se da će region sa najvećom brzinom rasta tržišta krečnjaka u svetu biti Azijsko-Pacifički region. Vodeće kompanije koje se bave krečnjakom u ovom delu sveta su: Imerys, Carmeuse, Mitsubishi Materials Corporation, American Elements, Graymont Limited i Lhoist Group [37].

Za predviđanje procentualnog rasta tržišta određene mineralne sirovine ili proizvoda, najčešće za period tri do pet godina, koristi se CAGR

(Compound Annual Growth Rate). Prema analizi CAGR u periodu 2019.-2024. godine očekivani rast tržišta krečnjaka biće do 6% [37]. Da bi predviđanja o stanju tržišta određene mineralne sirovine ili proizvoda bila realna i zaista se u praksi pokazala kao tačna, neophodno je obuhvatiti veliki broj parametara relevantnih za datu prognozu. Veoma često je neophodno obuhvatiti, analizirati i naći uzročno posledičnu vezu između velikog broja podataka kako bi se izveli određeni zaključci. Pristup podacima i njihova obrada nije ograničena samo na jednu državu ili jednu regiju. Radi se o globalnom umrežavanju i razmeni informacija kako bi predviđanja bila što preciznija.

Za analizu rasta, trendova i prognoze stanja tržišta krečnjaka u budućnosti relevantni su sledeći parametri [37]:

1. Direktna upotreba krečnjaka za dobijanje finalnog proizvoda kao što je kreč;

2. Krajnji korisnici krečnjaka kao što su industrija papira i celuloze, pogoni za prečišćavanje otpadnih voda, poljoprivreda, industrija plastike, građevinarstvo, proizvodnja čelika, hrane, pića i drugo;

3. Geografska rasprostranjenost po teritorijalnim oblastima, a to su Azijsko-Pacifička, Severna Amerika, Evropa, Južna Amerika, Bliski Istok i Afrika.

Moderan i savremen pristup analizi potreba i zahteva za pojedinim mineralnim sirovinama u budućnosti, uključujući i krečnjak, daje veliki doprinos, ne samo funkcionisanju industrija koje koriste datu sirovinu, već utiče na održivo korišćenje i kontrolisanu eksploataciju prirodnih resursa. Sa aspekta eksperta koji se bave eksploatacijom i preradom mineralnih sirovina

neophodno je konstantno uključivanje šire društvene zajednice i svih činilaca društva kako bi se održivi razvoj realizovao u praksi.

## **6. ZAHTEVI TRŽIŠTA ZNAČAJNI ZA UPOTREBU MINERALNIH SIROVINA**

Na postupak pripreme određene mineralne sirovine, pa samim tim i krečnjaka, kao i dobijanje proizvoda određenog kvaliteta direktno utiču **zahtevi tržišta**. U okviru zahteva tržišta jasno su dati uslovi koje jedan definitivni proizvod iz pripreme mineralnih sirovina mora da ispuni da bi mogao da nađe svoju industrijsku primenu. Shodno tome koncipira se i postupak pripreme i koncentracije date mineralne sirovine. Ispunjavanjem uslova tržišta, odnosno zahteva određene grane industrije, definitivni proizvod dobija i svoju vrednost. Imajući u vidu činjenicu da jedan isti proizvod može imati različitu primenu, nameće se zaključak da može imati i različitu tržišnu vrednost [38].

Kao rezultat industrijskih procesa pripreme mineralnih sirovina dobija se definitivni proizvod čiji kvalitet određuje veliki broj različitih parametara. Može se reći da svi parametri koji utiče na kvalitet proizvoda pripreme mineralnih sirovina određuju njegova hemijska i fizička svojstva. U najvećem broju slučajeva prerađivačke industrijske grane koje koriste proizvode pripreme mineralnih sirovina definišu ili uslovljavaju njegov kvalitet. U prvom redu to je sadržaj osnovnog, korisnog, elementa koji je prisutan u obliku svog osnovnog minerala kao njegovog nosioca. Zahtevani

sadržaj korisnog elementa izražava se kao njegov minimalni sadržaj u dobijenom definitivnom proizvodu. Procesima pripreme mineralnih sirovina prerađuju se vrlo složene sirovine, kako po hemijskom tako i po mineralnom sastavu. Kao rezultat prerade takvih sirovina mogu da se dobiju proizvodi koji sadrže više korisnih elemenata. Logično je da će taj proizvod imati veću tržišnu vrednost i šire polje primene u odnosu na proizvod kod kog to nije slučaj. Osim minimalnog sadržaja korisnog elementa u definitivnom proizvodu pripreme mineralnih sirovina, industrijske grane koje ih koriste, jasno definišu i maksimalni sadržaj štetnih i nekorisnih elemenata u njemu.

Zahtevi tržišta u pogledu kvaliteta proizvoda dobijenih preradom određene mineralne sirovine odnose se, ne samo na kvalitet određen njihovim hemijskim sastavom, već i na druga svojstva među kojima se izdvajaju fizička svojstva. Generalno se može reći da fizička svojstva posebno dolaze do izražaja kada se radi o upotrebi nemetaličnih mineralnih sirovina u koje spada i krečnjak. Fizička svojstva, koja treba posebno istaći kada je upotreba krečnjaka u pitanju, su krupnoća, odnosno, granulometrijski sastav i boja, a u pojedinim slučajevima kada su druge sirovine u pitanju i tvrdina, specifična težina i drugo.

Zahtevi, u pogledu kvaliteta određenih definitivnih proizvoda pripreme mineralnih sirovina, pojedinih industrijskih grana su nekada toliko oštri da ih je prosto nemoguće dobiti jednim postupkom. Takav je slučaj kod upotrebe krečnjaka kada se zahteva njegova hidrofobnost, a poznato je da je on prirodno hidrofilan, odnosno upija vlagu i vodu. Tada je neophodno nakon dobijanja proizvoda određenog hemijskog i granulometrijskog sastava izvršiti i njegovo modifikovanje kako bi se hidrofilna svojstva



pretvorila u hidrofobna. Modifikovanje krečnjaka znači modifikovanje njegovog osnovnog minerala, a to je kalcit. Za modifikovanje površine minerala kalcita najčešće se koriste masne kiseline, zatim soli masnih kiselina, različita ulja i drugo [39, 22].

Kada govorimo o preradi svih mineralnih sirovina, uključujući i krečnjak, neophodno je naglasiti da će njihov kvalitet, prema mišljenju stručnjaka iz ove oblasti, nesumnjivo, u budućnosti biti lošiji nego danas [38]. Eksploatacijom se danas sve više iscrpljuju bogata rudna ležišta i u bližoj ili daljoj budućnosti otvaraće se za eksploataciju i siromašnija ležišta. Mineralne sirovine lošijeg kvaliteta imaju niži sadržaj korisne komponente i biće kompleksnije i teže za proces pripreme i koncentracije. Istovremeno, sa napretkom i uvođenjem novih savremenih tehnologija i opreme u svim industrijskim granama koje koriste proizvode dobijene postupcima pripreme i koncentracije, pojavljivaće se i sve oštriji zahtevi u pogledu njihovih svojstava i kvaliteta.

Sve ovo ukazuje na potrebu jednog multidisciplinarnog pristupa u cilju usavršavanja i modernizacije industrijskih procesa pripreme i koncentracije mineralnih sirovina. Jedino takvi uslovi mogu da obezbede dobijanje kvalitetnih definitivnih proizvoda koji mogu da ispune kriterijume definisane zahtevima tržišta modernog doba.

## **7. PRIMENA KREČNJAKA**

Krečnjak se koristi u velikom broju industrijskih grana. Najveću primenu krečnjak ima u oblasti građevinarstva gde se koristi za dobijanje maltera, betonskih mešavina, u proizvodnji raznih vrsta cementa, kreča i direktno u vidu drobljenog kamena različite krupnoće. Drugi važan korisnik je metalurgija, gde se krečnjaka koristi u aglomeraciji, u visokim pećima i kod Besemerovog postupka topljenja čelika. Hemijska industrija, takođe, koristi značajne količine ove sirovine u industrijskoj proizvodnji azotnih jedinjenja, celuloze, papira, sode, hlornog kreča, karbida, gume i drugo. U poljoprivredi se krečnjak koristi za neutralizaciju kiselih zemljišta i kao dodatak stočnoj hrani. Velike količine krečnjaka nalaze svoju primenu u industriji šećera, kao i u staklarskoj i keramičkoj industriji [40, 14].

Da bi krečnjak mogao da se koristi neophodno je da ima zadovoljavajući kvalitet. Kvalitet krečnjaka direktno zavisi od njegove namene. Tako, na primer, krečnjak koji se upotrebljava u metalurgiji, hemijskoj industriji i za neke posebne namene kao što je proizvodnja papira, mora da ima visok kvalitet u pogledu hemijskog sastava. Krečnjak koji se koristi kao punilac u različitim industrijskim granama mora da bude visokokvalitetna fino usitnjena sirovina. Međutim, kada se radi o kvalitetu krečnjaka za upotrebu u građevinarstvu i poljoprivredi kriterijumi su nešto

niži. Kvalitet i mogućnost upotrebe krečnjaka definišu dva izuzetno važna parametra, a to su:

1. Hemijski sastav i
2. Fizička svojstva

Kvalitet krečnjaka definisan hemijskim sastavom odnosi se na najmanji sadržaj CaO, odnosno CaCO<sub>3</sub> i najveći dozvoljeni sadržaj nečistoća i štetnih komponenti, kao što su: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, alkalije, gips i drugo. U grupu fizičkih svojstava koja određuju kvalitet krečnjaka spadaju: granulometrijski sastav, tvrđina, nosivost, poroznost, boja i drugo. Kod proizvoda na bazi krečnjaka najvažnija kvalitativna svojstva su boja (belina) i sjaj. Takođe, fizička struktura mineralne i stenske mase predstavljaju značajan faktor, posebno kada se razmatra sposobnost usitnjavanja ove mineralne sirovine.

U velikom broju slučajeva pojedine industrijske grane su utvrdile opšte standarde kvaliteta krečnjaka, mada ima slučajeva da korisnici određuju svoje interne zahteve. U okviru ovih zahteva, a za svaku pojedinačnu namenu, odnosno zahtev korisnika, utvrđeni su odgovarajući standardi [41, 20].

### **7.1. Primena krečnjaka kao punioca u industriji polivinil-hlorida**

Zajednički naziv za sve materijale koji se dodaju polivinil-hloridu (PVC) i utiču na njegov kvalitet i mehaničke osobine gotovog proizvoda su **punioci**. Pod pojmom punioci u tehnologiji prerade PVC-a podrazumevaju se uglavnom neorganski materijali koji imaju zadatak da poboljšaju kvalitet finalnog proizvoda, a da pri tome ne poskupljuju proces proizvodnje, kao ni

sam finalni proizvod [42-44]. To znači da punioci moraju da budu jeftini materijali koji dodavanjem u mešavinu od koje se dobija konkretan proizvod zamenjuju određeni deo skupe komponente i tako snižavaju cenu sveukupne mešavine, odnosno gotovog proizvoda [45].

Od svih punilaca koji se koriste u industriji PVC-a puniocima tipa krečnjaka pripada gotovo 80 % od ukupne potrošnje. Ograničavajući faktor primene krečnjaka kao punioca u industriji polimera je njegovo hidrofilno svojstvo koje potiče od hidrofилnog svojstva kalcita kao njegovog osnovnog minerala. Hidrofilna površina kalcita je nekompatibilna sa hidrofobnom površinom polimera. Pretvaranje krečnjaka sa hidrofilnim svojstvima u krečnjak sa hidrofobnim postiže se modifikovanjem kalcita [43, 44]. Postupcima površinskog modifikovanja kalcita organskim modifikatorima tipa površinski aktivnih materija, moguće je značajno poboljšati kvalitet krečnjaka kao punioca za primenu u industriji polimera [46-48].

Sa ciljem da se dobije hidrofobna površina kalcita u postupku modifikovanja najčešće se kao površinski aktivne materije koriste monokarboksilne kiseline sa alifatičnim ugljovodoničnim lancem, tzv. masne kiseline, kao i njihove soli. Hidrofobna površina modifikovanog kalcita na ovaj način postaje kompatibilna sa molekulima polimera. Korišćenjem krečnjaka, u kome je modifikovan kalcit, kao punioca u PVC mešavini značajno se poboljšavaju pre svega mehaničke osobine finalnog proizvoda kao što su: zatezna čvrstoća, zatezno izduženje, prekidna čvrstoća, prekidno izduženje i temperatura omekšavanja po Vikat-u. Za površinsko modifikovanje kalcita stearinskom kiselinom koristi se „suvi“ i „mokri“ postupak [49, 50].

Modifikovanje površine kalcita pomenutim postupcima vrši se pri različitim koncentracijama stearinske kiseline pri čemu je neophodno da sadržaj kalcita u krečnjaku bude visok (>95 %). U zavisnosti od koncentracije stearinske kiseline, mogu se dobiti proizvodi različitog stepena obloženosti, koji je uzet kao mera hidrofobnosti. Takođe, analiziranjem dobijenih proizvoda određenim fizičko-hemijskim metodama mogu se pratiti promene koje se odigravaju na površini kalcita. Na osnovu toga je moguće tumačenje mehanizma vezivanja stearinske kiseline za njegovu površinu [49, 51].

Industrija za proizvodnju PVC postavlja određene zahteve u pogledu kvaliteta koji važe za sve punioce, pa tako i za krečnjak, a to su [45]:

1. Postojanost u odnosu na temperaturu, pritisak i mehaničko naprezanje koji prate preradu PVC-a;
2. Dobro dispergovanje u PVC-u;
3. Da imaju što viši stepen beline i da su bez nečistoća i stranih materija;
4. Da ne deluju abrazivno;
5. Da nemaju više od 0,4 % vlage i
6. Da su inertni i kompatibilni sa svim dodacima prisutnim u smeši.

Krečnjak, kao i drugi neorganski punioci, dodaju se PVC-u uvek u formi finog, suvog praha i to u fazi mešanja PVC-a sa svim ostalim dodacima, sa ciljem što bolje i potpunije homogenizacije. Najnoviji pravci industrijskog razvoja kao i zahtevi prerađivačke industrije za što kvalitetnijim karbonatnim puniocima usmerili su ispitivanja ka iznalaženju

postupaka kojima se poboljšavaju osobine krečnjaka kao punioca [52-54]. Prema literaturnim podacima u cilju dobijanja punioca koji može da poboljša mehaničke osobine PVC proizvoda vrši se površinsko modifikovanje kalcita u mikroniziranom krečnjaku masnim kiselinama, različitim solima masnih kiselina, različitim uljima i drugim površinski aktivnim materijama [55-62].

Krečnjak kod kog je mineral kalcita površinski modifikovan veoma lako se disperguje u polimeru pri čemu se dobija homogena mešavina. Osim toga, krečnjak kod kog je modifikovana površina kalcita pokazuje još neka bolja svojstva u odnosu na krečnjak kod kojeg nije modifikovan kalcit, a to su:

1. Krečnjak postaje izrazito hidrofoban i tako odbija vodu i vlagu što je posebno važno za svaki punilac;
2. Površinskim modifikovanjem kalcita znatno se smanjuje abrazivno dejstvo krečnjaka;
3. Ovakvi punioci pokazuju bolja reološka svojstva, veću otpornost na udarac i bolja električna svojstva i
4. Upotrebom ovakve vrste punioca dobija se znatno kvalitetnija površina gotovog proizvoda, s obzirom na glatkost, sjaj i njegov izgled.

Generalno se može reći da postupakom modifikovanja krečnjak dobija na kvalitetu, a krajnji proizvod od polivinil-hlorida koji sadrži modifikovani krečnjak bolja mehanička svojstva. Drugim rečima hemisorbovani stearat na kalcitu obezbeđuje jaču interakciju u sistemu kalcit-stearinska kiselina-PVC, odnosno bolje mehaničke osobine.

Mehaničke osobine plastičnih masa imaju veliki značaj kako u procesu prerade tako i za definisanje kvaliteta gotovih proizvoda.

Pri ispitivanju mehaničkih osobina materijala zavisno od načina delovanja sile i promena koje se u materijalu dešavaju tokom ispitivanja razlikuju se:

1. Ispitivanja sa razaranjem uzorka i
2. Ispitivanja bez razaranja uzorka.

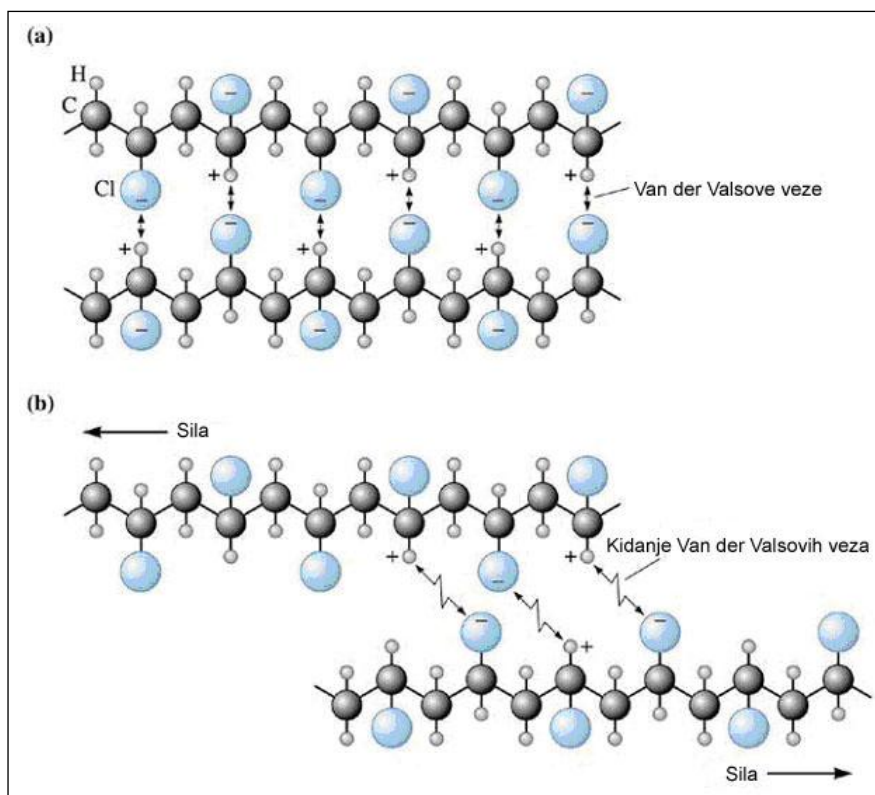
Mehanička ispitivanja sa razaranjem uzorka se dele na:

1. Ispitivanja statičkim dejstvom sile i
2. Ispitivanja dinamičkim dejstvom sile.

Za ispitivanja statičkim dejstvom sile karakteristično je da nema nikakvih udara niti potresa uzorka pri ispitivanju, jer sila deluje ravnomerno. Prema vrsti naprezanja koja se javljaju u materijalu statička ispitivanja mogu da se podele na ispitivanja: zatezanjem, pritiskom, savijanjem, uvijanjem, izvijanjem i smicanjem. Mehaničke osobine se određuju na specijalnim epruvetama napravljenim od materijala koji će se koristiti u procesu proizvodnje krajnjeg proizvoda [63]. U zavisnosti od trajanja delovanja opterećenja na ispitivanu epruvetu, razlikuju se dugotrajna i kratkotrajna ispitivanja. Mehaničke osobine se određuju na niskim, normalnim i visokim temperaturama na način propisan standardom za ispitivanu mehaničku osobinu [64, 65]. Kod plastičnih masa najčešće se statičkim ispitivanjima mehaničkih osobina određuju: zatezna čvrstoća i zatezno izduženje; prekidna čvrstoća i prekidno izduženje. Osobine pri zatezanju su od primarne važnosti, jer daju informacije o maksimumu dozvoljenog opterećenja do loma plastične mase i konačnog pucanja.

U plastičnoj masi koju čini polimer bez punioca lom nastaje na mestu na kom je struktura najslabija, odnosno na mestu stvaranja najvećeg napreznja kao posledice procesa deformacije. Lokalna pukotina se dalje širi kroz ceo materijal.

Na primeru polivinil-hlorida kao polimera bez punioca, na slici 14 prikazano je kidanje Van der Valsovih veza između dva lanca PVC-a pod dejstvom sile istezanja.

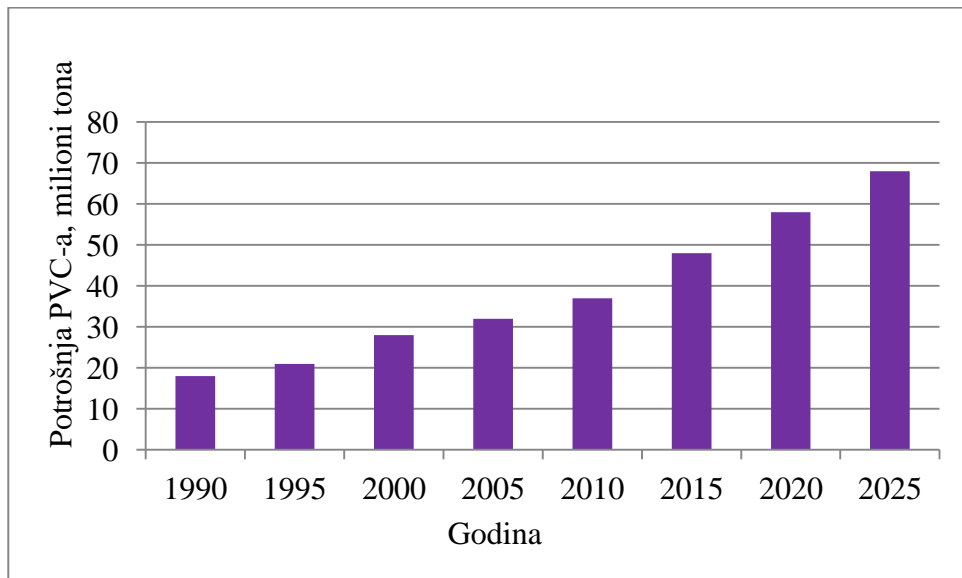


Slika 14. Šematski prikaz međumolekulskih veza kod PVC: a) Van der Valsove veze između dva lanca PVC-a; b) Kidanje Van der Valsovih veza između dva lanca PVC-a pod dejstvom sile istezanja [49]



U plastičnoj masi koju čini polimer sa puniocem lom može da započne u samoj matrici, na međupovršini polimer/punilac ili unutar aglomerata formiranih u puniocu [66]. Prema literaturnim podacima zatežno naprezanje polimerne mešavine zavisi od njene mikrostrukture, uključujući međupovršinsku strukturu na granici polimer/punilac, pošto se optrećenje prenosi sa jedne faze na drugu. Takođe, osobine polimerne mešavine pri naprezanju su određene oblikom i veličinom čestica punioca, kao i njihovim prostornim rasporedom u matrici, tj. polimeru [66-68].

Koliko je PVC, kao materijal, značajan pokazuju i podaci dugoročnije prognoze i trenda konstantnog porasta njegove potrošnje na svetkom nivou. Rezultati koje je objavio „Designed & Conceptualized by Plastemart“, a tiču se potrošnje PVC do 2025. godine prikazani su na slici 15.

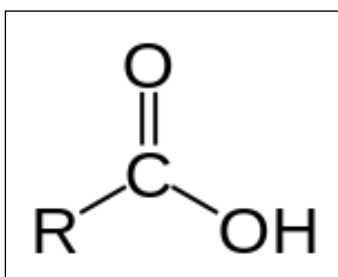


Slika 15. Rast potrošnje PVC u periodu od 1990.-2025. godine [69]

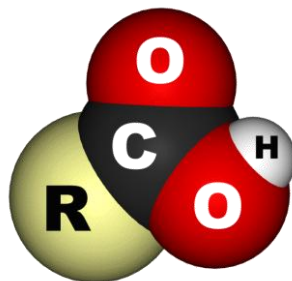
Prikazani podaci ukazuju na konstantan porast potrošnje PVC. Zato je opravdano i istraživanje na temu kako poboljšati njegov kvalitet dodavanjem različitih aditiva, odnosno punioca, u koje spada i krečnjak. Kako je već naglašeno osobine krečnjaka se mogu znatno poboljšati njegovim modifikovanjem najčešće korišćenjem masnih kiselina, kao što je stearinska kiselina, i njihovih soli. Zato su u daljem tekstu monografije opisane osnovne osobine ovih hemijskih jedinjenja.

### 7.1.1. Struktura i podela masnih kiselina

Karboksilne kiseline su organska jedinjenja koja sadrže ugljovodonični lanac (R) i jednu ili više karboksilnih grupa (-COOH) u molekulu. Karboksilne kiseline sa jednom karboksilnom grupom nazivaju se monokarboksilne i opšte su formule R-COOH. Strukturna formula i prostorni raspored molekula monokarboksilne kiseline prikazani su na slici 16 [70-72].



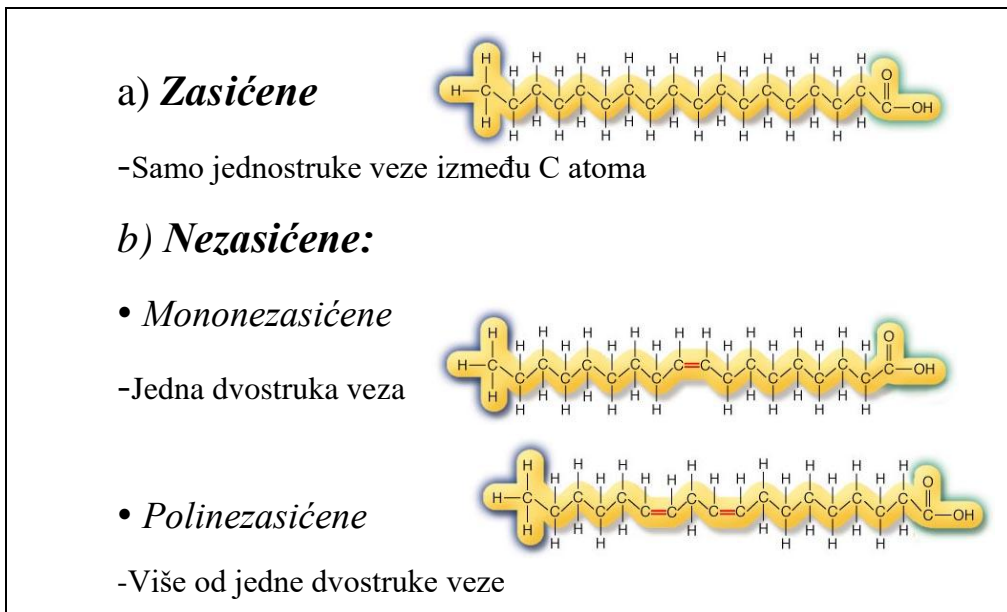
a)



b)

Slika 16. Monokarboksilna kiselina: a) Strukturna formula; b) Prostorni raspored; (R-ugljovodonični lanac, -COOH-karboksilna grupa: C-ugljenik, O-kiseonik, H-vodonik)

Masne kiseline su monokarboksilne kiseline sa alifatičnim ugljovodoničnim lancima. Opšta podela masnih kiselina data je na slici 17 [70,73].



Slika 17. Masne kiseline i izgled njihovih molekula

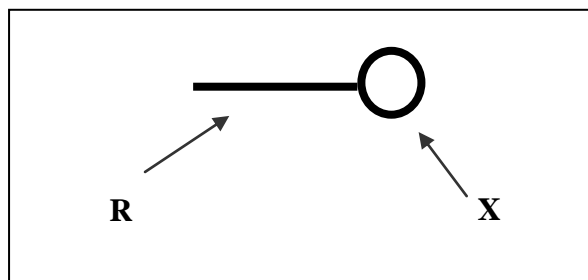
Karboksilne kiseline u nepolarnim, organskim, rastvaračima su dimeri koji nastaju reakcijom između dva monomera vezanih jakim ili slabom vezom. Ove kiseline su rastvorljive u vodi ako u ugljovodoničnom lancu sadrže 1-5 ugljenikovih atoma. Sa porastom broja C atoma njihova rastvorljivost opada u polarnim rastvaračima usled hidrofobnog efekta ugljovodoničnog lanca, a povećava se u manje polarnim rastvaračima, kao

što su npr. etri i alkoholi. Masne kiseline su slabe kiseline, koje se u vodi ili ne rastvaraju ili delimično rastvaraju, pri čemu disosuju na jon vodonika ( $H^+$ ) i karboksilatni anjon ( $RCOO^-$ ), što je prikazano sledećom reakcijom:



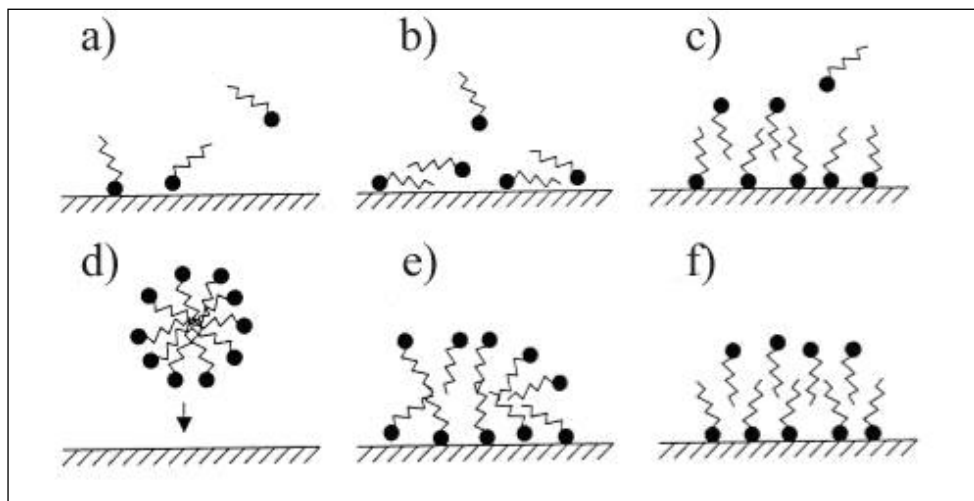
### 7.1.2. Osnovne karakteristike površinski aktivnih materija

Površinski aktivne materije (PAM), u koje spada i stearinska kiselina, su amfipatička jedinjenja, jer sadrže polarni i nepolarni deo i mogu se prikazati opštom formulom  $RX$ . Nepolarni deo se dobro rastvara u nepolarnim rastvaračima, dok polarni deo pokazuje veliki afinitet prema polarnim rastvaračima. Nepolarni (hidrofobni) deo molekula ( $R$ ) je najčešće ugljovodonični lanac sa brojem ugljenikovih atoma  $\geq 8$ . Lanac može da sadrži jednostruke ili dvostruke veze, da bude linearan ili razgranat, kao i da sadrži aromatične funkcionalne grupe. Polarni (hidrofilni) deo molekula je grupa ( $X$ ) koja može po svojoj prirodi da bude nejonska i jonska [74, 75]. Izgled molekula površinski aktivne supstance prikazan je na slici 18.



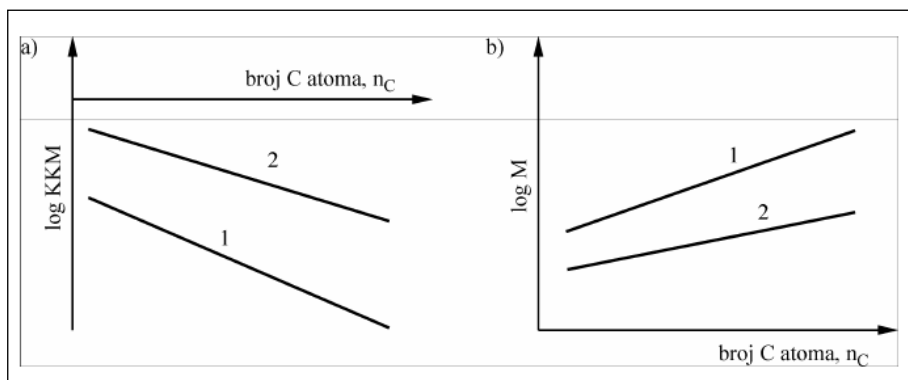
Slika 18. Šematski prikaz molekula površinski aktivne materije, polarna „glava“ ( $X$ ) i nepolarni rep ( $R$ ) [74]

Adsorpcija površinski aktivnih materija na površini minerala zavisi od koncentracije površinski aktivne materije u rastvoru ( $C$ ). Pri nižim koncentracijama površinski aktivna materija je u rastvoru u obliku monomera. Koncentracija pri kojoj dolazi do prelaska monomera u tzv. micela je kritična koncentracija obrazovanja micela ili kritična koncentracija micelizacije (KKM). Broj monomera u micelama naziva se agregacioni broj [74, 75]. Ispod kritične koncentracije obrazovanja micela adsorbuju se monomeri koji formiraju konfiguraciju monosloja ili dvosloja, u zavisnosti od raspoložive količine površinski aktivne materije kao što je prikazano na slici 19 [76].



Slika 19. Šematski prikaz adsorpcije površinski aktivne materije na površini minerala u formi monomera ( $C < KKM$ ) i micela ( $C > KKM$ ): a) i b) Rasporad monomera nakon adsorpcije; c) Formiranje dvosloja nakon adsorpcije monomera; d) Adsorpcija micela iz rastvora; e) Formiranje admicela; f) Formiranje ujednačenog dvosloja [76]

Na kritičnu koncentraciju obrazovanja micela i veličinu obrazovanih micela, pored koncentracije, utiču dužina ugljovodoničnog lanca, priroda i položaj polarnih grupa, odnos nepolarnog prema polarnom delu molekula, temperatura, kao i prisustvo drugih jona i molekula u rastvoru [74, 75]. Sa porastom ugljovodoničnog lanca, tj. sa porastom broja  $-CH_2$  grupa u njemu opada KKM, jer pri nižoj koncentraciji dolazi do stvaranja micela u rastvoru. Takođe, nejonske površinski aktivne materije imaju uvek manju KKM od jonskih, pri istoj dužini ugljovodoničnog lanca. Naime, zbog prisustva naelektrisanja na monomeru jonskih površinski aktivnih materija javlja se elektrostatičko odbijanje koje se suprotstavlja asocijaciji i obrazovanju micela. Na slici 20 prikazan je uticaj dužine ugljovodoničnog lanca na a) KKM i b) masu stvorenih micela za jonske i nejonske površinski aktivne materije.



Slika 20. Uticaj dužine ugljovodoničnog lanca na a) KKM i b) Masu obrazovane micela:

1) nejonska PAM, 2) jonska PAM [75]

Površinski aktivne materije (PAM) sa dužim ugljovodoničnim lancem za istu polarnu grupu, grade micela sa većim agregacionim brojem i

većom masom. Jonske PAM grade manje micelle od nejonskih zbog postojećeg elektrostatičkog odbijanja između jonskih (polarnih) grupa kod ovih jedinjenja, koje se suprotstavlja formiranju micela. Ako su u rastvoru prisutne dve ili više PAM, dolazi do formiranja mešanih micela. Mešane micelle formirane od jonske i nejonske PAM najčešće su veće po dimenzijama u odnosu na micelle koje grade pojedinačno data jonska odnosno nejonska površinski aktivna materija. Prisustvo nejonske PAM smanjuje efekte odbijanja istoimenih naelektrisanja, što omogućava gušće pakovanje molekula u miceli i stvaranje velikih micela [74, 75]. Mehanizam adsorpcije PAM na granici čvrsto-rastvor je složeniji u odnosu adsorpciju čvrsto-gas i rastvor-gas zbog mogućih uzajamnih delovanja molekula rastvarača i molekula ili jona rastvorene supstance. Takođe, složeniji je i zbog mogućnosti da se na površini adsorbenta adsorbuju kako rastvorena supstanca, tako i molekuli rastvarača. U većini procesa u kojima je adsorpcija iz rastvora na čvrstom adsorbentu od značaja, veoma je važno da se spreči adsorpcija rastvarača (najčešće vode) kako bi se omogućila nesmetana adsorpcija rastvorene supstance [75, 77, 78].

Uticao hemijske prirode adsorbata na njegovu sposobnost da se adsorbuje na čvrstoj površini teško je uopštiti pošto on istovremeno zavisi i od polarnosti adsorbenta i rastvarača. Prema pravilu Rebintera (Rehbinder) materija C će se adsorbovati na granici deobe faza A i B onda kada svojom adsorpcijom dovodi do smanjenja razlike polarnosti ovih faza. Heteropolarni molekul površinski aktivne supstance treba da se orijentiše na granici deobe dve faze tako da mu polarni deo molekula bude okrenut ka polarnoj, a nepolarni deo molekula ka nepolarnoj fazi [79].

Adsorpcija PAM ima široku primenu, kako u naučno-istraživačkom radu, tako i u industrijskim uslovima. Primer procesa adsorpcije u industrijskim uslovima je modifikovanje površine minerala kalcita površinski aktivnim materijama pri čemu se poboljšava kvalitet krečnjaka, koji se koristi kao punilac u industriji za preradu PVC-a. Modifikovanje površine minerala kalcita je bio predmet ispitivanja velikog broja naučnika u svetu sa ciljem definisanja mehanizma vezivanja površinski aktivne materije za površinu. U nekim od publikovanih rezultata adsorpcija je prikazana kao dominantan proces pri modifikovanju [55, 59, 80, 81].

Razvojem savremenih tehnologija sve je veća potreba za mineralnim puniocima kod kojih se veličina čestica meri u mikronima. Da bi se ostvarila takva krupnoća neophodna je savremena oprema i uređaji u postupcima pripreme mineralnih sirovina. U prvom redu su to mlinovi koji moraju da budu tako konstruisani da obezbeđuju fino i ultrafino mlevenje. U nanotehnologijama se koriste punioci koji imaju dimenzije nanočestica. Zato ispitivanja u ovoj oblasti idu u pravcu dobijanja precipitiranog kalcijum karbonata i iznalaženju mogućnosti njegovog modifikovanja. Publikovani rezultati iz ove oblasti ukazuju da se masnim kiselinama ili njihovim solima i kod precipitiranog kalcijum karbonata ostvaruje veliki stepen pokrivenosti površine nanočestica, čime se postiže njihova hidrofobnost [79-81].

Sva ova ispitivanja generalno ukazuju na to da je moguće izmeniti površinu kalcita i postići njenu inertnost u odnosu na spoljašnje agense. Cilj je dobijanje punioca koji se dobro disperguje u određenom polimernom matriksu, poboljšavajući neke od njegovih osobina. Tako, polivinil-hlorid koji u svom sastavu ima krečnjak, kod kog je kalcit modifikovan



stearinskom kiselinom, ima bolja mehanička svojstva u odnosu na polivinilhlorid koji sadrži čist krečnjak kao punilac. Mehaničke osobine PVC koje su poboljšane upotrebom krečnjaka kod kog je modifikovan kalcit su: zatezna čvrstoća, zatezno izduženje, prekidna čvrstoća i prekidno izduženje [42-44, 48, 49].

Ispitivanje mehaničkih osobina PVC mešavina je od velikog značaja, jer od njih zavisi kvalitet definitivnog proizvoda [82]. S obzirom da je kalcit glavni i najzastupljeniji mineral u krečnjaku, modifikovanje površine minerala kalcita stearinskom kiselinom, u direktnoj je vezi sa kvalitetom krečnjaka koji se koristi kao punilac.

## **7.2. Primena krečnjaka u cilju smanjenja emisije ugljen dioksida**

Sa konstantnim porastom industrijskog i tehnološkog razvoja u svim delovima sveta došlo je do drastičnog povećanja emisije štetnih gasova u atmosferu. Ovakav vid zagađenja je uticao na pojavu globalnog zagrevanja i velikih klimatskih promena. Globalno zagrevanje se može definisati kao pojava stalnog rasta srednje temperature planete Zemlje [83]. Sa globalnim zagrevanjem Zemljine površine usko je povezan tzv. efekat staklene bašte. Naime, deo toplotnog zračenja se sa površine Zemlje odbija u atmosferu gde se apsorbuje od strane pojedinih gasova koji se kao zagađujuće materije nalaze u atmosferi, u prvom redu ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>). Odatle se deo toplote ponovo vraća na Zemlju pri čemu je dodatno zagreva. Ovakvi efekti se postižu u staklenicima, pa otuda i naziv efekat staklene bašte.

Uzrok pojave efekta staklene bašte je poremećaj ravnoteže između količine zračenja koje Zemljina površina primi od Sunca i dela koji emituje

u svemir. Ovaj efekat je nastao kao rezultat povećanja količine zračenja koje ne može da bude emitovano u svemir sa površine Zemlje, već se zadržava u atmosferi i zagreva je [83]. To je dovelo do povećanja prosečne temperature na površini Zemlje za  $0,17^{\circ}\text{C}$  na svakih deset godina. Ovo povećanje prevazilazi kritičan porast od  $0,1^{\circ}\text{C}$  na koji ekosistemi mogu da se adaptiraju. Posledice globalnog zagrevanja su povećanje temperature na Zemlji, nastajanje novih bolesti, topljenje glečera što dovodi do porasta nivoa mora i okeana, povećanog isparavanja i povećane oblačnost [84].

Zbog ekstremnog povećanja temperature i velikih klimatskih promena živi svet na Zemlji je sve više ugrožen i pojedine biljne i životinjske vrste polako nestaju. Opstanak ljudi na Zemlji takođe može jednog dana biti ugrožen ako se ne preduzmu određene mere u cilju smanjenja globalnog zagrevanja. Efekat staklene bašte šematski je prikazan na slici 21.



## Slika 21. Efekat staklene bašte [85]

Gasovi koji izazivaju efekat staklene bašte su ugljen dioksid, vodena para, metan, azot suboksid i hlorofluorkarbonati [86]. Međutim, kada se analizira njihov pojedinačni uticaj ugljen dioksid je ubedljivo na prvom mestu. Naime, emisija ovog gasa predstavlja čak tri četvrtine od ukupne emisije svih gasova koji su nastali pod uticajem ljudskih aktivnosti. Najveći izvor emisije ovog gasa su procesi sagorevanja fosilnih goriva kao i pojedini industrijski procesi. Zbog sve veće upotrebe fosilnih goriva i sve većeg industrijskog razvoja, posebno krajem prošlog veka, koncentracija CO<sub>2</sub> je naglo počela da raste. Trend rasta koncentracije CO<sub>2</sub> je prisutan u velikoj meri i danas, zbog sve većeg broja izvora ovog gasa.

### **7.2.1. Krečnjak kao dodatak konvencionalnom portland cementu**

Jedan od industrijskih procesa tokom kojeg se stvaraju velike količine CO<sub>2</sub> je postupak dobijanja cementa. Zbog toga se u svetu sve više koriste materijali koji mogu da zamene cement (supplementary cementitious materials-SCM), kao i mešavine cementa u građevinarstvu. Njihovom upotrebom se dobija veoma kvalitetni beton, a istovremeno se smanjuje potrošnja energije i emisije gasova sa efektom staklene bašte. Istraživanja su pokazala da kada se jedna tona klinkera (proizvod procesa pečenja cementa prilikom pravljanja portland cementa) zameni SCM, smanjuje se emisiju CO<sub>2</sub> za oko 0,8 t. Upotrebom SCM kao zamene za klinker, smanjene su količine sirovina koje su potrebne da bi se dobio cement, ali i goriva koje je potrebno da se proizvede klinker. Testiranje SCM i agregata uključuje:

ASTM C 1157-standard za hidraulične cemente; ASTM C 33-standard za agregat i ASTM C 330-standard za lake aggregate, (ASTM-American Society for Testing and Materials) [87-89]. Tehničke prednosti primene SCM u betonu su jako velike kao i njihov uticaj na stvaranje još boljih rešenja koja doprinose zelenoj gradnji. U većini slučajeva, mešani cementi mogu biti zamenjeni, i to u odnosu 1:1, sa klasičnim portland cementom.

Brojne organizacije, uključujući i Američki institut za beton (ACI) i Asocijaciju za cementnu šljaku (SCA), nude detaljna uputstva i preporuke građevinskim firmama koje prave beton i koriste ga tokom gradnje. Takođe, Pokreti za zaštitu životne sredine, kao i sam LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) program sertifikacije, nastaviće da pružaju veliki podsticaj za razvoj i stvaranje još boljih, inovativnijih i održivih rešenja u građevinarstvu [90-92].

Jedan od načina da se smanji emisija gasova sa efektom staklene bašte po proizvedenoj toni cementa je upotreba krečnjaka. Naime, mešanjem portland cementnog klinkera i krečnjaka (preko 5 %) dobija se portland krečni cement koji je u startu imao dobaru poziciju na svetskom tržištu. U Kanadi je od 1983. godine dozvoljeno da u sastavu portland cementa može da bude do 5% krečnjaka. Međunarodna organizacija za standardizaciju ASTM International (American Society for Testing and Materials) je dozvolila isti sadržaj krečnjaka u portland cementu 2004. godine, a podržao je i AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 2007. godine. Ove promene su imale za posledicu smanjenje emisije CO<sub>2</sub> iznad 2,5 miliona tona godišnje. Kao odgovor na preporuke da se smanji količina klinkera u cementu, Kanadska

asocijacija za standarde (CSA), predstavila je novu klasifikaciju cementa 2008. godine u kojoj portland cement može imati do 15 % krečnjaka.

Na osnovu mnogih istraživanja i validnih testova zaključeno je da se upotrebom krečnog portland cementa koji sadrži do 15% krečnjaka može dobiti beton istog kvaliteta kao kada se koristi čist portland cement. Ovo podrazumeva istu čvrstoću, trajnost i druge karakteristike. Povećanje količine krečnjaka do 15 % obično može da smanji sadržaj klinkera za dodatnih 10 %. Kada se doda 40 do 50 % SCM-efektivno smanjenje sadržaja klinkera u betonu prelazi i 50%.

Pronalaženje novih načina za daljim smanjenjem potrošnje energije i emisiji CO<sub>2</sub> je najvažniji prioritet proizvođača cementa. Tako neprekidno nastaju nova rešenja koja smanjuju količinu klinkera, dok se u isto vreme povećava upotreba alternativnih materijala. Sa cementima nove generacije, potrošači mogu da koriste iste količine SCM u mešavinama koje prave, ali mogu da dodaju i do 15 % kreča u čist portland cement. Sve je ovo sa istim ciljem, a to je da se smanji emisija ugljen dioksida u građevinskom sektoru [92-94].

Da bi se krečnjak koristio u cementnoj industriji ne sme da sadrži više od 4 % MgO, jer bi se u protivnom stvorio periklas (mineral magnezijuma koji je po hemijskom sastavu MgO). Takođe, ograničen je sadržaj fluora do 0,1 %, jer on svojim prisustvom produžava vreme očvršćavanja. Sadržaj fosfora, olova i cinka se ograničava na max 0,5 %, sadržaj alkalija se mora svesti na minimum, jer u protivnom mogu da dovedu do stvaranja alkalnih sulfata tokom procesa dobijanja cementa [14].

### **7.2.2. STEP postupak dobijanja kreča iz krečnjaka bez emisije ugljen dioksida**

U svetu se kao građevinski materijal najviše koristi beton za čije dobijanje su neophodne velike količine cementa. Proizvodnja cementa, koji čini 15 % betonske mešavine, odgovorana je za 5-6 % celokupnog ugljen dioksida koji se emituje u atmosferu kao posledica ljudskih aktivnosti. U prilog tome ide podatak da se na svakih 10 kg proizvedenog cementa u atmosferu emituje 9 kg CO<sub>2</sub>. Najveći deo emisije CO<sub>2</sub> nastaje tokom karbonizacije krečnjaka u kreč (CaO), opisanog jednačinom 2, a ostatak (30 do 40 %) sagorevanjem fosilnih goriva, kao što je ugalj, za zagrevanje reaktorske peći na ~ 900 °C, jednačina 3 [95].

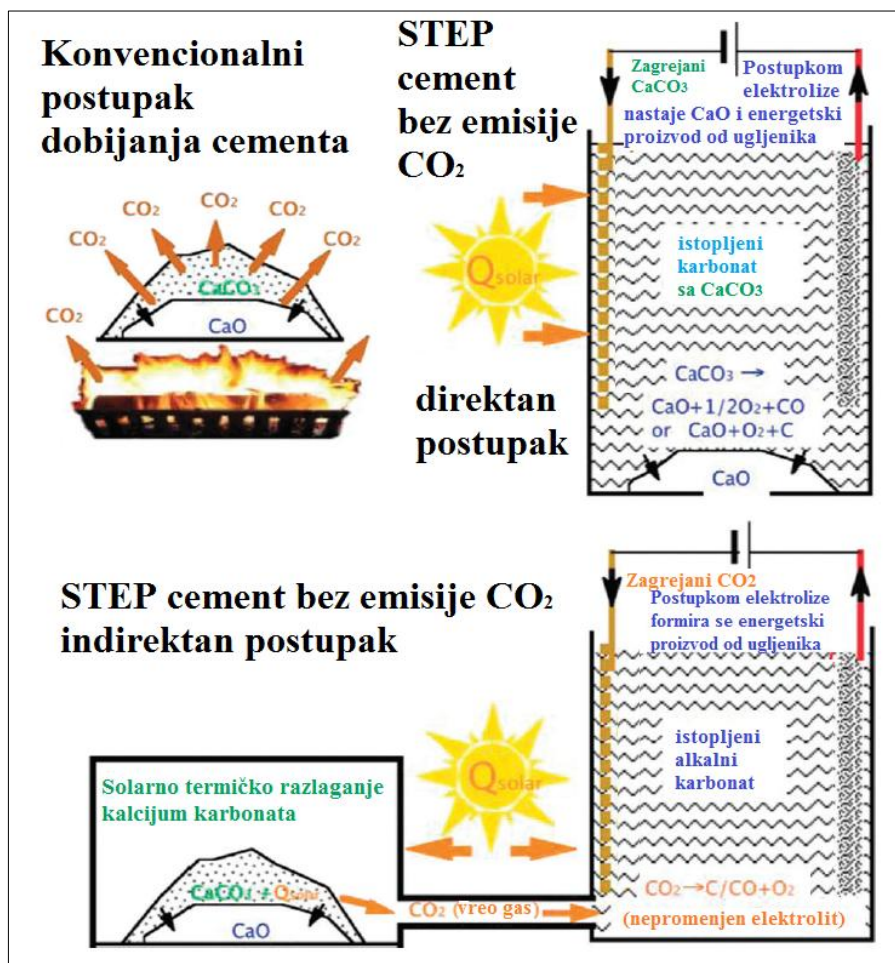


Rezultati velikog broja istraživanja u svetu korišćena za rešavanje ovog problema i iznalaženja mogućnosti da se komponente betona dobijaju na neki drugi način. Naime, koncipirana su rešenja za dobijanje tzv. zelenog betona. Prilikom formiranja CaO, solarni termički reaktori proučavani su kao zamena za fosilna goriva. Međutim, najveći deo emisije CO<sub>2</sub> se i dalje dešava klasičnom dekarbonacijom krečnjaka u kreč [95].

Istraživači sa Univerziteta Džordž Vašington (*The George Washington University*) predvođeni doktorom Stjuartom Lihtom (*Stuart Licht*) su razvili STEP proces (*Solar Thermal Electrochemical Production*) kao novi način dobijanja kreča (CaO) koji ide u cement, ali bez emisije CO<sub>2</sub>,

objavio je časopis "Green Car Congress" koji se bavi „zelenim“ transportom i „čistom“ energijom. Nova termohemija zasnovana je na anomalijama u rastvorljivosti oksida da bi nastao kreč bez emisije CO<sub>2</sub> u visoko propusnoj, ekonomičnoj sredini pogodnoj za stvaranje cementa. Naime, rastvorljivost CaCO<sub>3</sub> u vodi ( $6 \times 10^{-5}$  mol/kg rastvora) je za 3 reda veličine manja od rastvorljivosti kalcijum oksida ( $2 \times 10^{-2}$  mol/kg), čijim rastvaranjem nastaje kalcijum hidroksid. Iznenadjuće, ova situacija je obrnuta na visokim temperaturama u rastopljenim karbonatima, što omogućava endotermnu, elektrolitičku sintezu i taloženje CaO. Zahvaljujući novom solarnom procesu, elektrolizom rastopljenih karbonata nastaju oksidi koji se talože kao kalcijum oksid kada su pomešani sa kalcijum karbonatom. Tako se ne stvara CO<sub>2</sub>. Kod STEP cementa, krečnjak je podvrgnut elektrolizi kojom nastaje kreč, kiseonik i redukovani karbonat bez emisije CO<sub>2</sub>.

Alternativne konfiguracije STEP postupka šematski su prikazane na slici 22 [95].



Slika 22. STEP postupak proizvodnje kreča iz krečnjaka bez emisije  $\text{CO}_2$

U poređenju sa termohemijskim postupkom dobijanja konvencionalnog cementa, u STEP konfiguraciji direktne elektrolize, solarno termički rastopljeni karbonati se podvrgavaju elektrolizi formirajući okside koji se u prisustvu krečnjaka talože kao kreč:





Doprinos novog solarnog procesa je u tome što elektroliza rastopljenog karbonata formira okside, koji postaju kalcijum oksid kada se pomešaju sa kalcijum karbonatom. Tako se izbegava nastajanje ugljen dioksida i elimineše činjenica da pri dobijanju cementa nastaju gasovi koji izazivaju efekat staklene bašte [95-97].

### **7.3. Primena krečnjaka za odsumporavanje dimnih gasova nastalih sagorevanjem uglja**

Istraživanja su pokazala da je sagorevanje uglja daleko najveći izvor emisije sumpor dioksida. Kako bi se sprečilo zagađenje vazduha, vode i zemljišta oksidima sumpora koji potiču iz dimnih gasova nastalih sagorevanjem uglja u termoelektranama primenjuje se nekoliko postupaka, a to su:

1. Odsumporavanje dimnih gasova (ODG);
2. Prečišćavanje uglja pre procesa sagorevanja (pranje uglja);
3. Gasifikacija uglja i
4. Sagorevanje uglja u fluidizovanom sloju.

Postupci odsumporavanja dimnih gasova su našli veliku primenu, posebno krečno-mokri postupci prečišćavanja dimnih gasova po tehnologiji vlažnog krečnjaka [98]. Studije su pokazale da je to najisplativiji postupak za našu zemlju, jer ima dosta krečnjačkog kamena. Tehnologija vlažnog krečnjaka, takozvani **gips postupak**, koristi se u 55 % postrojenja sa sistemom za odsumporavanje u svetu [99].

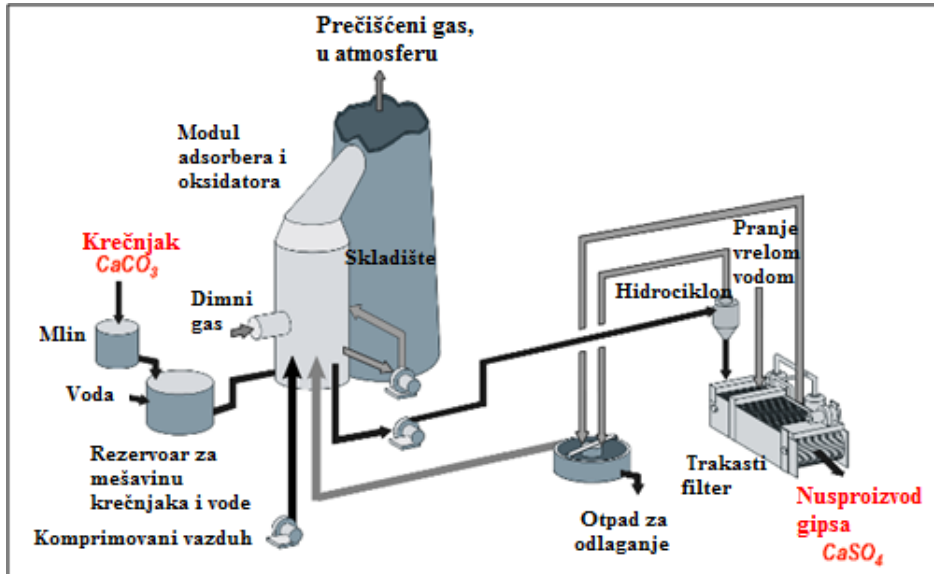
Krečnjak za odsumporavanje se dobija eksploatacijom i preradom rovnog krečnjaka odgovarajućim postupcima pripreme. Na taj način se dobija krečnjak zahtevanog kvaliteta, a to je 85-95 %  $\text{CaCO}_3$ , manje od 5 %  $\text{MgO}$  i usitnjenost do 84 % klase -0,045 mm. Zatim se krečnjak transportuje do skladišta koje se nalazi neposredno uz postrojenje za odsumporavanje [14, 100].

Postupkom odsumporavanja koji je baziran na primeni vlažnog krečnjačkog postupka nastaje kao nusprodukt suspenzija gipsa. Međutim, to je potencijalna sirovina za dobijanje gipsa. Kvalitet gipsa koji se dobija na taj način zavisi od više faktora, a prvenstveno od kvaliteta ulaznih sirovina, a to su krečnjak i voda. Takođe, da bi se obezbedio dobar kvalitet gipsa, neophodno je voditi računa i o elektrofilteru kako bi se smanjila koncentracija suspendovanih čestica u dimnim gasovima.

Odsumporavanje dimnih gasova krečno-mokrim postupkom je najpoznatija među do sada poznatim visoko efikasnim metodama uklanjanja  $\text{SO}_2$  iz dimnih gasova. Efikasnost odsumporavanja ovom metodom dostiže 90-95 %. Postupak se zasniva na ispiranju dimnih gasova vodenom suspenzijom krečnjaka ili kreča u adsorpcionom reaktoru, čime se dobija sulfit kreča  $\text{CaSO}_3$ . Dodatno zasićenje kiseonikom omogućava konverziju  $\text{CaSO}_3$  u  $\text{CaSO}_4$ , koji po izdvajanju iz rastvora ide dalje na obradu (ispiranje i sušenje) kojom se konačno dobija gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Prah krečnjaka ili negašenog kreča, nakon pripreme u obliku vodene suspenzije, ubacuje se pomoću pumpi u adsorber. Specijalan sistem cirkulacionih pumpi, cevovoda i sistema mlaznica garantuje intenzivno ispiranje dimnih gasova u adsorpcionom tornju. Efikasnost procesa u velikom stepenu zavisi od intenziteta ispiranja dimnih gasova.

Odsumporavanjem dimnih gasova krečno-mokrim postupkom dodatno se uklanjaju jedinjenja HCl i HF, kao i pepeo iz dimnih gasova. U sastav otpada nastalog u procesu sušenja gipsa ulaze jedinjenja hlora i fluora. Ovaj otpad dalje odlazi na hemijsku obradu u cilju izdvajanja teških metala. Kao posledica ispiranja, dimni gasovi su rashlađeni do temperature od oko 50 °C, zbog čega je neophodno njihovo ponovno zagrevanje pre odvođenja u dimnjak. Zagrevanje se vrši u specijalnim grajačima kao što je, na primer, regenerativni grejač dimnih gasova „Gavo“. Međutim, rashlađene dimne gasove moguće je uvesti u dimnjak i bez zagrevanja. Tako postavljen sistem omogućava smanjenje investicionih troškova, a zbog smanjenja otpora strujanju dimnih gasova, smanjuju se i eksploatacioni troškovi usled smanjenja potrošnje energije za pogon ventilatora. Takođe, postoji sistem odvođenja dimnih gasova pomoću „mokrog dimnjaka“ ugrađenog na adsorberu. Zbog mogućnosti uvođenja svih navedenih varijanti, neophodno je, kada se vrši analiza rada postrojenja za obradu dimnih gasova, da se uvek uzimaju u obzir lokalni uslovi rada za dati objekat, odnosno postrojenje.

Postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova, koja rade po krečno-mokrom postupku imaju veliku primenu u elektranama Nemačke, Japana i SAD. Razlog za to je visoka efikasnost i relativno niska potrošnja sorbenta tokom navedenog postupka, kao i mogućnost iskorišćavanja otpadnog produkta, odnosno gipsa. Trenutno više od 90 % postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova u svetu radi na ovom principu [100-102]. Šematski prikaz krečno-mokrog postupka za ODG-gips postupkom, prikazan je na slici 23.



Slika 23. Krečno-mokri postupak za ODG-gips postupak [103]

U okviru Nacionalnog programa zaštite životne sredine Republike Srbije, koji je donet 2010. godine, u skladu sa Zakonom o zaštiti životne sredine, planirane su mere za održivi razvoj i upravljanje životnom sredinom u Republici Srbiji za narednih 10 godina. Jedan od prioriternih ciljeva zaštite životne sredine u sektoru energetike je smanjenje emisije sumpornih oksida iz velikih postrojenja kao što je: Termoelektrana “Kostolac B”, Termoelektrane “Nikola Tesla A i B” i novi termo kapacitet na kolubarski lignit približne snage 700 MW [101]. Imajući u vidu činjenicu da se u Srbiji nalazi velika broj ležišta krečnjaka opravdana je upotreba krečno-mokrog postupka za odsumporavanje dimnih gasova u navedenim termoelektranama [105].

#### 7.4. Primena krečnjaka za proizvodnju kreča

Kreč je naziv za vezivo dobijeno pečenjem karbonatnih stena. Proizvod koji se dobija kalcinacijom krečnjaka ili dolomita je živi kreč koji se još naziva i pečeni, negašeni ili komadni kreč, a sastoji se od oksida kalcijuma, odnosno kalcijuma i magnezijuma. Uopšteno, kalcinacija je zagrevanje ili žarenje materije na visokoj temperaturi pri čemu dolazi do eliminacije CO<sub>2</sub> i/ili H<sub>2</sub>O, a ako se radi o kristalnim solima, eliminiše se kristalna voda. U slučaju krečnjaka, kalcinacija je razlaganje na CaO (kreč) i CO<sub>2</sub>. U zavisnosti od sadržaja oksida kalcijuma i magnezijuma razlikuju se sledeće vrste kreča [106]:

1. Visoko kalcijumski kreč sa više od 90 % CaO;
2. Kalcijumski kreč sa 85 % - 90 % CaO;
3. Magnezijumski kreč sa 10 % - 25 % MgO i
4. Visoko magnezijumski kreč sa više od 25 % MgO do maksimalno 45 % MgO pod uslovom da je žaren čist dolomit.

Da bi se kalcijum karbonatna sirovina koristila za proizvodnju kreča neophodno je da ispuni sledeće zahteve koji se odnose na kvaliteta:

1. Minimalan ukupan sadržaj kalcijum karbonata, CaCO<sub>3</sub>, i magnezijum karbonata, MgCO<sub>3</sub>, od 95 %;
2. Maksimalan sadržaj hemijskih nečistoća tipa SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, alkalija i drugo, od 5 %;
3. Ako je prisutna glinovita komponenta kamen pre pečenja mora da bude podvrgnut pranju,
4. Granulometrijski sastav, čvrstoća i tvrdina kamena za pečenje moraju biti prilagođeni tipu peći gde se postupak pečenja odvija.

Posebno treba obratiti pažnju na sledeće fizičke osobine krečnjačkog kamena koje su od značaja za dobijanje kvalitetnog kreča:

1. Prskanje (dekrepitacija) kamena pri njegovom termičkom tretiranju u peći treba da bude što manje izražena;
2. Kamen mora da ima što veću otpornost na habanje;
3. Sadržaj vlage u uzorku za pečenje treba da bude što niži, jer visok sadržaj vlage dovodi do povećanog utroška toplotne energije i
4. Promena poroznosti kamena treba da bude što sporija pri procesu pečenja, jer je ona osnovni uzrok neželjenog prskanja kamena u sitne fragmente.

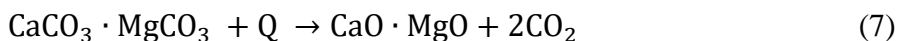
Pri termičkom tretiranju karbonatnih stena krečnjaka ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) i magnezita ( $\text{MgCO}_3$ ), na temperaturi kalcinacije (dekarbonizacije, termalnog razlaganja) dolazi do njihovog razlaganja na osnovni oksid uz oslobađanje  $\text{CO}_2$ . Reakcije kalcinacije se odvijaju na temperaturi razlaganja ili iznad te temperature.

Kalcinacija / razlaganje krečnjaka prikazuje se sledećom hemijskom jednačinom:



Temperatura razlaganja kalcita iznosi  $898^\circ\text{C}$ , ali se u industrijskim pećima kreč peče na temperaturi  $1000^\circ\text{C}$  do  $1200^\circ\text{C}$ .

Kalcinacija / razlaganje dolomita prikazuje se sledećom hemijskom jednačinom:



Proces dekarbonizacije dolomita je složena i odvija se u dva stupnja:



Za temperaturu razlaganja dolomita uzima se  $725^\circ\text{C}$ .

Kalcinacija / razlaganje magnezita prikazuje se sledećom hemijskom jednačinom:

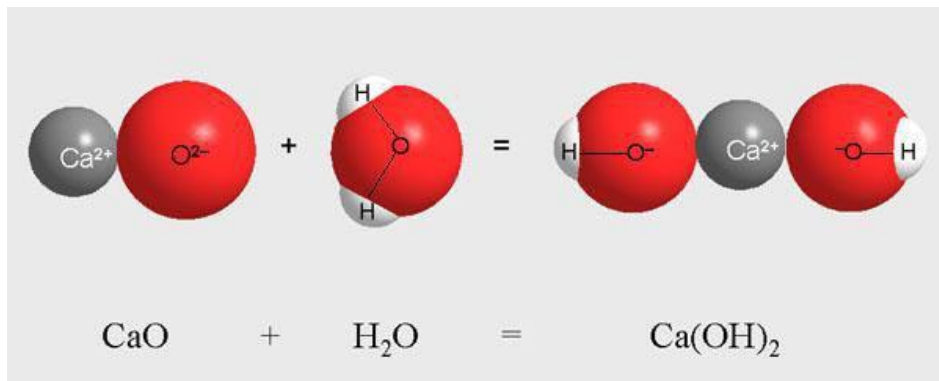


Generalno je prihvaćeno da se razlaganje magnezita odvija u temperaturnom intervalu od 400°C do 480°C.

Posebno treba naglasiti da osnovnu sirovinu za dobijanje tzv. hidrauličnog kreča postupkom pečenja predstavljaju laporoviti krečnjaci sa sadržajem  $\text{CaCO}_3$  od 70 % do 75 %. Dehidracija komponenti gline koje čine uglavnom gline ilitskog tipa, a ređe kaolinitiskog ili montmorilonitskog tipa, završava se u temperaturnom intervalu od 500 °C do 700 °C. Intenzivno razlaganje kalcijum karbonata započinje posle dehidracije komponenti gline na temperaturi od 900 °C, a završava se na 1200 °C kada dolazi do potpunog zasićenja kreča, CaO, sa raspoloživim kiselim oksidima tipa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . U hidrauličnom kreču kalcijum oksid je dominirajući vezivni element, dok hidraulični sastojci predstavljaju elemente koji mu daju karakter hidrauličnog veziva [106].

Kreč koji se dobija direktno iz peći za pečenje naziva se negašeni (živi) kreč, veoma je hidrofilan, pa ga treba čuvati što dalje od vlage ili ga što pre podvrgnuti procesu gašenja. Ovaj kreč treba da sadrži što manje nepečenih delova, jer u protivnom gubi na kvalitetu.

Reakcija dobijanja gašenog (hidratisanog) kreča prikazana je jednačinom na slici 24.



Slika 24. Reakcija dobijanja gašenog kreča [107]

Nakon gašenja živog kreča dobija se krečno testo (kaša, mleko) koje služi za pravljenje maltera, za krečenje, zatim kao dodatak vodenim bojama i za druge namene. Živi i hidratirani kreč su proizvodi čija upotreba po količini i značaju prevazilazi mnoge industrijske proizvode uključujući i neke građevinske materijale. Danas se kreč najviše koristi u sledećim oblastima [106]:

#### 1. Građevinarstvo

- Kao sirovinska komponenta za izradu krečnih, produžnih i gipsano-krečnih maltera;
- Kao vezivo koje se dodaje u glinovito tlo gde stupa u reakciju sa alumo-silikatnim komponentama iz gline, višestruko povećavajući čvrstoću tla pri čemu krečom stabilizovani slojevi gline predstavljaju branu koja sprečava kretanje površinskih odnosno kapilarnih voda;
- Kao komponenta veziva, odnosno hidrauličnog kreča dobijenog mešanjem hidratiranog kreča i pucolanskih dodataka prirodnog ili veštačkog porekla (elektrofilterski pepeo, troska iz termoelektrana);



● U obliku krečne suspenzije, koja se ubacuje u donji sloj postojećih saobraćajnih konstrukcija čija se nosivost na taj način znatno povećava. Efekat stabilizacije zemljišta se zasniva na jonskoj difuziji. Joni kalcijuma iz kreča migriraju i stabilizuju glinu. Proces je identičan onom koji se odigrava pri stabilizaciji glinovitog tla krečom u prahu, odnosno, krečnom suspenzijom.

2. Industrija građevinskog materijala za proizvodnju hidrauličnog kreča, suvih maltera, silikatno-krečne opeke i drugo.

3. U metalurgiji za procese proizvodnje gvožđa, čelika, metalnog magnezijuma i kalcijuma, glinice i drugo.

4. U procesima flotacije obojenih i drugih metala (bakra, zlata, srebra, žive), kao i procesima obogaćivanja uranijumske rude.

5. U hemijskoj industriji za proizvodnju kaustične i kalcinisanе sode, alkalija, kalcijum-karbida, neorganskih i organskih soli na bazi kalcijuma i magnezijuma, celuloze i papira, insekticida i pesticida, pigmentata i boja, sredstva za beljenje, sapuna i masti.

6. U industriji nemetala za proizvodnju stakla, sinter-magnezitnih opeka, silika opeka, silicijum-karbidnih opeka.

7. U industriji nafte i naftnih derivata kao sredstvo za neutralisanje nečistoća organskog porekla-merkaptana, odnosno kao sredstvo za tretiranje industrijskih, odnosno, otpadnih voda nastalih pri eksploataciji nafte.

8. U industriji prehrambenih proizvoda (šećera, konzerviranog voća i povrća, mleka i mlečnih proizvoda, želatina i drugih vrsta namirnica za ljudsku upotrebu). Posebno je interesantna upotreba kreča i to kao živog kreča ili krečnog mleka u prečišćavanju sirovog soka dobijenog iz šećerne repe. Njegovo dejstvo može da bude mehaničko i hemijsko. Mehaničko

dejstvo se ogleda u tome što kreč povlači za sobom sve belančevine koje su koagulisale zagrevanjem soka na 85 °C. Hemijsko dejstvo se ogleda u uticaju kreča ili krečnog mleka na taloženje belančevina koje su nerastvorne u alkalnoj sredini, neutralizaciju kiselina i kiselih soli, taloženje kiselina čije su kalcijumske soli nerastvorne kao što su oksalna i fosfatna kiselina.

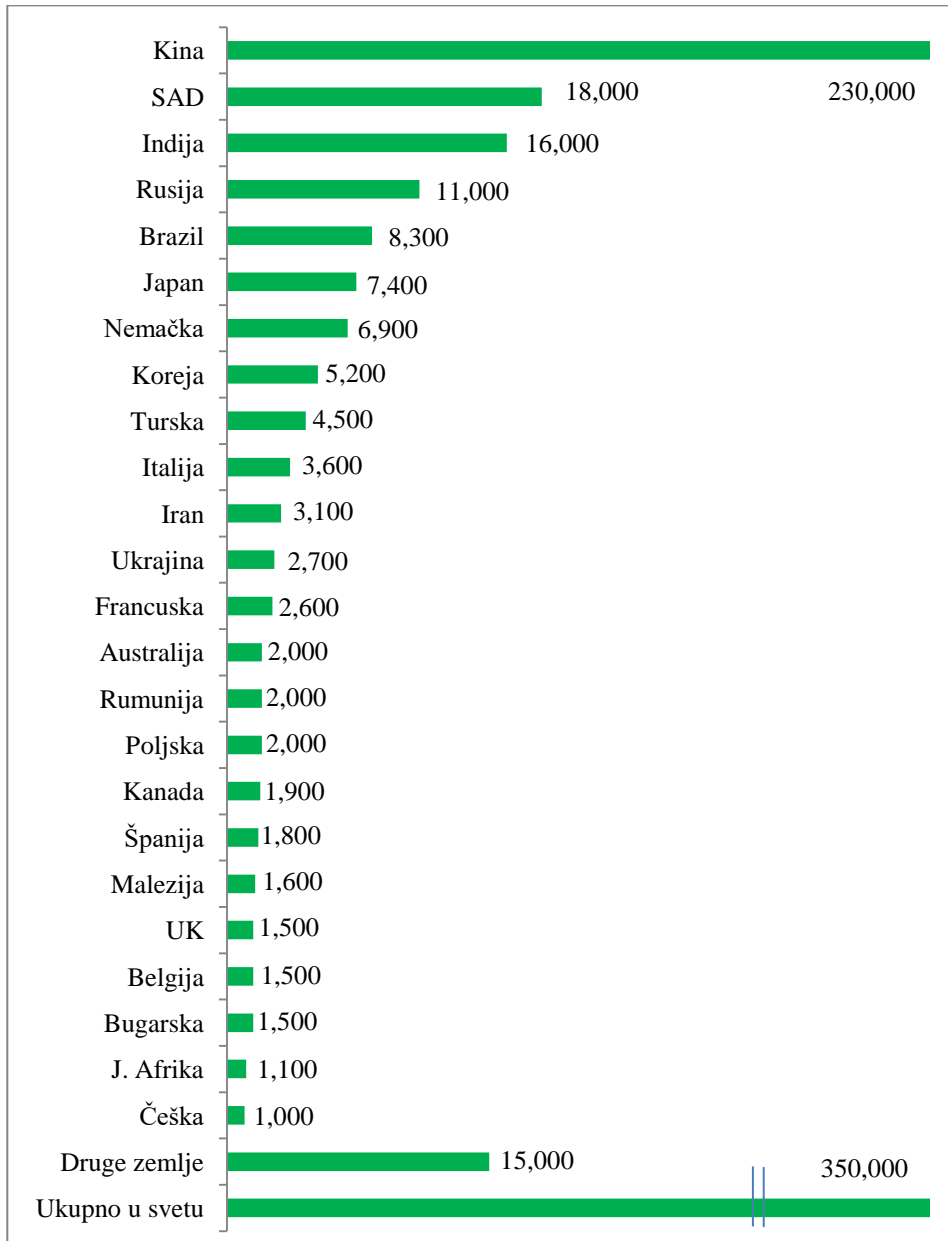
9. U oblasti prečišćavanja industrijskih otpadnih voda postupcima hemijsko-biološkog prečišćavanja, neutralizacije, omekšavanja, kao i u procesima tretiranja pijaćih voda.

Analiza proizvodnje kreča u svetu je pokazala da je došlo do značajnog povećanja u periodu 2008.-2014. godine, što se poklapa sa završetkom globalne ekonomske krize. U tom periodu je porasla potražnja za čelikom i građevinskim materijalima, pa samim tim i za krečom. Svetski lider u proizvodnji kreča je Kina, jer se 70 % od ukupne svetske proizvodnje odvija u ovoj zemlji. U razvijenim regionima kao što su Severna Amerika, Zapadna Evropa i Japan proizvodnju kreča karakteriše konsolidacija među regionalnim proizvođačima, pri čemu svaki od njih servisira svoje regionalno tržište. Trgovina krečom između zemalja je relativno mala prvenstveno zbog toga što je kreč lako dostupan u svim delovima sveta, a eventualni troškovi transporta mogli bi da imaju značajan udeo u ukupnoj ceni proizvoda.

Najvažnija upotreba kreča je u rudarstvu i metalurgiji, uključujući proizvodnju čelika. Podaci iz 2014. godine su pokazali da je polovina od ukupne potrošnje kreča u ovoj godini bila u oblasti metalurgije, a nešto više od 20 % u oblasti građevinarstva. Stučnjaci koji se bave zaštitom životne sredine smatraju da će u narednom periodu izuzetno porasti potrošnja kreča u ovoj oblasti prvenstveno za prečišćavanje dimnih gasova, voda i tretman

različitih vrsta otpada. U periodu 2014.-2019. godine svetska potrošnja kreča je porasla sa prosečnom godišnjom stopom od 4-5 %. Posebno je istaknuta prognozirana potrošnja gašenog (hidratisanog) kreča od 3 % u periodu 2017.-2025. godina, posebno u oblasti zaštite životne sredine, poljoprivrede i građevinarstva [108].

Globalno tržište kreča je po geografskoj rasprostranjenosti kategorisano na nekoliko regionalnih tržišta i to: Severna Amerika, Evropa, Azija Pacifik, Latinska Amerika, Bliski Istok i Afrika. U 2016. godini azijsko-pacifičko područje je smatrano najvećim tržištem kreča. Između ostalog tome je doprineo i povećan obim rudarskih aktivnosti u ovom regionu vezanih za dobijanje bakra, cinka, nikla, zlata, srebra i aluminijuma. Takođe, u 2016. godini od ukupne svetske potrošnje kreča, 37 % je potrošeno u oblasti rudarstva i metalurgije. U oblasti rudarstva kreč se između ostalog koristi za regulisanje pH vrednosti pulpe tokom postupka flotacijske koncentracije obojenih metala kao što su bakar, olovo, zink, zlato i srebro [109].



Slika 25. Svetska proizvodnja kreča u 2017. godini (hiljade metričkih tona)

Na slici 25 prikazane su zemlje sa najvećom proizvodnjom kreča u svetu u 2017. godini. Prikazani podaci su rezultat geološkog istraživanja u Americi iz januara 2018. godine (U.S. Geological Survey) [110]. Kao što se može videti najveći proizvođač kreča u svetu je Kina. Na drugom mestu su Sjedinjene Američke Države sa neuporedivo manjom proizvodnjom u odnosu na Kinu.

### **7.5. Primena krečnjaka u poljoprivredi**

Kiselost zemljišta je jedan od veoma važnih faktora koji utiče na rast biljaka i može znatno da smanji prinos biljnih kultura. Kada se govori o pH vrednosti poljoprivrednog zemljišta treba naglasiti da većina gajenih biljaka zahteva slabo kisela, neutralna do slabo alkalna zemljišta [111]. Zemljišta koja su kisela postaju neplodna, jer se smanjuje rastvorljivosti pojedinih biogenih elemenata (fosfora, molibdena) kao i povećanje prisustva pojedinih toksičnih elemenata i jedinjenja, u prvom redu aluminijuma [112, 113].

Kiselost zemljišta i visok sadržaj aluminijuma i teških metala može se popraviti primenom melioranata na bazi krečnjaka, a sam postupak se naziva kalcifikacija (kalcizacija). Poznato je da jedinjenja kalcijuma i magnezijuma mogu da neutrališu kiselost zemljišta, pa se zbog toga materijal na bazi krečnjaka svrstava u red efikasnih melioranta [114].

Najveći deo materijala na bazi krečnjaka vodi poreklo od usitnjenog krečnjaka i može biti: kalcit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$ ), kalcijum-oksidi ili pečeni kreč ( $\text{CaO}$ ), kalcijum hidroksid ili gašeni (hidratisani) kreč ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) i industrijski krečni nusproizvodi kao što su: prašina iz fabrika

cementa, saturacioni mulj iz fabrika šećera, kalcijum- karbida, otpaci fabrika papira, fabrika kamene sode i fabrika omekšivača vode [115].

Krečnjak koji se koristi za neutralisanje kisele reakcije zemljišta treba da ima najmanje 53 % CaO i najviše 2 % vlage. Meka kreda ima veći efekat za ovu upotrebu od tvrdog krečnjaka. Važno je naglasiti da materijal mora biti fino usitnjen, kako bi se brže i lakše rastvorio, a samim tim i brže došlo do reakcije i promene pH vrednosti zemljišta [14].

Smanjenje kiselosti zemljišta unošenjem materijala na bazi krečnjaka je mera koja se redovno preporučuje u cilju poboljšanja fizičkih, hemijskih i bioloških osobina i povećanja nivoa plodnosti zemljišta. Brojna istraživanja kod nas i u svetu ukazuju da adekvatna primena ovih materijala, u kombinaciji sa organskim i mineralnim đubrivima, predstavlja najefikasniji način otklanjanja nepovoljnih proizvodnih osobina kiselih zemljišta. Iz navedenih razloga sve više je prisutna potreba da se prilikom gajenja većine poljoprivrednih kultura na kiselim zemljištima jasno definišu neophodne meliorativne mere koje će biti prilagođene kako osobinama zemljišta, tako i klimatskim uslovima podneblja gde se zemljište nalazi [111, 116, 117].

Pre primene bilo kog melioranta neophodna je njegova kontrola u prvom redu hemijske analize kalcijum karbonatnog ekvivalenta, sadržaja vlage i veličine čestica. Pored toga, potrebno je vršiti proveru krečnih melioranata na sadržaje fitotoksičnih komponenti. Fitotoksični efekti industrijskog otpada mogu se odrediti testiranjem u staklenicima, a ne samo njihovim hemijskim analizama. Čiste krečne materijale (krečnjak, kalcijum- oksid i kalcijum hidroksid) nije potrebno pre upotrebe u polju podvrgavati ispitivanju toksičnosti u staklenicima [118].

Kalcizacija se obično primenjuje da zaustavi fitotoksičnost Al, Zn, Cu ili Ni. Međutim, preterana primena krečnih materijala može smanjiti pristupačnost pojedinih biogenih mikro elemenata i izazvati njihov deficit u biljkama, pa je izuzetno važna stručna pomoć u ovoj oblasti. Najveće promene pri meliorativnoj primeni krečnjaka u kiselim zemljištima postižu se kod sadržaja lako pristupačnog fosfora i mobilnog aluminijuma. Tako se meliorativnom primenom krečnog, mineralnog i stajskog đubriva sadržaj P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> u zemljištu može povećati iznad 9.0 mg na 100 g zemljišta, pri čemu se zemljište obično prevodi iz klase siromašnog u klasu srednjeg. Takođe, značajno se može imobilisati sadržaj slobodnog Al u zemljištu, pa čak dovesti na minimum [111].

Kalcifikacija, kao agrotehnička mera kojom se menja pH zemljišta, obezbeđuje sledeće pozitivne efekte:

1. Smanjuje kiselost zemljišta;
2. Smanjuje koncentraciju Al i Fe u zemljištu i njihovo štetno dejstvo, a povećava pristupačnost fosfora biljkama;
3. Poboljšava mikrobiološke aktivnosti zemljišta;
4. Poboljšava azotofiksaciju;
5. Ubrzava proces mineralizacije i humifikacije organske materije;
6. Poboljšava fizička, vodno-vazдушna i mehanička svojstva zemljišta i
7. Sprečava pojavu i širenje biljnih bolesti.

Jedan od elemenata koji utiče na finansijsku dobit koja se ostvaruje sa poljoprivrednog zemljišta je njegov kvalitet. Evidentno je da kiselost poljoprivrednog zemljišta dovodi do ukupnog opadanja kvaliteta i plodnosti zemljišta. Zbog toga regulisanje pH vrednosti zemljišta kalcizacijom

(kalcifikacijom) treba uvesti kao stratešku meliorativnu meru u zaštiti i unapređenju produkcijske sposobnosti poljoprivrednih zemljišta. U tu svrhu neophodno je preduzimanje niza stimulativnih mera preko nadležnih službi kako u privatnom sektoru, tako i kod zemljišta u državnoj svojini. Do 2009. godine ovim merama bilo je obuhvaćeno oko 70 000 ha obradivog zemljišta, sa godišnjim nivoom realizacije od 4500-7000 ha. Međutim, obim realizacije ovih mera ni izdaleka ne zadovoljava potrebe poboljšanja kiselih zemljišta Republike Srbije. Da bi efekat ovih mera bio bolji neophodno je na godišnjem nivou primeniti kalcifikaciju na minimum 15000 ha. Kalcifikaciju zemljišta treba obavljati u saradnji sa stručnim službama, a poželjno je da se kombinuje sa primenom organskih đubriva, čime će se ostvariti bolji rezultati u poboljšanju pH vrednosti zemljišta [8].

Kada se govori o upotrebi krečnjaka u poljoprivredi treba naglasiti i njegovu primenu kao dodatak stočnoj hrani. Za ove namene sadržaj  $\text{CaCO}_3$  mora biti visok, uz najniži sadržaj  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$  i teških metala, jer su toksični za organizam životinja. U hranivima za koke nosilje krečnjak mora biti usitnjen i klasiran na krupnoću od 2,4 do 4 mm i bez klase  $-0,074$  mm. Krupnijoj i sitnijoj stoci krečnjak se daje u vidu peletiziranog (granulisanog) brašna gornje granične krupnoće (ggk) 1,2 mm [14].

## **7.6. Primena krečnjaka u ostalim industrijama**

**Industrija šećera.** U ovoj grani industrije krečnjak se koristi za dobijanje kreča  $\text{CaO}$  i  $\text{CO}_2$  gasa, kao tehnološki reagens u proizvodnji šećera. Hemijski sastav krečnjaka za ove namene je jasno definisan kao i njegov granulometrijski sastav [14]. Naime, standardom SRPS



BB6.013:1988-Krečnjak za upotrebu u industriji šećera-Klasifikacija i tehnički uslovi, utvrđena je klasifikacija i tehnički uslovi kvaliteta krečnjaka koji se upotrebljava u industriji šećera za proizvodnju kreča-CaO i ugljen-dioksida CO<sub>2</sub> kao tehnoloških reagenasa u procesu proizvodnje šećera. Takođe, dati su način uzimanja i pripreme uzorka za ispitivanje, način ispitivanja i označavanje.

**Industrija stakla.** Sirovinske komponente u ovoj grani industrije su krečnjak i dolomit. Za izradu staklene ambalaže i ravnog stakla koriste se različite vrste stakla. Stakla se izrađuju od staklarske smeše kalcijum-karbonata, natrijum-karbonata i kvarcnog peska. Staklarska smeša se topi i dobija se rastop natrijum-kalcijum-silikata obično u molskom odnosu Na<sub>2</sub>O:CaO:5SiO<sub>2</sub>·određene viskoznosti, koja se zatim oblikuje. Dolomit se upotrebljava, uglavnom, u proizvodnji prozorskog, tehničkog i ambalažnog stakla. Uvodi se u proizvodnju kao izvor oksida magnezijuma koji staklu povećava hemijsku stabilnost i mehaničku otpornost [106].

Zastuljenost krečnjaka, kao dodatka mešavini iz koje se dobija staklo, je do 30 %, pri čemu je njegov kvalitet jasno definisan. Krečnjak mora da sadrži min 98 % CaCO<sub>3</sub>, odnosno 54,88 % CaO, max 0,1-1,50 % MgO; max 0,05-1,00 % SiO<sub>2</sub>; max 0,01-0,40 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i max 0,001-0,100 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Što se tiče krupnoće zahteva se gornja granična krupnoća (ggk) od 1,125 mm i donja granična krupnoća (dgk) od 0,10 mm, pri čemu je dozvoljeno da klase -0,1 mm bude max 5 % [14]. Standard SRPS B.B6.020:1990-Sirovine za proizvodnju stakla-Krečnjak-Klasifikacija i tehnički uslovi, jasno utvrđuje klasifikaciju i tehničke uslove kvaliteta krečnjaka koji služi kao sirovina za proizvodnju stakla.

**Proizvodnja sode,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .** Primena krečnjaka za ovu namenu je vezana za Solvejev postupak kojim se dobija soda. Naime, pečenjem krečnjaka dobija se kreč, a od kreča hidroksid kojim se regeneriše amonijak korišćen u Solvejevom postupku. Za ovu upotrebu krečnjak mora da ima visoku čistoću, odnosno min 98,6 %  $\text{CaCO}_3$  i manje od 1,0 %  $\text{SiO}_2$  [14]. Dobijena kalcinisana soda, na ovaj način i ovim postupkom, ima veliku primenu u proizvodnji stakla, sapuna, tekstila, zatim proizvodnji mineralnih đubriva gde se koristi kao tehnološka sirovina i kao punilac koji proizvodu daje rastresitost.

**Metalurgija.** U crnoj metalurgiji najveću primenu imaju kalcijum karbonatne stene, krečnjak i mermer. Koriste se kao osnovni dodatak kod topljenja kiselih ruda gvožđa u procesu proizvodnje sirovog gvožđa. Da bi se krečnjak koristio u metalurgiji gvožđa neophodno je da sadrži više od 50 %  $\text{CaO}$ , pri čemu sadržaj  $\text{SiO}_2$  mora da bude manji od 1,0 %, sadržaj  $\text{MgO}$  manji od 1,4 %, sadržaj  $\text{Al}_2\text{O}_3$  manji od 2,0 % i bez primesa kao što su fosfor i sumpor. Takođe, krečnjak mora da bude kompaktna, mehanički otporan i da ima krupnoću -80+60 mm [14]. Kompaktnost i mehanička otpornost krečnjaka u direktnoj je zavisnosti od vrednosti čvrstoće na pritisak koja ne sme da bude manja od  $40 \text{ N/mm}^2$ . U visokim pećima komadi kalcijum karbonatnih stena su izloženi velikom trenju i pritisku. Ako bi vrednost njihove čvrstoće na pritisak bila niska, došlo bi do usitnjavanja, čime bi se otežao prolaz gasova. Takođe, onemogućilo bi se normalno kretanje mešavine rude, goriva i topitelja kroz peć. Potrošnja

kalcijum karbonatnih stena u procesu dobijanja sirovog gvožđa je oko 0,4 t do 0,9 t po jednoj toni sirovog gvožđa [106].

**Industrija boja i lakova.** Kada se govori o upotrebi krečnjaka u ovoj oblasti misli se, prvenstveno, na upotrebu karbonatnog brašna i krečnog mleka. Karbonatno brašno se koristi za dobijanje mase za dletovanje, emulzionih i drugih dekorativnih boja, industrijskih antikoroziivnih boja, pečenih emajla i boja kao i građevinskih površinskih premaza. Dobijeni građevinski premazi mogu da se koriste za različite namene i podloge. Tako, na primer, postoji: premaz za metal, drvo, mineralne podloge, horizontalnu signalizaciju, vodorazredivi premazi, premazi koji se koriste u sklopu protivpožarnih sistema zaštite i drugo. Karbonatno brašno, kao neaktivna komponenta, može imati ulogu punioca u smeši od koje se dobija boja. Na taj način može da utiče na fizička svojstva krajnjeg proizvoda. Takođe, kao sastojak boja, može da daje specifične efekte i modifikuje svojstva boja kao što su sedimentacija, obradivost i obrazovanje filma.

Sastav smeše od koje se prave boje i lakovi, između ostalog, čini i vezivo. Vezivo ima ulogu u formiranju samog filma i njegovu atheziju (prijanjanje) za podlogu. Kao vodeno vezivo najviše se koristi krečno mleko koje predstavlja suspenziju gašenog kreča  $\text{Ca(OH)}_2$  u vodi. Vezivanje i očvršćavanje premaza napravljenog na bazi krečnog mleka zasniva se na isparavanju vode i nastajanju kalcijum karbonata prema sledećoj hemijskoj reakciji:



Formirani kalcijum karbonat je otporan u odnosu na vodu, međutim veoma je osetljiv prema atmosferskim padavinama tipa kiselih kiša. Razlog je što kisele kiše u sebi sadrže rastvorene gasove kao što su CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub> [106].

Zahtevani kvaliteta krečnjaka kao punioca u industriji boja i lakova je veoma visok, a to je min 96 % CaCO<sub>3</sub> i max 0,3 % volatila (gasoviti produkti), pri čemu gubitak žarenjem treba da je 42-44 %, pH vrednost vodene suspenzije 8,0-9,5; specifična površina 2,7 m<sup>2</sup>/g, refleksija 85,55; gornja granična krupnoća 0,045 mm pri čemu 36 % klase -0,002 mm [14].

**Industrija gume i plastike.** U ovim granama industrije koristi se visokokvalitetni krečnjak i kreda u kojima je sadržaj CaCO<sub>3</sub> min 98,5 %. Dozvoljena rastvorljivost u vodi je do 0,1 %, udeo klase -0,002 mm treba da je 80 %, odnosno 42 % klase -0,001 mm. Zahtevana specifična površina krečnjaka za ove namene je 6 m<sup>2</sup>/g, a refleksija 89 %. Posebno se zahteva da sadržaj primesa MnO bude manji od 0,025 %, a CuO manji od 0,005 % [14].

**Industrija papira.** U svojim proizvodnim procesima i tehnologijama industrija za proizvodnju papira troši znatne količine krečnjaka. Krečnjak se u ovoj oblasti koristi na dva načina:

1. Kao punilac sa štirkom, smolom ili kaučukom u cilju poboljšanja određenih svojstva papira kao što je belina, zatim punioci na bazi krečnjaka poboljšavaju prijanjanje štamparske boje na papir i produžavaju trajnost papira.

2. Kao premaz površine papira.

Zahtevani kvalitet krečnjaka u slučaju kada se koristi kao punilac je više od 96 %  $\text{CaCO}_3$ , gornja granična krupnoća 0,02 mm, pri čemu je udeo klase -0,002 mm 40 % i rastvorljivost u vodi 0,1 %.

U drugom slučaju, kada se krečnjak koristi kao pigment za premaz površine papira, kriterijumi su nešto strožiji. Neophodno je da krečnjak ima min 98,55 %  $\text{CaCO}_3$ , rastvorljivost u vodi 0,1 % i gornju graničnu krupnoću 0,005 mm pri čemu je neophodno da sadržaj klase -0,002 mm bude 90 % [14].

**Industrija pesticida i đubriva.** U industriji koja se bavi proizvodnjom pesticida krečnjak se koristi kao idealni nosilac malih količina hemikalija koje se raspršavaju na velikim poljoprivrednim površinama. Na taj način se postiže i održava rastresitost pesticida. Za ovu namenu krečnjak se koristi u obliku kalcijum karbonatnog brašna.

U industriji đubriva krečnjak se, takođe, koristi u obliku kalcijum karbonatnog brašna kao u industriji pesticida i ima sličnu uloga. Međutim, u proizvodnji đubriva koristi se i kao punilac koji utiče na svojstva gotovog proizvoda kao što je, na primer, eksplozivnost kod amonijum nitrata. Takođe, krečnjak poboljšava i plodnost kiselih zemljišta. U proizvodnji azotnih đubriva, amonijum-nitrata, krečnjak se dodaje u vidu praha sa 50 % čestica krupnoće ispod 0,03 mm. Zahtevani kvalitet krečnjaka za ovu namenu je minimalni sadržaj  $\text{R}_2\text{O}_3$  (ispod 0,1%), pri čemu nije dozvoljen sadržaj  $\text{SiO}_2$ , jer otežava otprašivanje i izaziva prekomerno habanje obloga mlinova tokom postupka mlevenja [106].

## **8. PREGLED LEŽIŠTA KREČNJAKA, DOLOMITA I MERMERA U REPUBLICI SRBIJI**

U ovom poglavlju prikazani su podaci o karakterističnim ležištima krečnjaka, dolomita i mermera na teritoriji Republike Srbije. Dat je njihov geografski položaj, za pojedina ležišta bilansne rezerve po kategorijama, zatim hemijski sastav i mogućnost upotrebe. Kategorija ležišta je određena prema kriterijumima koje definišu u sledeći dokumenti: Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima („Sl. list SFRJ“, br. 53/79); Zakon o geološkim istraživanjima („Sl. glasnik RS“, br. 44/95) i Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima („Sl. glasnik RS“, br. 101/2015 i 95/2018-dr. zakon).

**Ležište krečnjaka „Zagrađe“.** Nalazi se u reonu istočne Srbije na teritoriji opštine Bor. Prostor lokaliteta „Zagrađe“ prema genetskom tipu mineralne sirovine pripada sedimentnim ležištima klastičnih (mehaničkih) sedimenata. Po svojim genetskim karakteristikama, uslovima mobilizacije, prenosa i načina deponovanja mineralne komponente područje se svrstava u prelazni tip. Naime, nalazi se između tipičnog aluvijalnog i morskog sedimentnog ležišta barijernih sprudova, koje je obrazovano na izvesnom rastojanju od obale u litoralnoj zoni u toku regresivne faze. Debljina titonskih sedimenata iznosi između 150 i 200 m. Istražni prostor „Zagrađe“ izgrađen je od bankovitih krečnjaka, sprudnih, belih ili žućkastih kristalastih krečnjaka. Po pružanju slojevi krečnjaka su na dužini većoj od 1,5 km, na širini od 400-800 m i zauzimaju pravac sever, severozapad – jug, jugoistok.

Šire područje ležišta pripada geotektonskoj jedinici timočka sinforma i njenoj strukturnoj jedinici monoklinali Stola i Golog Krša [119-123].

Rovni krečnjak ovog ležišta koristi se za dobijanje komadastog kreča za potrebe flotacije u Boru i Velikom Krivelju, dok se jedan deo koristi za dobijanje hidratisanog kreča za potrebe građevinske industrije. Postrojenje za pripremu rovnog krečnjaka ležišta „Zagrađe“ čini postrojenje za drobljenje i prosejavanje, zatim transport do prihvatnih bunkera koji se nalaze ispred peći za pečenje krečnjaka. Prilikom usitnjavanja rovnog krečnjaka ggk 500 mm dobija se krupnoća koja je odgovarajuća za postupak pečenja krečnjaka, a to je ggk 150 mm [124].

**Ležište krečnjaka „Jelen Do“.** Nalazi se na teritoriji opštine Čačak i od grada je udaljeno 25 km. Eksploatacija krečnjaka je počela još 1928. godine kada se u improvizovanim pećima pekao i proizvodio kreč. Kasnije, 1948. godine, Vojno-građevinsko preduzeće „Ratko Mitrović“ iz Beograda, otvorilo je pogon za proizvodnju tehničkog kamena i negašenog kreča. Ugradnjom savremenih peći za kreč i izgradnjom pogona za hidrataciju kreča 1962. godine ovaj pogon je do kraja sedemdesetih godina postao najveći proizvođač kreča i krečnih agregata u tadašnjoj Jugoslaviji sa 6.000 tona na dnevnom nivou. Ovo preduzeće je postalo vodeće i sa aspekta produktivnosti i sa aspekta primenjene tehnologije. „Jelen Do“ je 1989. godine postalo samostalno preduzeće. Privatizacija ovog preduzeća je završena 2003. godine kada je vlasnik 70 % kapitala postala „Nexe Grupa“ iz Našica u Republici Hrvatskoj. Od sredine juna 2013. godine kupovinom akcija i preuzimanjem vlasništva od strane firme „Carmeuse SA“, postaje sastavni deo Carmeuse Grupe čije je sedište u Louvain la Neuve, u Belgiji.

Svoje proizvodne kapacitete pogon „Jelen Do“ a.d. je znatno povećao izgradnjom i puštanjem u pogon nove „Maerz“ peći kapaciteta 350 tona kreča dnevno. Na ovaj način povećana je proizvodnja kreča i obezbedio adekvatan i pravovremen odgovor na očekivane tržišne tendencije rasta potrošnje kreča. Naravno, unapređenje proizvodnje je u skladu sa strateškim opredeljenjem za unapređenje saradnje sa industrijskim kupcima i povećanja učešća industrijske potrošnje u ukupnoj prodaji kreča ovog pogona [125]. Na slici 26 prikazano je postrojenje za pripremu krečnjaka „Jelen Do“.



Slika 26. Postrojenje za pripremu krečnjaka „Jelen Do“ [125]

Prema podacima iz 2011.godine, a na osnovu dosadašnjih iskustava eksploatacioni gubici iznose 10 %. Godišnji kapacitet iznosi oko 1 000 000 tona krečnjaka. Na osnovu procenjenih količina krečnjaka i godišnjeg kapaciteta proizvodnje, vek eksploatacije iznosi preko 40 godina.

Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Jelen Do“ prema podacima iz 2011. godine, prikazane su u tabeli 1 [126].



Tabela 1. Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Jelen Do“

<b>Kategorija</b>	<b>Bilansne rezerve, m<sup>3</sup></b>	<b>Bilansne rezerve, t</b>
<b>A</b>	7 381 169	19 855 345
<b>B</b>	14 017 813	37 707 917
<b>C<sub>1</sub></b>	1 829 783	4 922 116
<b>A+B+C<sub>1</sub></b>	23 228 765	62 485 378

Hemijski sastav krečnjaka ovog ležišta prikazan je u tabeli 2.

Tabela 2. Hemijski sastav krečnjaka ležišta „Jelen Do“

<b>Komponenta</b>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	IM*	W**
<b>Sadržaj, %</b>	97,32	2,30	0,33	0,06	0,33	0,72	<5

\* IM-inertne materije

\*\* W-vlaga

Osim hemijskog sastav poznat je i podatak za čvrstoću na pritisak ovog krečnjaka koja iznosi 116 MPa kao i zapreminska masa od 2,609 kg/m<sup>3</sup>. Krečnjak iz ležišta “Jelen Do“ ima takav kvalitet da može da se koristi u industriji šećera, hartije, mineralnih đubriva i za proizvodnju stakla, u industriji portland cementa, u metalurgiji, kao i u industriji građevinskog kreča i u građevinarstvu za različite potrebe i namene [126].

**Ležište krečnjaka „Kaona“.** Nalazi se na teritoriji opštine Kučevo koja zahvata severni deo istočne Srbije i prostire se na površini od 721 km<sup>2</sup>. Ležište se prostire na jugozapadnim obroncima Golubačkih planina, na padinama brda Periš i na apsolutnoj visini od 115 do 405 m. Uže područje ležišta nije naseljeno i najbliža seoska domaćinstva su na udaljenosti većoj

od 500 m u pravcu jugozapada. Veći gradovi koji se nalaze u blizini su Kučevo, Požarevac, Majdanpek i Veliko Gradišt.

Šire područja ležišta ima veoma povoljan geografski položaj, u odnosu na važne drumske i železničke saobraćajne pravce. Nalazi se sa leve strane industrijskog koloseka železničke pruge i asfaltnog puta Požarevac-Kučevo-Majdanpek na rastojanju od 250 m. Ovim saobraćajnicama ležište je povezano sa većim gradovima u ovom delu Srbije. Od Kučeva je udaljeno 4 km, od Požarevca 52 km, Majdanpeka 53 km, a od Velikog Gradišta 35 km. Transport gotovih proizvoda (tucanik, agregat, lomljeni kamen, kreč) od ležišta prema potrošačima obavlja se kamionskim i železničkim transportom. Eksploatacija krečnjaka na površinskom kopu „Kaona“ kod Kučeva (slika 27) počela je pre više od 50 godina i obavlja se i danas [127].



Slika 27. Postrojenje za pripremu krečnjaka „Kaona“ [127]

**Ležište krečnjaka „Mutalj“.** Prostire se na južnim padinama Fruške gore, južno od najvišeg vrha Crveni Čot, nadmorske visine 539 m. Od sela Bešenovo udaljeno je oko 3 km vazdušnom linijom u pravcu severozapada. Krečnjaci ležišta „Mutalj“ su deo jednog venca istih

tvorevina koje se kao velika sočiva–bivši sprudovi, nalaze na južnim padinama Fruške gore (posebno u široj okolini Bešenova) u jednom pojasu pravca istok-zapad, odnosno paralelno pružanju venca Fruške gore.

Krečnjaci ovog ležišta su organogeni sedimenti nastali radom sprudotvornih organizama. U okolini istražnog područja na južnim padinama Fruške gore otkriveni su sedimenti starijih odeljaka miocena: jezerskog starijeg miocena poznatog pod nazivom „vrđnička serija“ i morskog srednjeg miocena kojim pripadaju i litotamnjski krečnjaci. Ležište krečnjaka „Mutalj“ je istraženo u periodu od 1964-1965. godine od strane „Geozavoda“ iz Beograda i geološke službe fabrike cementa iz Beočina.

Danas se krečnjak ovog ležišta koristi za potrebe proizvodnje cementa u fabrici „Lafarge“ u Beočinu. „Lafarge“ Srbija je deo „LafargeHolcim Group“ sa sedištem u Parizu - Francuska. Elaborat o rezervama krečnjaka u ležištu „Mutalj“ urađen je 1973. godine, a krajem 2002. godine izvršeno je ponovno istraživanje geološke građe ležišta i urađen novi elaborat o rezervama. Utvrđene rezerve od preko 49 miliona tona obezbeđuju eksploataciju ovog krečnjaka za više od 40 godina. Ležište je istraživano na površini od oko 0,9 km<sup>2</sup>, dok istraženi deo ležišta u konturi rezervi zahvata površinu od oko 40 ha. Granice ležišta nisu utvrđene u svim pravcima [128].

**Ležište krečnjaka „Ravnje”.** Nalazi u ataru sela Dračić, (slika 28), na teritoriji opštine Valjevo. Od Valjeva je udaljeno je oko 8 km. Sa asfaltnim putem Valjevo-Kosjerić-Užice povezano je makadamskim putem dužine oko 1 km. Ležište se prostire izvan naseljene zone. Osnovne namene

prostora koje se mogu prepoznati na širem području ležišta „Ravnje“ su poljoprivredno i šumsko zemljište niskog boniteta.



Slika 28. Geografski položaj ležišta krečnjaka „Ravnje“ [129]

Ležište „Ravnje“ jednostavne je geološke građe i predstavlja deo mase srednje trijaskih krečnjaka. Ima oblik izduženog sočiva, koje se pruža u pravcu severozapad-jugoistok. Rudno telo zahvata prostor dužine 300 m i širine 250 m. Geološkim kartiranjem izdvojene su sledeće jedinice:

1. Deluvijalne gline sa odlomcima krečnjaka i
2. Sivi tektonizirani masivni krečnjaci, mestimično brečasti.

Krečnjaci su sive boje i masivne teksture sa pukotinama i prslinama koje su zapunjene kristalastim kalcitom. Prelom stene je nepravilan do

školjkast, sa fino hrapavom prelomnom površinom i ostrim ivicama loma. Detaljnim geološkim istraživanjem zahvaćen je prostor od oko 20 ha. Maksimalna debljina rudnog tela iznosi 60 m. Bušotina nije izašla iz krečnjačkog masiva, odnosno nije probijena podina krečnjaka. Krečnjačka masa na površini je uglavnom otkrivena, naročito na strmim padinama. Prema fizičkim i mehaničkim osobinama krečnjak ovog ležišta koristi se kao tehničko-građevinski kamen i postrojenje za njegovu pripremu je instalirano na samom površinskom kopu [125]. Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Ravnje“ prema podacima iz 2006. godine prikazane su u tabeli 3.

Tabela 3. Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Ravnje“ [129]

Kategorija	Bilansne rezerve, m <sup>3</sup>	Zapreminska masa, t/m <sup>3</sup>	Bilansne rezerve, t
<b>B</b>	2 081 715	2,70	5 620 630
<b>C<sub>1</sub></b>	897 197	2,70	2 422 432
<b>B+C<sub>1</sub></b>	2 978 912	-	8 043 062

Hemijski sastav krečnjaka ovog ležišta je u tabeli 4.

Tabela 4. Hemijski sastav krečnjaka ležišta „Ravnje“

Komponenta	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Sadržaj, %</b>	54,497	0,611	0,181	0,107	0,093

Na osnovu hemijskog sastava može se zaključiti da se radi o kvalitetnoj karbonatnoj sirovini koja sadrži nizak procenat štetnih primesa i veoma visok sadržaj CaCO<sub>3</sub>. Zbog svega toga može se koristiti u sledećim industrijskim granama: industrija kreča, gume, šećera, stočne hrane i staklarskoj industriji [129].

**Ležište krečnjaka „Jazovnik“.** U severozapadnom delu Srbije nalazi se površinski kop krečnjaka ležišta „Jazovnik“, (slika 29). Teritorijalno pripada opštini Vladimirci i ataru sela Jazovnik, po kome je i dobilo ime. Površina eksploatacionog polja je oko 24 ha sa pravcem pružanja sever-jug. Površinska eksploatacija i prerada krečnjaka iz ležišta „Jazovnik“ je počela 1994. godine. U neposrednoj blizini kopa izgrađena su postrojenja za usitnjavanje i klasiranje krečnjaka za različite namene [126].



Slika 29. Površinski kop krečnjaka ležišta „Jazovnik“ [130]

Ležište je udaljeno od Šapca 40 km, a od Beograda 75 km. Zahvaljujući tome što je lokacijski blizu reke Save (udaljeno 15 km) krečnjak iz ovog ležišta do krajnjih potrošača može se transportovati vodenim putem, a takođe i drumskim putevima.

Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Jazovnik“ prema podacima iz 2011. godine prikazane su u tabeli 5 [126].

Tabela 5. Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Jazovnik“

Kategorija	Bilansne rezerve, m <sup>3</sup>	Bilansne rezerve, t
<b>A</b>	2 229 850	5 574 626
<b>B</b>	3 052 372	7 630 930
<b>A+B</b>	5 282 222	13 205 556

Hemijski sastav krečnjaka ovog ležišta prikazan je u tabeli 6.

Tabela 6. Hemijski sastav krečnjaka ležišta „Jazovnik“

Komponenta	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	IM*	W**
Sadržaj, %	97,98	1,04	0,14	0,17	0,57	0,98	<5

\* IM-inertne materije

\*\* W-vlaga

Čvrstoća na pritisak krečnjaka ležišta „Jazovnik“ iznosi 108 MPa, a zapreminska masa 2,54 kg/m<sup>3</sup> [126]. Na osnovu kvaliteta izraženog hemijskim sastavom i mehaničkim osobinama, krečnjak ležišta „Jazovnik“ može da ima primenu u proizvodnji šećera, veštačkih đubriva, raznih punila, industriji hartije, metalurgiji i kao tehnički građevinski kamen. Takođe, može da se koristiti za izradu svih vrsta betona, asfaltnih mešavina, kolovoznih konstrukcija, tucanika i kao kamen za zidanje u niskogradnji. Na osnovu projektovane godišnje proizvodnje krečnjaka od 500000 t vek eksploatacije površinskog kopa za potvrđene rezerve iznosi 20 godina [126].

**Ležište krečnjaka „Kovilovača“.** Ležište se nalazi na području istočnog Pomoravlja i administrativno pripada opštini Despotovac. Eksploatacija krečnjaka iz ovog ležišta se vrši na površinskom kopu koji se nalazi na periferiji grada, (slika 30).



Slika 30. Površinski kop krečnjaka ležišta „Kovilovača“ [126]

Povoljan položaj ležišta u odnosu na glavne saobraćajnice, omogućio je efikasan i brz transport ove sirovine do krajnjih korisnika. Naime, magistralnim putevima Despotovac-Ćuprija i Despotovac-Svilajnac-Markovac ležište je povezano sa auto-putem Beograd-Niš, a prugom Despotovac-Markovac sa magistralnom prugom Beograd-Niš. Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Kovilovača“ prema podacima iz 2011. godine prikazane su u tabeli 7 [126].

Tabela 7. Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Kovilovača“

<b>Kategorija</b>	<b>Bilansne rezerve, m<sup>3</sup></b>	<b>Bilansne rezerve, t</b>
<b>B</b>	5 986 251	15 923 420
<b>C<sub>1</sub></b>	2 154 692	5 731 476
<b>B+C<sub>1</sub></b>	8 140 943	21 654 896



Hemijski sastav krečnjaka ovog ležišta prikazan je u tabeli 8.

Tabela 8. Hemijski sastav krečnjaka ležišta „Kovilovača“

Komponenta	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	IM*	W**
Sadržaj, %	98,53	0,50	0,51	0,19	0,27	0,97	<5

\* IM-inertne materije

\*\* W-vlaga

Čvrstoću na pritisak krečnjaka ležišta „Kovilovača“ iznosi 103 MPa, a zapreminska masa 2,65 kg/m<sup>3</sup>. Krečnjak iz ovog ležišta prema svom kvalitetu može da se koristi u građevinarstvu za proizvodnju agregata za asfalt-beton, u infrastrukturi za izradu nosećih kolovoznih konstrukcija, za zidanje u niskogradnji i hidrogradnji, zatim u industriji šećera, metalurgiji i industriji stočne hrane [126].

**Ležište krečnjaka „Jelenska Stena“.** Nalazi se na severnim padinama Golubačkih planina u neposrednoj blizini puta Golubac-Donji Milanovac, na samoj obali Dunava, (slika 31). Ležište je udaljeno od Golupca oko 10 km.

Eksploatacija krečnjaka ovog ležišta vrši se metodom površinskog otkopavanja. Ono što treba istaći kao karakteristično za ovo ležište su trakasti transporter koji omogućavaju direktni utovar krečnjaka u barže na Dunavu. Naravno, to je moguće samo u slučajevima kada se kop nalazi na obali reke ili u njenoj neposrednoj blizini. Zbog blizine puta Golubac-Donji Milanovac postoji mogućnosti transporta krečnjaka sa površinskog kopa „Jelenska Stena“ i drumskim putem.



Slika 31. Površinski kopa krečnjaka „Jelenska Stena“ [126]

Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Jelenska Stena“ prema podacima iz 2011. godine prikazane su u tabeli 9 [126].

Tabela 9. Bilansne rezerve ležišta krečnjaka „Jelenska Stena“

Kategorija	Bilansne rezerve, m <sup>3</sup>	Bilansne rezerve, t
<b>B</b>	8 704 927	23 416 252
<b>C<sub>1</sub></b>	1 038 478	2 793 506
<b>B+C<sub>1</sub></b>	9 743 405	26 209 758

Hemijski sastav krečnjaka ležišta „Jelenska Stena“ prikazan je u tabeli 10.

Tabela 10. Hemijski sastav krečnjaka ležišta „Jelenska Stena“

Komponenta	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	IM*	W**
Sadržaj, %	94,29	1,55	1,18	0,29	0,32	1,99	<5

\* IM-inertne materije

\*\* W-vlaga

Čvrstoća na pritisak ovog krečnjaka iznosi 175,9 MPa, a zapreminska masa 2,69 kg/m<sup>3</sup>. Prema fizičkim i mehaničkim karakteristikama krečnjak iz ležišta „Jelenska Stena“ može da se koristi u građevinarstvu za izradu zastora gornje nosećih i donje nosećih kolovoznih konstrukcija od asfalt-betona i cement-betona, zastora železničkih pruga, kao lomljeni kamen za sva zidanja u niskogradnji i izgradnji hidrotehničkih objekata. Takođe, može da se koristi hemijskoj industriji i metalurgiji [126].

**Ležište krečnjaka „Suva Vrela“.** Ležište krečnjaka „Suva Vrela“ nalazi se kod Kosjerića. Do sada je detaljno istražen deo ležišta površine oko 35 ha sa srednjom debljinom korisne sirovine približno 55 m. Eksploatacija krečnjaka se trenutno vrši površinskim diskontinualnim sistemom eksploatacije. Tehnološki sistem eksploatacije krečnjaka se sastoji iz proizvodnih procesa: bušenja i miniranja, buldožerskog i gravitacionog transporta, utovara krečnjaka i transporta krečnjaka do drobilnog postrojenja.

Iz ležišta „Suva Vrela“ krečnjakom se snabdeva fabrika cementa TITAN-Cementara. Fabrika se nalazi severozapadno od varošice Kosjerić na udaljenosti od oko 2 km i na udaljenosti približno 0,8 km u istom pravcu od samog ležišta.

U zavisnosti od planiranih potreba fabrike cementa za krečnjakom, sa jedne strane, i planiranog plasmana krečnjaka kao tehničko-građevinskog kamena raznih frakcija, sa druge strane, određuje se i kapacitet ovog kopa. Prosečan godišnji kapacitet površinskog kopa iznosi 1 000 000 tona. Ukupne rezerve krečnjaka u konturi površinskog kopa ležišta „Suva Vrela“

iznose približno 50 000 000 t. Uzimajući u obzir upotrebnu vrednost okonturenih masa, gubici praktično ne postoje te su eksploatacione rezerve ujedno i industrijske rezerve. Na osnovu godišnjeg kapaciteta od 1 000 000 t krečnjaka radni vek površinskog kopa iznosi 50 godina (prema podacima iz 2011. godine) [126].

**Ležište krečnjaka „Plana“.** Nalazi se na zapadnim padinama planine Baba i severno od sela Plana, na teritoriji opštine Paraćin. Dužina zone ležišta iznosi oko 3 km, a širina 250-500 m. Prva detaljna istraživanja ovog ležišta vršena su 1974. godine. Na formiranom reprezentativnom uzorku iz 4 bušotine urađena je karakterizacija. Cilj je bio da se na osnovu rezultata hemijske analize i rezultata tehnoloških ispitivanja utvrdi mogućnost primene krečnjaka iz ležišta „Plana“ u staklarskoj industriji. Otvorenjem fabrike za proizvodnju staklene ambalažu u Paraćinu, koja je bila najveća fabrika te vrste u bivšoj Jugoslaviji, ležište postaje veoma aktuelno 1985. godine.

Eksploatacija krečnjaka se vrši na površinskom kopalju, (slika 32), sa 5 etaža, čije visine se približno kreću od 10-20 m.

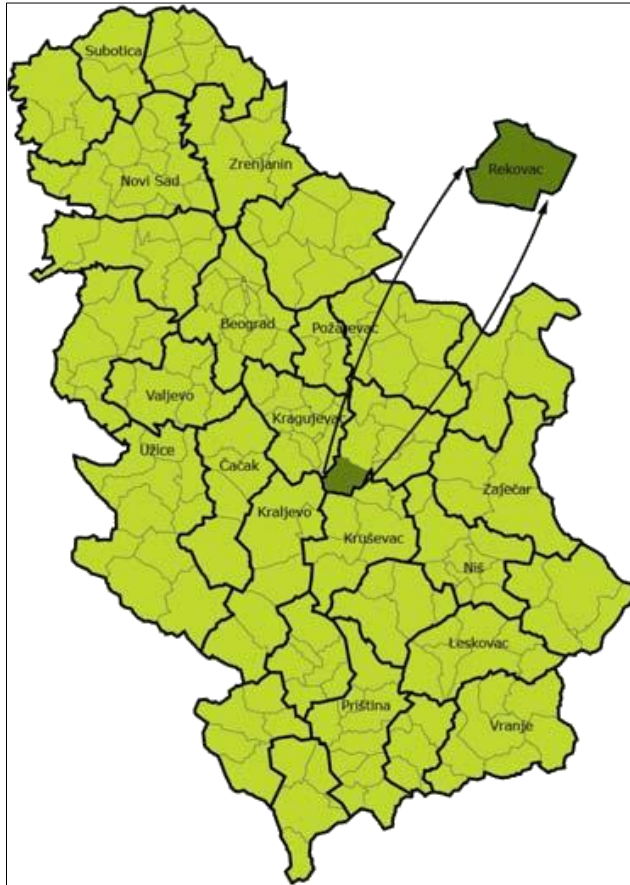


Slika 32. Površinski kop krečnjaka „Plana“ [131]

Postrojenje za drobljenje i prosejavanje krečnjaka je postavljeno na samom površinskom kopu, odakle se odgovarajući asortimani dalje transportuju kao gotov proizvod. Uslovi eksploatacije su veoma povoljni sa aspekta hidrogeoloških pojava u ležištu. Naime, na samom ležištu ne postoje izvori ili podzemne vode koje bi negativno uticale kako na postupak eksploatacije krečnjaka, tako i na postupak njegove pripreme. Zbog zadovoljavajućeg kvaliteta krečnjak iz ovog ležišta se koriste za potrebe staklarske industrije u okviru Srpske fabrike stakla iz Paraćina. Takođe može da se koristi u izgradnji putne infrastrukturei, zatim kao tehničko građevinski materijal i kao ukrasni kamen [131].

**Lokalitet krečnjaka „Sibnička Čukara“.** Geološka istraživanja na području centralne Srbije, u jugoistočnom delu Šumadije, u reonu opštine Rekovac, (slika 33), pokazala su prisustvo krečnjaka na padinama Gledićkih planina na lokalitetu „Sibnička Čukara“.

Laboratorijska ispitivanja i karakterizacija krečnjaka lokaliteta “Sibnička Čukara” 2019. godine u Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina iz Beograda utvrdila je mogućnost primene drobljenog krečnjaka u proizvodnji kreča i šećera i u metalurgiji kao II klasa. Takođe, postoji mogućnost upotrebe mlevenog krečnjaka sa ovog lokaliteta kao punila za asfalt, kao dodatka stočnoj hrani, ali samo za svinje koje su starije od 16 nedelja zbog sadržaja teških metala, kao sredstva u proizvodnji mineralnog đubriva i za odsumporavanje dimnih gasova [40]. Eksploatacija krečnjaka ovog lokaliteta još uvek nije počela.

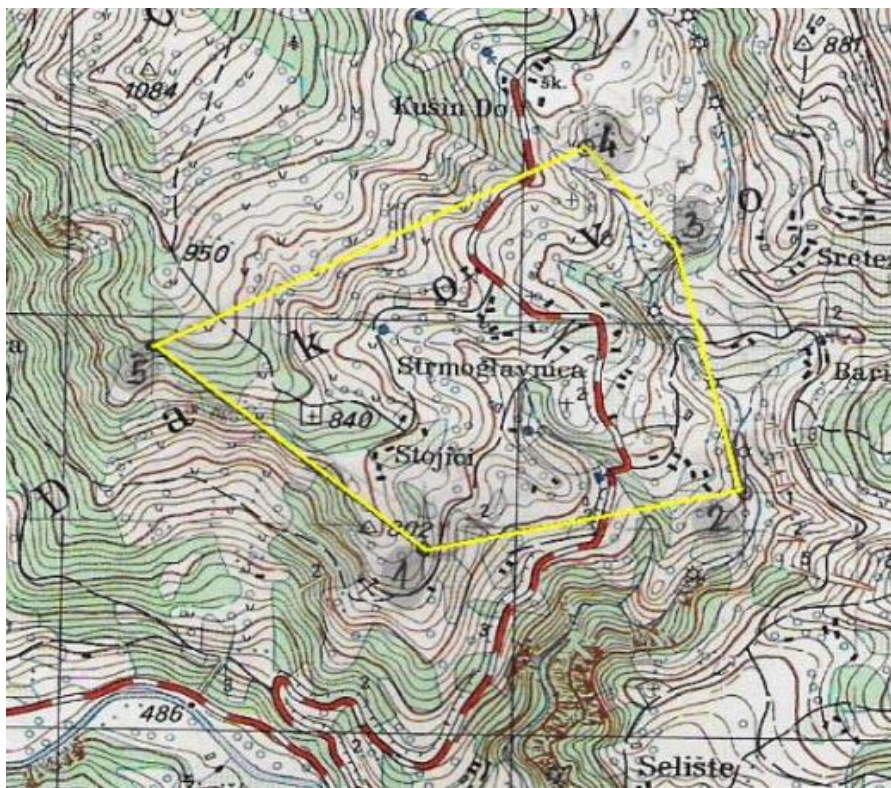


Slika 33. Položaj opštine Rekovac [132]

**Ležište dolomita „Đakovo“.** Prostire se na jugoistočnim padinama planine Čemerno, u ataru sela Đakovo, oko 5 km severozapadno od manastira Studenica i 19 km od varošice Ušće. Ležište dolomita „Đakovo“ administrativno pripada opštini Kraljevo i nalazi se na njenom rubu, u graničnom području sa opštinama Raška i Ivanjica. Na širem području i na samom ležištu „Đakovo“ zastupljena je kontinentalno-planinska klima sa dosta snežnih padavina.

Prva istraživanja ovog ležišta su bila od strane preduzeća „Geobiro“ iz Kraljeva i to 1966. godine, a nešto kasnije, 1970. godine, istraživanje nastavlja Komunalno preduzeće „Ibar“ iz Ušća Elaborat o rezervama dolomita na ovom području izradio je JP PEU-Resavica 2006. godine.

Eksploatacija dolomita ovog ležišta vrši se tehnologijom površinske eksploatacije. Istražni deo ležišta zahvata površinu od 509 695 m<sup>2</sup>. Površina je nepravilnog oblika sa dužom osom približno 850 m u pravcu jugoistok-severozapad i kraćom osom od oko 760 m u pravcu severoistok-jugozapad. Eksploataciono područje ima oblik mnogougla, slika 34.



Slika 34. Eksploataciono područje ležišta dolomita „Đakovo“ [133]

U istočnim delovima ležišta dolomita „Đakovo“ rudno telo je slojevite građe sa kompaktnim dolomitom koji ima karakteristični prelaz u dolomitski pesak prema jugozapadnim delovima ležišta. Slojevi dolomita imaju različitu debljinu i to od 60 m u centralnom delu ležišta do 3,5 m u obodnim delovima. Srednja debljina je 31,75 m. Kvalitet dolomita je ujednačen kada su u pitanju korisne komponente, dok sadržaj štetnih komponenti varira. posebno sadržaj  $Fe_2O_3$  [133].

Prema podacima iz 2006. godine, rezerve dolomita u ležištu „Đakovo“, iznose više od 24 miliona tona, tabela 11 [133].

Tabela 11. Bilansne rezerve ležišta dolomita „Đakovo“

<b>Kategorija*</b>	<b>Bilansne rezerve, t</b>
<b>B</b>	18 744 622
<b>C<sub>1</sub></b>	5 997 806
<b>B+C<sub>1</sub></b>	24 742 428

Godišnji kapacitet proizvodnje dolomita u ovom ležištu je 150 000 tona. U tabeli 12 prikazane su srednje ponderisane vrednosti parametara kvaliteta dolomita ležišta „Đakovo“ [133].

Tabela 12. Srednje ponderisane vrednosti parametara kvaliteta dolomita ležišta „Đakovo“

Belina	MgO,%	MgO,%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%	SiO <sub>2</sub> ,%	SO <sub>3</sub> ,%	G.Ž.%
A	B	C	D	E	F	G	X
91	21,38	30,57	0,20	0,57	1,57	0,05	45,48



### **Ležišta karbonatnih sirovina na teritoriji opštine Arandelovac.**

Opština Arandelovac teritorijalno zauzima središnji deo Šumadije. Nalazi se u slivnom područje gornjeg toka reke Kubršnice, najveće pritoke Jasenice, gornjih tokova Peštana i Turije, pritoka Kolubare, slivnog područja Bukulje i Bosute, pritoka Kačera, kao i gornjeg i središnjeg toka Misače, pritoke Milatovice. Središnji i jugoistočni deo teritorije čine planine Bukulja i Venčac, deo visoke Šumadije, a severni, blago zatalasani, deo niske Šumadije.

Raznovrsna geološka građa na teritoriji ove opštine uslovlila pojavu različitih ležišta, mineralnih sirovina i naslaga koje su od velikog ekonomskog značaja. Nemetalične mineralne sirovine Venčaca i Bukulje predstavljaju osnovu za različite grane industrije. Najveći značaj imaju mermeri sa Venčaca, krečnjak sa severnih padina Bukulje, zatim kaolinske i druge gline.

Na relativno malim površinama planine Venčac i brda Risovača nalaze se krečnjački oblici mezozojske starosti. Za njih je karakteristično da su samo mestimično vidljivi, jer se preko nalaze neogeni sedimenti koji su imali veliki značaj za odvijanje kraških procesa. Površinski kraški oblici reljefa, vrtače i škrape, javljaju se na Venčačkoj kraškoj oazi. Vrtače su prečnika 1-7 m i dubine 0,5-4 m na visini od 400-500 m. U severoistočnom delu brda Risovača nalaze se vrtače u zoni između 250 i 285 m, prečnika 10 m i dubine 0,3 do 10 m. Slabo su razvijene i javljaju se u paleozojskim mermerima i drugim karbonatnim stenama. Škrape su dužine 20-50 m i dubine 10-15 cm.

Na Venčacu su otkrivene najveće mase mermera devonskog porekla koji pripadaju najeksternijoj kontaktno-metamorfnoj zoni u okviru

bukuljskog granitoida. Mermeri su pretežno masivi ili bankoviti, a na kontaktu sa okolinom gotovo su redovno pločasti i listasti. Na severnim padinama Venčaca javljaju se dva raseda duž kojih se mermer kretao preko krednih sedimenata, pa je tektonski jako oštećen. Slojevi se pružaju od jugoistoka ka severozapadu menjajući pad [134].

**Ležište mermera „Venčac“.** Nalazi se na teritorije opštine Aranđelovac. Prvi kamenolom mermera počeo je sa radom 1904. godine. Poznato je da su meštani ovog kraja od davnina individualno vadili mermer i koristili ga za nadgrobne spomenike.

Zbog svog ekskluziviteta mermer sa planine Venčac danas je veoma tražen kako u našoj zemlji, tako i u svetu. Otkopani blokovi mermera su ugrađeni u mauzolej na Oplencu, zadužbini kralja Petra I Karađorđevića. Beli mermer Venčaca ukrašava trgove i spomenike u Njujorku, Parizu, Amsterdamu, Moskvi, Buenos Ajresu, Dakaru i Rimu. Takođe, fasada i enterijer jednog krila Bele kuće u Vašingtonu izgrađen je od mermera sa Venčaca, zatim postolje spomenika Slobode u Njujorku, veliki obelisk u centru Buenos Ajresa, kao i fasade aerodroma i muzeja u Kairu, Tokiju i Beogradu [135].

Aranđelovac je poznat po jedinstvenom parku Bukovičke Banje kao zaštićene celine sa arhitektonskim spomenicima kulture i velikom postavkom skulptura na otvorenom koje su napravljene od mermera sa Venčaca, slika 35. Takođe, park je jedna celina geometrijskog, francuskog, tipa sa retkim vrstama drveća.



a)



b)



c)



d)

Slika 35. Skulpture od belog mermera u parku Bukovičke Banje: a) Drago Tršar-Jugoslavija, „Krug života“-1976; b) France Rotar-Jugoslavija, „Rađanje“-1973; c) Ivan Kožarić-Jugoslavija, „Oblik-prostora“-1967 d) Jovan Kratochvil-Jugoslavija, „Plod“-1969. [136].

Osim upotrebe mermera kao blokova za oblikovanje u vajarstvu i kao dekorativnih ploča, on može da se prerađuje u tucanik i melje u rizlu, slika 36 [137].



Slika 36. Prirodni mleveni mermer – rizla [137]

Rezerve venčačkog mermera su prema istraživanjima skoro neiscrpne. Smatra se da samo do 50 m od površine terena, uz pretpostavku da se može koristiti 50 % mermera, geološke rezerve iznose 38 000 000 m<sup>3</sup> [138].

## **9. KRITERIJUMI ZA FORMIRANJE ZAKONSKIH REGULATIVA O KORIŠĆENJU MINERALNIH SIROVINA I ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE U REPUBLICI SRBIJI**

Eksploatacija mineralnih sirovina ima direktan uticaj na životnu sredinu. Aktivnosti koje se sprovode u sklopu rudarskih radova dovode do izmene postojećeg prirodnog stanja i izgleda područja gde se izvode, što direktno utiče izmenu kompletnog prirodnog ambijenta. Zbog toga je izuzetno važna detaljna analiza svih neophodnih rudarskih radova sa aspekta njihovog potencijalno negativnog uticaja na životnu sredinu.

Eksploatacija krečnjaka se najčešće vrši metodom površinskog otkopavanja. Na samom površinskom kopu postavljaju se postrojenja za usitnjavanje, drobljenje i mlevenje, sa odgovarajućim prosejavanjem i klasiranjem. Sva preduzeće koje se bavi eksploatacijom i preradom mineralnih sirovina imaju obavezu da svoj rad prilagode savremenim uređajima i tehnološkim linijama kako bi negativan uticaj na životnu sredinu bio što manji.

Savremeni pristup eksploataciji karbonatnih sirovina mora da ispunjava kriterijume održivog korišćenja, kako bi se izbeglo nekontrolisano eksploatisanje i nepovratna degradacija prirodnog ekosistema. Prilikom tehno-ekonomske analize otvaranja ležišta neophodno je, između ostalog, obratiti pažnju na dva bitna faktora: ekonomske efekte eksploatacije, sa jedne strane, i posledice na životnu sredinu, sa druge. Zbog toga, u zakonski uređenim društvima kao što je Republika Srbija, izuzetno je važna ekološka dozvola za eksploataciju. Ekološka dozvola za firmu koja želi da se bavi

eksploatacijom konkretne mineralne sirovine, na tačno određenoj lokaciji, ima za cilj da potvrdi visok nivo zaštite koji će biti sproveden, uključujući zaštitu vode, vazduha i zemljišta.

Imajući u vidu činjenicu da se karbonatne sirovine, između ustalog, u velikoj meri koriste za dobijanje građevinskog materijala sva preduzeća koja se bave njihovom eksploatacijom plaćaju naknadu za korišćenje nemetaličnih sirovina u svrhu dobijanja građevinskog materijala. Visinu naknade određuje Vlada Republike Srbije i jasno je definisana dokumentom koji se zove Uredba o visini naknade za korišćenje nemetaličnih mineralnih sirovina za dobijanje građevinskog materijala [139].

Analizirajući eksploataciju i pripremu krečnjaka, zatim njegovu upotrebu, transport i skladištenje, sa sigurnošću se može reći da se radi o ekološki prihvatljivoj sirovini sa svih aspekata, što je i potvrđeno određenim zakonskim regulativima i pravilnicima [140-142]. Naime, reč je o sirovini koja nije toksična, nije zapaljiva, radi se o čvrstoj sirovini i zato ne isparava, stabilna je do 600°C, nije bioakumulativna supstanca, nije opasna za vodotokove i životinjski svet u njima. Prema važećim odredbama vezanim za prevoz opasne robe ADR (drumski transport), RID (železnički transport), IMDG (morski transport) i IATA (vazdušni transport), transport krečnjaka se ne smatra opasnim transportom.

Sa aspekta skladištenja krečnjaka nisu poznate neželjene reakcije pod uslovom da se skladišti prema kriterijumima za skladištenje i rukovanje. Kriterijumi se odnose na to da se ne skladišti sa nekompatibilnim materijalima kao što su kiseline, jer na sobnoj temperaturi može doći do reakcije sa ovom vrstom hemikalija. Takođe, krečnjak ne treba izlagati temperaturama višim od 600 °C, jer se tada razlaže i nastaje kalcijum

karbonat i ugljen dioksid. Prilikom skladištenja voditi računa da krečnjak ne dođe u kontakt sa vodom i vlagom, jer se radi o hidrofilnoj sirovini (upija vodu i vlagu), pa brzo očvrсне.

Mere lične zaštite odnose se na zaštitu respiratornih organa i čula sluha, jer se prilikom miniranja i procesa pripreme stvara velika količina prašine i velika buka. Takođe, neophodno je da radnici nose zaštitne šlemove, rukavice, odgovarajuća radna odela i odgovarajuću obuću.

Eksploatacija mineralnih sirovina, uključujući i eksploataciju krečnjaka, danas je i u našoj zemlji i u svetu sve više okrenuta očuvanju životne sredine kao jednom od najvažnijih aspekata održivog razvoja. Imajući sve to u vidu nameće se kao zaključak da su sve strožiji kriterijumi za eksploataciju mineralnih sirovina s obzirom na njen uticaj na celokupnu životnu sredinu [143].

Republika Srbija ide u korak sa svetskim trendovima kada je rudarska praksa u pitanju sprovodeći mere koje dovode u ravnotežu tri bitne komponente, a to su: ekonomija-ekologija-sociološka komponenta. Doprinos rudarstva održivom razvoju je racionalnost u upravljanju mineralnim sirovinama kao jednim neobnovljivim resursom. Racionalnost se sprovodi kroz kompleksno planiranje upravljanja mineralno sirovinskim kompleksom kroz strateški dokument.

Strateški dokument je proizvod razvoja strategije upravljanja mineralno-sirovinskim kompleksom i ima sledeće 3 faze [143]:

1. Analiza stanja potencijala, rezervi, eksploatacije i potrošnje mineralnih sirovina;

2. Strategija upravljanja mineralno-sirovinskim kompleksom Republike Srbije u narednih 20 godina i

3. Programi, mere i aktivnosti za realizaciju strategije.

U okviru treće faze neophodno je stalno praćenje realizacije programa, mera i aktivnosti kao i njihovo inoviranje i aktuelizacija.

Kada se donose zakonske regulative za oblast rudarstva i eksploataciju mineralnih sirovina veoma je važno analizirati i porediti ih sa zakonskim regulativama za druge prirodne resurse u Srbiji kao što su vode, šume i poljoprivredno zemljište. Međutim, ono što treba uvek stavljati u prvi plan je činjenica da su mineralne sirovine jedini neobnovljivi prirodni resursi čija se lokacija ne može menjati. Takođe, u praksi se interes za eksploatacijom mineralnih sirovina najčešće sukobljava sa interesima zaštite navedenih resursa. Naime, postoji bitna razlika između zakonske regulative iz oblasti rudarstva, koja je pretežno usmerena na odvijanje privredne delatnosti i to najvećim delom na njen tehnički aspekt, dok regulativa drugih srodnih oblasti u središte interesa stavlja osnove upravljanja resursom, zatim zaštitu resursa, finansiranje vezano za resurs i na samom kraju privrednu delatnost [143].

Prilikom formiranja Strategije upravljanja mineralno-sirovinskim kompleksom Republike Srbije polazne osnove prve faze su: geološki potencijali i geološke rezerve; eksploatacija mineralnih sirovina; zaštita životne sredine, zdravlja i bezbednost na radu; zakonski i institucionalni okvir i obrazovni sistem. Na osnovu detaljne analize postojećeg stanja formira se nacrt politike eksploatacije mineralnih sirovina koji je dalje okvir za definisanje Strategije upravljanja mineralno-sirovinskim kompleksom.



Ova strategija je nacionalnog karaktera i sastavni je deo Strategije privrednog razvoja Republike Srbije [143].

Kada se govori o položaju Republike Srbije i oblasti rudarstva u odnosu na druge, naša zemlja uspeva da drži korak sa ostalim evropskim državama i aktivno učestvuje u zajedničkim projektima. Treba istaći da je tokom 2009. godine naša zemlja, sa još 10 evropskih zemalja, bila učesnica trogodišnjeg evropskog projekta „Održivo upravljanje kamenim agregatima-SARMA (Sustainable Aggregates Resource Management) na području jugoistočne Evrope“ [144].

Za pilot područje izabrano je ležište krečnjaka „Kovilovača“ kod Despotovca. Ovo ležište je izabrano zbog sledećih karakteristika u poslovanju: evropskog nivoa organizovanosti i proizvodnje agregata, prihvatanju skoro svih evropskih preporuka u sistemu i načinu rada, primenjenog ISO standarda, sopstvenih inovacija u proizvodnji, društveno odgovornog poslovanja i konstantnog usavršavanje u radu.

Projekat je imao dva osnovna cilja [144]:

1. Razvijanje zajedničkog usklađenog pristupa održivom upravljanju kamenim agregatima (tehničko-građevinski kamen, građevinski šljunak i pesak) na prostoru jugoistočne Evrope.

2. Ostvarivanje održivog snabdevanja kamenim agregatima na prostoru jugoistočne Evrope, na temelju racionalne distribucije troškova i prihoda pri proizvodnji kamenih agregata, upotrebe, odlaganja jalovine i recikliranja, potrošnje sirovina i energije i poboljšanja kvaliteta življenja.

Aktivnosti tokom sprovođenja projekta definisane su tako da povezuju institucije, donosiocce odluka, sprovodiocce politike, ekonomski sektor, koncesionare, civilno društvo i nevladin sektor, a sve kroz organizaciju radionica i širenje rezultata putem publikacija i interneta. Treba istaći da su ciljevi projekta bili jasno definisani i na lokalnom i na nacionalnom ili regionalnom nivou [144].

Na lokalnom nivou bilo je važno ostvariti sledeće ciljeve: optimizacija efikasnosti proizvodnje primarnih agregata, smanjenje uticaja eksploatacije na životnu sredinu i poboljšanja metoda sanacije, smanjenje nelegalne eksploatacije podizanjem svesti u smislu odgovornog društvenog ponašanja, naglašavanje potrebe za recikliranjem građevinskog otpada i jalovine i povećanje sposobnosti (znanja) zainteresovanih grupa.

Ciljevi na nacionalnom ili regionalnom nivou odnosili su se na sledeće: ocena i utvrđivanje dostupnosti kamenih agregata i relevantna transportna povezanost, razvijanje strategije za održivo upravljanje kamenim agregatima, uključujući zaštićena područja (nacionalne parkove, parkove prirode, nacionalne ekološke mreže), preporuke za upravljanje mineralnim sirovinama na nivou prostornih planova jedinica lokalne samouprave u svrhu osiguranja pristupa, ali i zaštite vrednih mineralnih sirovina u procesu upravljanja zemljištem, razmenu iskustava i harmonizaciju pristupa u okruzima (opštinama), razvijanje preporuka i izrada uputstva za planiranje održivog upravljanja mineralnim sirovinama.

Projektom su bili obuhvaćeni i transnacionalni ciljevi: izrada preporuka za metod usaglašenog održivog upravljanja kamenim agregatima na nivou regija i čitavog prostora jugoistočne Evrope i izrada

višenamenskog integrisanog sistema upravljanja agregatima (Aggregates Intelligence System-AIS) kao dugoročnog alata za transfer iskustva i znanja.

Doprinos održivom razvoju i racionalnijem korišćenja resursa koji ne poznaju granice moguće je ostvariti povezivanjem zemalja određene regije, bilo preko zajedničkih projekata, bilo na neki drugi način. Takođe, izuzetno je važno preduzimanje zajedničkih mera usmerenih ka zaštiti životne sredine koje samo na taj način mogu imati pozitivne efekte u pravom smislu te reči. Transnacionalno partnerstvo stručnjaka i višeslojni institucionalni okviri omogućavaju prenos znanja i praktičnog iskustva iz razvijenih zemalja prema onima sa manje iskustva ili kapaciteta. Interes za najboljim dostupnim praksama u upravljanju mineralnim sirovinama dolazi od koncesionara (proizvođača), državne administracije i lokalnih zajednica, a u svrhu povećanja efikasnosti same države [144].

Projekat SARMA je bio prvi međunarodni projekat na prostoru jugoistočne Evrope koji je imao za cilj unapređenje održivog upravljanja mineralnim sirovinama. Zbog toga je imao veliki značaj i za našu zemlju i za region u celini. Aktivnosti vezane za upravljanje mineralnim sirovinama odvijale su se u svim državama i regijama odakle su bili partneri na projektu. I pored toga, ni do danas, nije u potpunosti jasno definisana politika i metode pristupa održivom upravljanju i planiranju dostupnosti mineralnih resursa, naročito kamenih agregata. Međutim, kao odličan temelj da se ovaj deo aktivnosti postepeno uredi su projekti koji su nastali kasnije, kao i studije i ekspertize koje su napravili partneri i njihovi saradnici koji su učestvovali na prvom projektu ove vrste [144].

Sve ovo ukazuje na složenost problematike održivog razvoja i korišćenja mineralnih sirovina i sprovođenja mera zaštite životne sredine.

Kako je čovek deo prirode, to je njegova uloga dvostruka: odgovoran je kako za njeno održivo korišćenje, tako i za sprovođenje mera njene zaštite.

Naša zemlja je trenutno u tranziciji i periodu ekonomskog oporavka koji je u usponu i svi mi sa svojih pozicija moramo da damo doprinos uređenju i razvoju onih sektora kojima pripadamo da bi krajnji rezultat bilo potpuno uređenje državnog sistema. Mineralne sirovine moraju da se tretiraju kao strateške sirovine svake zemlje, jer one imaju ogroman udeo u razvoju privrede zemlje.

U Republici Srbiji je neophodno da se što pre prevaziđu problemi u oblasti rudarstva i geologije koji se odnose na zastarele propise i procedure, kao i komplikovane procedure u zaštiti životne sredine. Takođe, društvo mora na pravi način da razume potrebu za stalnim usavršavanjem stručnjaka na svim nivoima obrazovanja i da ih u tome podrži.

## **10. ANALIZA MOGUĆNOSTI RECIKLAŽE MATERIJALA NA BAZI KREČNJAKA**

Karbonatne mineralne sirovine imaju izuzetno veliku primenu u mnogim industrijskim granama, kao i u različitim oblastima ljudskih kreativnih aktivnosti. Shodno tome nastaju i znatne količine otpada koji sadrži ove mineralne sirovine. Međutim, treba izdvojiti kao posebnu kategoriju otpada građevinski otpad imajući u vidu da se u oblasti građevinske industrije ove sirovine puno koriste. Velike količine otpada koji sadrži materijale na bazi krečnjaka, kreča, kamena i kamenih agregata nastaju rušenjem dotrajalih stambenih objekata, rekonstrukcijom saobraćajnica, mostova i kompletne putne infrastrukture stvaraju.

Građevinski otpad, koji je vremenom postao veliki ekološki problem u većini zemalja širom sveta, pa tako i sve vidljiviji problem i u našoj zemlji, nastajao je uporedo sa razvojem građevinske industrije. Ova vrsta otpada najčešće nastaje tokom izgradnje objekata, njegovog korišćenja, a zatim rušenja kad objekat prestane da se koristi. Osnovni razlog koji je doveo do nastajanja problema ove vrste je, nesumnjivo, odsustvo svesti čoveka o posledicama po životnu sredinu koje nastaju stvaranjem velikih količina otpada i njegovim nepropisnim odlaganjem. Sve je to uticalo da se razvijene zemalja ozbiljno posvete rešavanja ekoloških problema dajući veliki značaj održivom razvoju i uvođenju postupaka reciklaže otpada.

U našoj zemlji postoji Zakon o upravljanju otpadom. Prema ovom zakonu opšta definicija otpada podrazumeva kako otpad koji nastaje tokom

gradnje, tako i otpad koji nastaje rušenjem dotrajalih objekata. U skladu sa tim otpad je definisan kao otpad koji nastaje u toku obavljanja građevinskih radova na gradilištima ili pripremnim radovima koji prethode građenju objekata, kao i otpad nastao usled rušenja i rekonstrukcije objekata [145]. Zakon o upravljanju otpadom ima cilj da uredi oblast koja se bavi otpadom, od njegovog nastanka, ispravnog deponovanja i mogućnosti reciklaže. Odredbama zakona uređuju se sledeće aktivnosti:

1. Upravljanje otpadom na način kojim se ne ugrožava zdravlje ljudi i životna sredina;
2. Prevencija nastajanja otpada, posebno razvojem čistijih tehnologija i racionalnim korišćenjem prirodnih bogatstava;
3. Ponovno iskorišćenje i reciklaža otpada, izdvajanje sekundarnih sirovina iz otpada i korišćenje otpada kao energenata;
4. Razvoj postupaka i metoda za odlaganje otpada;
5. Sanacija neuređenih deponija otpada;
6. Praćenje stanja postojećih i novoformiranih deponija otpada i
7. Razvijanje svesti o upravljanju otpadom.

Da bi se Zakon o upravljanju otpadom primenio na pravi način u praksi, izuzetno je važno analizirati sve aktivnosti i redosled njihovog sprovođenja. Nedostatak dobrog plana koji uključuje i listu prioriteta može da dovede do jednog haotičnog delovanja koji neće dati dobre rezultate. Redosled aktivnosti baziran na logičnom i jedino ispravnom pristupu koji će dati dobre rezultate u upravljanju otpadom je sledeći: prevencija, priprema za ponovnu upotrebu, reciklaža, ostale operacije ponovnog iskorišćenja (u cilju dobijanja energije i dr.) i kao poslednja opcija odlaganje na deponije.

Kada se govori o ponovnoj upotrebi i ponovnom iskorišćenju otpada (Član 38 navedenog Zakona), strogo je zabranjeno odlaganje i spaljivanje otpada koji ispunjava standarde za ponovnu upotrebu ili ponovno iskorišćenje, ali da je dozvoljeno ukoliko je to ekonomski opravdano i ne ugrožava zdravlje ljudi i životnu sredinu, uz prethodno pribavljenu dozvolu nadležnog ministarstva.

Na godišnjem nivou u Srbiji se, prema dostupnim podacima, stvara od 1 milion do 1,5 miliona m<sup>3</sup> građevinskog otpada. U našoj zemlji je reciklažna industrija prilično nerazvijena, a u prilog tome govori podatak da se svega 15 % ukupnog otpada (u koji spada i građevinski otpad) reciklira, što je izuzetno mali procenat u poređenju sa razvijenim zemljama. Prema podacima Asocijacije za zaštitu životne sredine, na teritoriji naše zemlje registrovano je 134 deponije na kojima se odlaže građevinski otpad [145]. Takođe, treba naglasiti, da kod nas skoro da nema deponija koje su isključivo namenjene za odlaganje otpada nastalog tokom izgradnje novih objekata i rušenja starih. Zbog toga se na istoj deponiji može naći otpad različitog porekla kao što je komunalni, ambalažni, električni, poljoprivredni, metalni, opasni otpad kao i građevinski. Ono što je evidentno na svakom koraku su divlje deponije čije su lokacije najčešće priobalni delovi reka i prostor duž velikih saobraćajnica, a nastale su uglavnom nepropisnim odlaganjem građevinskog otpada.

Naša zemlja je nedovoljno razvijena u pogledu reciklaže građevinskog otpada. Podaci ukazuju na činjenicu da se takav otpad ne posmatra kao potencijal za preradu i ponovnu upotrebu za određenu namenu. Prema navodima Srpske asocijacije za rušenje, dekontaminaciju i reciklažu, potrebno je da se implementiraju postojeće regulative evropskih

zemalja koje daju uspješne rezultate iz ove oblasti [145]. Međutim, njihova implementacija neće dati dobre rezultate sve dok se ne pristupi na isti način, kako sprovođenju zakona, tako i sprovođenju kaznenih mera zbog njegovog nepoštovanja.

Aktivnosti u zemljama Evropske Unije koje se odnose na ponovnu upotrebu građevinskog otpada dale su dobre rezultate, pa se mogu sprovesti i u našoj zemlji, a to su [146]:

1. Formiranje odvojenih deponija za svaku pojedinačnu vrstu građevinskog otpada;
2. Planiranja i kontrola zaštite životne okoline;
3. Finansijska podrška projektima za istraživanje i razvoj iz ove oblasti;
4. Razvijanje svesti kod investitora, projekatanta i izvođača kao i finansijske olakšice;
5. Savetodavna podrška usmerena prema recikliranju građevinskog otpada;
6. Donošenje pravnih i zakonskih regulativa u oblasti iskorištenja građevinskog otpada;
7. Građenje postrojenja za recikliranje građevinskog otpada i ponovna primena u izgradnji.

Velike količine građevinskog otpada nastaju ne samo rušenjem i rekonstrukcijom objekata već i tokom gradnje. Zbog toga je neophodno stalno prćenje i analiziranje nastalog otpadnog materijala u cilju kontrolisanog prikupljanja, selekcije, odnosno, sortiranja, zbrinjavanja i recikliranja. U oblasti građevinske industrije otpad se može podeliti u nekoliko grupa i to:



1. Zemlja, pesak, šljunak, glina, ilovača, kamen kao posledica zemljanih radova i iskopavanja tla;

2. Bitumen (asfalt), ili cementom vezani materijal, pesak, šljunak, drobljeni kamen kao posledica građenja objekata niskogradnje;

3. Beton, opeka, malter, gips, plinobeton, prirodni kamen kao posledica izvođenja objekata visokogradnje;

4. Drvo, plastika, papir, karton, metal, kablovi, boja, lak i drugi mešani otpad na gradilištu kao posledica ostalih građevinskih operacija.

Građevinski otpad se prema sadržaju agresivnih komponenti može svrstati u tri grupe:

1. Agresivan i potencijalno agresivan materijal u otpadu (azbest, olovo, katran, boja, zaštitni premazi, lepila, veziva, neke plastike);

2. Inertni (mineralni) građevinski materijal i otpad (opeka, crep, beton i sl.) i

3. Neinertna grupa građevinskog materijala koji kao ugrađeni nemaju osobine agresivnih, dok u zavisnosti od načina odlaganja mogu da poprime te osobine.

Recikliranje uključuje prikupljanje, ponovnu preradu i vraćanje materijala u primarni ili sekundarni krug proizvodnje građevinskih materijala. Osnovni ciljevi reciklaže i ponovne upotrebe građevinskog otpada su [147]:

1. Smanjenje velikih količina otpada koji nastaju rušenjem, rekonstrukcijom i izgradnjom građevina, a koji bi završio na deponiji, uključujući i divlje deponije i

2. Očuvanje mineralnih sirovina koje bi bile utošene u proizvodnji novih materijala.

U okviru reciklaže materijala neophodno je sprovesti procese obeležavanja, sortiranja, prikupljanja, lomljenja i ispitivanja kako bi se dobili agregati koji mogu ponovo da se koriste u različitim oblastima građevinarstva. To je najčešće u izgradnji saobraćajnica, zatim prilikom uređenja zemljišta i kao agregat za betonske proizvode.

Prema vremenu izvođenja reciklaža obuhvata aktivnosti koje se mogu podeliti u dve grupe i to:

1. Reciklaža u fazi pripreme objekta za rušenje obuhvata postupke sortiranja i odlaganja materijala koji imaju upotrebnu vrednost u zatečenom obliku kao što su crep, vrata ili prozori i koje treba sačuvati da ne dođe do njihovog oštećenja tokom rušenja. Takođe, u fazi pripreme objekta za rušenje potrebno je ukloniti sve ono što može da dovede do trajnog zagađenja životne sredine kao što je plastika, staklo, bitumen i drugo.

2. Reciklaža u fazi obrade materijala posle rušenja obuhvata sve postupke usitnjavanja: drobljenje sa prosejavanjem i mlevenje sa klasiranjem, zatim uređaji za čišćenje vodom ili vazduhom i zbrinjavanje sekundarnih sirovina (metal, plastika, staklo i dr.) [146, 147].

Da bi se postigao što veći stepen reciklaže građevinskog otpada neophodno je da se ispune sledeća četiri preduslova [147]:

1. Osigurati kvalitetno upravljanje deponijama gde nekontrolisano odlaganje otpada mora biti potpuno izbegnuto i podvrgnuto sankcijama;

2. Podrška firmi koja se bavi čuvanjem otpada na deponiji, s tim da će trošak biti mnogo veći ako se radi o opasnom (štetnom) ili mešanom otpadu (treba sprečiti kontaminaciju/zagađenje i mešanje otpada);

3. Treba da postoje mogućnosti za jednostavnu obradu, lomljenje i sortiranje najveće frakcije inertnog građevinskog otpada pre ponovne upotrebe ili recikliranja i

4. Podsticati primenu agregata dobijenih iz građevinskog otpada i ne umanjivati njihov kvalitet zbog toga što su nastali postupkom reciklaže.

Razvoj i primena složenih tehnologija recikliranja građevinskog otpada direktno zavisi od ispunjenosti navedenih preduslova. U sklopu kompleksnih postrojenja za reciklažu mogu se nalaziti i postrojenja za sortiranje otpada ne samo na gradilištu već van samog gradilišta. Ovo ukazuje na činjenicu da su postrojenja za reciklažu i primenjena tehnička rešenja sastavni deo složenog sistema upravljanja otpadom. Međutim, ne znači da samo složeni sistemi reciklaže, koncipirani kao veliki centri, mogu da daju dobre rezultate. Nekada je dovoljna samo jednostavna mobilna drobilica za usitnjavanje i deo problema može biti rešen. Izbor načina reciklaže koji će biti primenjen zavisi od uslova na terenu gde se nalazi građevinski otpad, kao i od vrste i količine građevinskog otpada koji treba reciklirati [147].

Sistematizacija podataka o izvorima, sastavu, količini otpada i njegovim tokovima je uslov za uspostavljanje održive tehnologije za sortiranje, reciklažu i ponovnu upotrebu građevinskog otpada. Takođe, navedeni podaci su neophodni da bi se predvideo i isplanirao kapacitet postrojenja za reciklažu prema količini i vrsti otpada koji se obrađuje.

Postoje tri nivoa tehnologije recikliranja u zavisnosti od tehnoloških, organizacionih i finansijskih mogućnosti, kao i od vrste građevinskog otpada koji se obrađuje u postrojenjima za reciklažu i to [147]:

1. Tehnologija „Nivo 1“ - primenjuje se u uslovima kada je cena deponovanja materijala niska, kada je primarni agregatni materijal jeftin i kada je veoma mali broj drobilica koje mogu da se koriste za dobijanje agregata od postojećeg građevinskog otpada. Uređaji koji se koriste u ovoj tehnologiji su mobilna drobilica i postrojenje za prosejavanje.

2. Tehnologija „Nivo 2“ - podrazumeva tehnologiju „Nivo 1“ uz dodatne postupke uklanjanja metala i složenije sortiranje, a samim tim i prosejavanje.

3. Tehnologija „Nivo 3“ – obuhvata tehnologiju „Nivo 2“ uz dodatno ručno sortiranje, zatim podrazumeva postrojenje za pranje kao i postrojenje za druge vrste građevinskog otpada kao što je, na primer, drvo.

Koliko će biti razvijena reciklažna industrija u nekoj zemlji zavisi od toga koji se od navedena tri nivoa tehnologije reciklirnja primenjuje. Podaci o reciklaži građevinskog otpada u zemljama članicama Evropske Unije su pokazali da države koje za reciklažu koriste tehnologiju „Nivo 1“ zadovoljavaju samo neke od navedena četiri preduslova za podizanje nivoa reciklaže građevinskog otpada. Zemlje koje koriste tehnologiju „Nivo 2“ zadovoljavaju sva četiri preduslova, ali ne i više od toga. Korišćenje tehnologije „Nivo 3“ karakteristično je za zemlje u kojima se sprovede različite administrativne mere i kontrole zbog povećanja obima reciklaže građevinskog otpada. U ovim zemljama se pored reciklaže građevinskog otpada mineralnog porekla, podstiče i reciklaža drveta i plastike [147].

Iskustva pojedinih zemalja su pokazala da je nekada neophodno kombinovati dve tehnologije u cilju postizanja boljih rezultata. Tako, na primer, kombinacija tehnologija „Nivo 1“ i „Nivo 2“, u slučaju reciklaže

inertnog građevinskog otpada, daju dobre rezultate u delu efikasnosti korišćenja resursa. Efikasnost korišćenja resursa kod reciklaže inertnog građevinskog otpada podrazumeva smanjenje potrebe za prostorom za deponiju i materijal, koji ne može ponovo da se upotrebi ili reciklira iz ekonomski opravdanih razloga. Zbog toga se takav materijal i dalje odlaže na tu istu deponiju, odnosno ostaje tu gde se i prvobitno nalazio.

Stepen razvijenosti tehnologija za reciklažu građevinskog otpada jedne zemlje direktno zavisi od planiranog broja postrojenja za reciklažu kao sastavnog dela plana za upravljanjem otpadom. Koji će se plan upravljanja otpadom primeniti zavisi od izveštaja koji se prave na godišnjem nivou pri čemu obavezno moraju da sadrže činjenice i brojne vrednosti vezane za prevenciju, recikliranje (drobljenje i sortiranje), spaljivanje i odlaganje otpada. U razvijenim zemljama na snazi su ekonomske mere i zakonski propisi za preduzeća čija je delatnost vezana za oblast građevinarstva i aktivnosti koje stvaraju velike količine otpada. Takođe, razvoju i sprovođenju procesa reciklaže doprinosi i povećanje naknada za odlaganje građevinskog otpada [147].

Treba naglasiti da je u svim zemljama neophodno konstantno podizanje nivoa svesti o značaju ponovnog korišćenja recikliranog materijala. Takođe, važno je da javnost bude upoznata gde i kako reciklirani građevinski otpad može da se upotrebi. Prema procenama stručnjaka sirovina dobijena reciklažom građevinskog otpada može da se koristi kao materijal za noseće slojeve prilikom izrade puteva, zatim kao dodatak mešavinama za asfalt i beton ili za izradu betonskih elemenata. Kako bi se na pravi način promovisala celokupna strategija upravljanja građevinskim otpadom u svakoj zemlji je neophodna sistematizaciju svih kompanija i

firmi koje obavljaju delatnost rušenja postojećih objekata i nastali građevinski otpad dalje podvrgavaju postupcima reciklaže.

Evropske zemlje koje imaju najrazvijeniju reciklažnu industriju građevinskog otpada su Holandija, Belgija i Danska sa više od 80% recikliranog građevinskog otpada i otpada od rušenja. Iskustva ovih zemalja mogla bi da se iskoriste za uređenje ove oblasti i u našoj zemlji. U Republici Srbiji oko 80 % građevinskog otpada može da bude reciklirano [147]. Da bi se ovaj problem rešio potrebna su velika ulaganja kako u domenu razvoja tehnologije za reciklažu, tako i u podsticaj svih subjekata da prihvate reciklažu otpada kao obavezni deo svojih aktivnosti. Imajući u vidu veliki broj divljih deponija koje sadrže otpad iz oblasti građevinarstva, a naravno i otpad drugog porekla, razvoj industrije za reciklažu ne samo da bi značajno doprineo privrednom razvoju i otvaranju novih radnih mesta, već i zaštititi životne sredine.

Ohrabruje činjenica da se danas u skladu sa aktuelnim konceptom održivog razvoja uređuje i oblast građevinarstva, pri čemu se razvija savremeni pristup rešavanju problema reciklaže materijala. Održivi razvoj u oblasti građevinske industrije, pored ostalog, podrazumeva proizvodnju i primenu recikliranog materijala, a posebno betona za koji je poznato da sadrži komponente na bazi kalcijum karbonatnih sirovina. Proizvodnja betona, kao potencijalno ekološkog ili „zelenog“ materijala, generalno ima određene nedostatke. Na prvom mestu je veliki utrošak energije prilikom pravljenja betona, kao i proizvodnje komponentnih materijala (cementa, agregata, hemijskih i mineralnih dodataka). Zato je način primene poznatog principa „3R“ (Reduce, Recycle, Reuse) u ovoj oblasti veoma značajan. Cilj

je smanjiti potrošnju energije i stepen zagađenja (Reduce), ponovo koristiti stari beton (Recycle) kao agregat za novi beton (Reuse) [148].

Kvalitet betona dobijenog od recikliranog agregata zavisi od fizičko-hemijska svojstava samog agregata kao što su: upijanje vode, zapreminska i specifična masa, količina sitnih, prašinih čestica, sadržaj organskih i eventualno štetnih materija, drobljivost, otpornost na habanje i otpornost prema dejstvu mraza. Upoređivanjem fizičko-hemijska svojstava recikliranih i prirodnih agregata zaključuje se da reciklirani agregati imaju nešto lošija svojstva. Lošija fizičko-hemijska svojstva su u direktnoj vezi sa sastavom recikliranog agregata. Imajući u vidu da reciklirani agregat nastaje drobljenjem već korišćenog betona („starog“ betona) u njegov sastav ulazi originalni agregat koji je već bio upotrebljen i sloj maltera koji zaostaje nakon drobljenja. Zbog toga je, na primer, upijanje vode kod recikliranog agregata znatno veće nego kod prirodnog. Koliko će biti izraženo upijanje vode kod recikliranog agregata zavisi od vrste prvobitnog (originalnog) agregata, čvrstoće prvobitnog betona i sadržaja najkрупnijih zrna agregata u prvobitnom betonu. Na veću poroznost recikliranog agregata u odnosu na poroznost prirodnog utiče sloj zaostalog maltera koji obavlja zrno recikliranog agregata. Sa druge strane, poroznost maltera zavisi od vodocementnog faktora betona koji je recikliran [148].

Veoma veliki uticaj na svojstva betona dobijenog od recikliranog agregata ima i postupak usitnjavanja recikliranog agregata. Naime, od načina drobljenja betona nastalog rušenjem nekog objekta, kao i od dimenzija recikliranog agregata, zavisi količina malterske komponente koja zaostaje na zrnu recikliranog agregata. Takođe i tekstura drobljenog agregata zavisi od načina drobljenja, odnosno, vrste i tipa upotrebene

drobilice. Oblik zrna recikliranog agregata je mnogo nepravilniji nego kod prirodnog agregata, a površina hrapavija. Za reciklirani agregat je karakteristična ispucala površinu, što ima za posledicu povećanu propustljivosti vode i vazduha između cementne paste i agregata. Iz tih razloga i beton napravljen sa recikliranim agregatom ima veću propustljivost vode, gasova i pare u odnosu na beton sa prirodnim agregatima [148].

Analizirajući postupke reciklaže, proizvode koji se pri tome dobijaju i njihovu upotrebu umesto proizvoda dobijenih direktnom preradom prirodnih mineralnih sirovina, zaključuje se da razvoj i podsticaj razvoja tehnologija za reciklažu doprinose očuvanju prirodnih resursa. Većina razvijenih zemalja se aktivno bavi razradom strategije i sprovođenjem mera kako bi se sačuvali prirodni resursi, jer je njihovo iscrpljivanje i nekontrolisana eksploatacija problem na globalnom nivou. Kao jedan od strateških ciljeva razvijenih zemalja, koji je dao dobre rezultate u praksi, je podsticaj održivosti prirodnih resursa putem reciklaže, korišćenja sekundarnih sirovina, razvoja alternativnih tehnologija i zamena neobnovljivih resursa.

Naša zemlja treba da sledi dobra iskustva i pozitivne rezultate razvijenih zemalja u cilju podizanja nivoa reciklažnih tehnologija kod nas. Pojedine države su već uvele posebne takse i novčane naknade kako bi podstakle postupak recikliranja. Naime, uvedene su takse na otpad koji se ne reciklira već se odlaže na deponijama. Zbog toga je cilj svih onih industrija koje stvaraju otpad njegovo uvođenje u ciklus reciklaže i ponovna upotreba za određene namene, a ne odlaganje i formiranje deponija.



## **11. LITERATURA**

- [1] **S. R. Mihajlović**, M. S. Blagojev, Eksploatacija prirodnih resursa u funkciji održivog razvoja, Zbornik radova, V naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „Politehnika“, Beograd, Srbija, 13 decembar 2019, 188-192, ISBN 978-86-7498-081-1. Izdavač: Beogradska politehnika, Beograd.
- [2] B. Milenović, Ekološka ekonomija, ekonomski razvoj i životna sredina, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu, Niš, 1996.
- [3] R. Pešić, Ekonomija prirodnih resursa i životne sredine, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, Beograd, 2002, ISBN 86-80733-30-X.
- [4] N. Štrbac, M. Vuković, D. Voza, M. Sokić, Održivi razvoj i zaštita životne sredine, Reciklaža i održivi razvoj, 5, 2012, 18-29, ISSN 1820-7480.
- [5] Brundtland Report, 1987.  
<http://www.un-documents.net/our-commonfuture.pdf>.
- [6] B. Ilić, D. Mihajlović, A. Omanović, Upravljanje prirodnim resursima i njihova održivost, Zbornik radova, VI Međunarodni simpozijum upravljanja prirodnim resursima, Zaječar, Srbija, 25-26 jun 2016, 292-299, ISBN 978-86-7747-542-0, Izdavač: Fakultet za menadžment Zaječar i John Naisbitt Univerzitet Beograd.
- [7] **S. Mihajlović**, V. Jovanović, Ž. Sekulić, V. Kašić, Principi održivog razvoja kao direktni faktori u zaštiti životne sredine, Zbornik radova, VI Savetovanje sa međunarodnim učešćem: „Zaštita životne sredine i

održivi razvoj“, “Rudarstvo i energetika 2018“, Sremski Karlovci, Srbija, 28.-30. mart 2018, 59-63, ISBN:978-86-80420-16-5, Izdavač: Privredna komora Srbije.

- [8] [http://www.rsjp.gov.rs/9.9\\_nacionalna\\_strategija\\_odrzivog\\_koriscenja\\_prirodnih\\_resursa\\_i\\_dobara.pdf](http://www.rsjp.gov.rs/9.9_nacionalna_strategija_odrzivog_koriscenja_prirodnih_resursa_i_dobara.pdf)
- [9] V. Đorđević, P. Đorđević, D. Milovanović, Osnovi petrologije, Nauka, Beograd, 1991.
- [10] P. Đorđević, V. Jovanović, V. Cvetković, Primenjena geologija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1996.
- [11] S. Boggs, Petrology of Sedimentary Rocks, Ed. 2, Cambridge University Press, Oregon, 2009.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511626487>
- [12] D. Petrović, P. Manojlović, Geomorfologija, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd, 2003.
- [13] M.R. Smith, Stone: Building stone, rock fill and armourstone in construction, Ed. 1, Geological Society Engineering Geology Special Publications, London, 1999.  
[doi:10.1144/GSL.ENG.1999.016.01.14](https://doi.org/10.1144/GSL.ENG.1999.016.01.14)
- [14] J. Pavlica, D. Draškić, Priprema nemetalnih mineralnih sirovina, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1997.
- [15] R.L. Folk, Sedimentary rock, Earth Sciences, Geologic Time & Fossils, Ed. Britannica, 2020  
<https://www.britannica.com/science/sedimentary-rock>
- [16] K. Bucher, R. Grapes, Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Chapter Metamorphism of Dolomites and Limestones, pp 225-255, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2011

- [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74169-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74169-5_6)
- [17] <https://sr.wikipedia.org/>
- [18] V. Jovanović, D. Srećković-Batoćanin, Osnovi geologije, Zavod za udžbenike, Beograd, 2006.
- [19] M.A. Kobliška, M.B. Zeković, Tehnologija materijala u rudarstvu, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1979.
- [20] Ž. Sekulić, Kalcijum karbonatne i kvarcne mineralne sirovine i njihova primena, ITNMS, Beograd, 2011.
- [21] M. Tomašević-Čanović, N. Canić i saradnici, Domaće nemetalične sirovine za primenu u privredi, ITNMS, Beograd, 1993.
- [22] S. Janjić, P. Ristić, Mineralogija, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [23] **S. R. Mihajlović**, Ž. T. Sekulić, B. M. Kolonja, D. S. Radulović, Reactions of the calcite in water in the presence of stearic acid, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 3, 2015, 129-136, ISSN 2334-8836, DOI:10.5937/MMEB1503129M. Published by: Mining and Metallurgy Institute Bor  
<http://www.irmbor.co.rs/index.php/sr/izdavastvo/casopis-mining-and-metallurgy-engineering-bor>
- [24] [www.chemicalland21.com](http://www.chemicalland21.com)
- [25] <https://www.asturnatura.com/fotografia/minerales/calcita-de-mina-moscona-3/25300.html>
- [26] <https://www.reade.com/products/dolomite-powder>
- [27] <https://geology.com/minerals/dolomite.shtml>
- [28] D. Babić, Mineralogija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2003.
- [29] Foto: [rtem/shutterstock.com](http://rtem/shutterstock.com)

- [30] <http://www.putevi-ivanjica.rs/sektorpovrsinskeeksploatacijekamenolomi.html>
- [31] D. Knežević, Priprema mineralnih sirovina, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2001.
- [32] <http://www.zkcomp.com/Crushing/1309.html>
- [33] <https://www.indiamart.com/>
- [34] <http://strommashina.com/category/vertical-roller-mills/>
- [35] [https://www.testsieves.org/grid\\_sieves.html](https://www.testsieves.org/grid_sieves.html)
- [36] <https://yongqing-sieving.en.made-in-china.com>
- [37] <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/limestone-market>
- [38] D. Draškić, Industrijska primena pripreme mineralnih sirovina, Izdavačko-informativni centar studenata, Beograd, 1975.
- [39] **S. R. Mihajlović**, Ž. Sekulić, D. Radulović, D. Stevanović, V. Kašić, Hidrofobizacija krečnjaka iz ležišta „Cancar” Arandjelovac upotrebom stearinske kiseline, „Tehnika“, 66, 6, 2015, 943-946, DOI:10.5937/tehnika1506943M, ISSN 0040-2176. Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije
- [40] **S. R. Mihajlović**, Ž. T. Sekulić, V. D. Kašić, M. D. Sokić, M. S. Blagojev, Preliminarna ispitivanja i ocena primenljivosti krečnjaka „Sibnička Čukara“-opština Rekovac, Tehnika, 3, 2019, 378-387, ISSN 0040-2176. Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije
- [41] P. Gatt, Assessing limestone quality for the construction industry in Malta: A geological perspective, Naval Architect, January 2005, 20-21. <https://www.researchgate.net/publication/266139464>
- [42] **S. R. Mihajlović**, Ž. T. Sekulić, D. R. Vučinić, V. D. Jovanović, B. M. Kolonja, Ispitivanje mehaničkih osobina polivinil-hlorida sa dodatkom

- modifikovanog kalcita kao punioca, *Hemijska industrija*, 66, 5, 2012, 787–794, ISSN 0367-598X. DOI: 10.2298/HEMIND111115025M.  
Izdavač: Savez hemijskih inženjera, Beograd  
[http://www.ache.org.rs/HI/HI\\_sadrzaj.html](http://www.ache.org.rs/HI/HI_sadrzaj.html)
- [43] **S. R. Mihajlović**, D. Vučinić, Ž. Sekulić, V. Jovanović, D. Radulović, B. Ivošević, Quality of PVC with addition of surface modified limestone, *Proceedings of XV Balkan Mineral Processing Congress*, Sozopol, Bulgaria, 12<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> June 2013, Vol. I, 70-72, ISBN 978-954-353-217-9. Organized by: University of mining and geology „Ivan Rilski“ Sofia, Bulgaria
- [44] **S. R. Mihajlović**, D. S. Radulović, S. Z. Milićević, Ž. T. Sekulić, Application of lime in the polyvinyl chloride industry, *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, No 1, 2014, 57-62, ISSN 2334-8836, DOI:10.5937/MMEB1401057M, Published by: Mining and Metallurgy Institute Bor  
<http://www.irmbor.co.rs/index.php/sr/izdavastvo/casopis-mining-and-metallurgy-engineering-bor>
- [45] Y.P. Khanna, M. Xanthos, 2010, Calcium carbonate, Chapter 16. In: M. Xanthos (ed) *Functional fillers for plastics*, 2nd edn. Wiley-VCH, Weinheim, pp 291–306  
[https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-28117-9\\_35](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-28117-9_35)
- [46] **S. R. Mihajlović**, Ž. Sekulić, A. Daković, D. Vučinić, V. Jovanović, J. Stojanović, Surface properties of natural calcite filler treated with stearic acid, *Journal Ceramics-Silikaty*, 53, 4, 2009, 268-275, ISSN 0862-5468.

- [47] **S. R. Mihajlović**, A. S. Daković, Ž. T. Sekulić, D. A. Ileš, M. M. Kragović, Površinska adsorpcija stearinske kiseline na prirodnom kalcitu, *Hemijska industrija*, 63, 2, 2009, 101-106 DOI: 10.2298/HEMIND0902101M. Izdavač: Savez hemijskih inženjera, Beograd
- [48] **S. R. Mihajlović**, D. Radulović, Ž. Sekulić, V. Jovanović, V. Kašić, Influence of hidrofobized limestone as a filler on the mechanical properties of PVC, *Proceedings of 47<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Bor, Serbia, 4.-6. October 2015*, 21-24, ISBN 978-86-7827-047-5. Publisher: Mining and Metallurgy Institute Bor and Technical Faculty Bor, Univesity of Belgrade
- [49] **S. R. Mihajlović**, Fizičko-hemijsko modifikovanje kalcita stearinskom kiselinom, *Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2011.*
- [50] **S. R. Mihajlović**, Ž. Sekulić, D. Radulović, V. Jovanović, V. Kašić, Coating of calcite – solution method, *Proceedings of 46<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Bor, Serbia, 1.-4. October 2014*, 346-349, ISBN 978-86-6305-026-6. Publisher: Univesity of Belgrade-Technical Faculty in Bor and Mining and Metallurgy Institute Bor
- [51] **S. R. Mihajlović**, Dušica D. Vučinić. Živko T. Sekulić, Sonja Z. Milićević, Božo M. Kolonja, Mechanism of stearic acid adsorption to calcite, *Powder Technology*, 245, 2013, 208-216, ISSN 0032-5910. Imprint: ELSEVIER  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591013003227>

- [52] **S. R. Mihajlović**, Ž. Sekulić, D. Radulović, V. Jovanović , Investigation the calcite hydrophobisation of different grain sizes, Mining and Metallurgy Engineering Bor, No 2, 2016, 31-40, ISSN 2334-8836, doi:10.5937/MMEB1602031M. Published by: Mining and Metallurgy Institute Bor  
[http://irmbor.co.rs/images/izdavastvo/casopisi/engineering/mmebor2\\_16.pdf](http://irmbor.co.rs/images/izdavastvo/casopisi/engineering/mmebor2_16.pdf)
- [53] **S. R. Mihajlović**, D. Vučinić, Ž. Sekulić, V. Jovanović, D. Radulović, V. Kašić, Defining parameters for adsorption of stearic acid to calcite, Proceedings of 45<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 16.-19. October 2013, 77-80, ISBN 978-86-6305-012-9. Publisher: Univesity of Belgrade-Technical Faculty in Bor and Mining and Metallurgy Institute Bor
- [54] **S. R. Mihajlović**, D. Vučinić, Ž. Sekulić, V. Jovanović, D. Radulović, Physical-chemistry characterization of the modified limestone, Proceedings of 5<sup>th</sup> Jubilee Balkan Mining Congress, Ohrid, Macedonia, 18.-21. September 2013, 386-391, ISBN 978-608-65530-2-9. Publisher: Association of Mining and Geological Engineers of Macedonia
- [55] E. Papirer, J. Schultz, C. Turchi, Surface properties of a calcium carbonate filler treated with stearic acid, European Polymer Journal, 20, 12, 1984, 1155-1158.
- [56] P. Shmitt, E. Koerper, J. Schultz, E. Papirer, Characterization, by inverse gas chromatography, of the surface properties of calcium carbonate before and after treatment with stearic acid, Chromatographia, 25, 9, 1988, 786-790.

- [57] E. Fekete, B. Pukanszky, Surface Coverage and Its Determination: Role of Acid-Base Interactions in the Surface Treatment of Mineral Fillers, *Journal of Colloid and Interface Science*, 194, 1997, 269-275.
- [58] D. S. Keller, P. Luner, Surface energetics of calcium carbonates using inverse gas chromatography, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 161, 2000, 401-415.
- [59] M. A. Osman, U. W. Suter, Surface Treatment of Calcite with Fatty Acids: Structure and Properties of the Organic monolayer, *Chemistry of Materials*, 14, 10, 2002, 4408-4415.
- [60] E. Fekete, B. Pukánszky, A. Tóth, I. Bertóti, Surface modification and characterization of particulate mineral fillers, *Journal of Colloid and Interface Science*, 135, 1990, 200-208.
- [61] P. Fenter, N.C. Sturchio, Structure and growth of stearate monolayers on calcite: First results of an in situ X-ray reflectivity study, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 19-20, 1999, 3145-3152.
- [62] Y. Li, Z. Zhao, Y.T.R. Lau, Y. Lin, C.Chan, Preparation and characterization of coverage-controlled CaCO<sub>3</sub> nanoparticles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 345, 2, 2010, 168-173.
- [63] M. Zeković, P. Trifunović, N. Đukanović, *Tehnologija materijala u rudarstvu*, Praktikum, III izdanje, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1994.
- [64] Z. Bartezak, A. S. Argon, R. E. Cohen, M. Weinberg, Toughness mechanism in semi-crystalline polymer blends: II. High-density polyethylene toughened with calcium carbonate filler particles, *Polymer*, 40, 1999, 2347-2365.



- [65] Tehnička enciklopedija, Jugoslovenski leksikografski zavod „Miroslav Krleža“, Zagreb, 1976.
- [66] V. Kovačević, S. Lučić, Ž. Cerovečki, Influence of filler surface pre-treatment on the mechanical properties of composites, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17, 1997, 239-245.
- [67] V. Kovačević, S. Lučić, D. Hace, A. Glasnović, Rheology and Morphology of Poly(Vinil Acetate)+Calcite Films, *Polymer Engineering and Science*, 36, 8, 1996, 1134-1139.
- [68] V. Kovačević, S. Lučić, D. Hace, A. Glasnović, I. Šmit, M. Bravar, Investigation of the Influence of Fillers on the Properties of Poly(vinyl acetate) Adhesives, *Journal of Adhesion*, 47,1-3, 1994, 201-215.
- [69] Designed & Conceptualized by Plastemart. [Online] [www.plastemart.com/plastic-news.asp](http://www.plastemart.com/plastic-news.asp)
- [70] R. T. Morrison, R. N. Boyd, *Organska kemija*, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, 1979.
- [71] <https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0:Carboxylic-acid.svg>
- [72] <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Carboxyl-3D-space-filling-labelled.png>
- [73] <https://www.scribd.com/presentation/387014974/Masti-ppt>
- [74] A. Daković, Adsorpcija mikotoksina na mineralnim adsorbentima, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 2001.
- [75] D. Vučinić, S. Popov, *Fizička hemija*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2004.

- [76] R. J. Hunter, Introduction to Modern Colloid Science, Oxford University Press, Oxford, 1993, 262-298.
- [77] D. Holclajtner-Antunović, Opšti kurs fizičke hemije, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2000.
- [78] V. Dondur, Hemijska kinetika, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 1992.
- [79] Y. Lu, J. Drelich, J. D. Miller, Oleate adsorption at an apatite surface studied by exsitu FTIR internal reflection spectroscopy, Journal of Colloid and Interface Science, 202, 1998, 462-476.
- [80] Y. Sheng, B. Zhou, Ch. Wang, X. Zhao, Y. Deng, Z. Wang, In Situ Preparation of Hydrophobic CaCO<sub>3</sub> in the Presence of Sodium Oleate, Applied Surface Science, 253, 4, 2006, 1983-1987.
- [81] Y. Sheng, B. Zhou, J. Zhao, N. Tao, K. Yu, Y. Tian, Z. Ch. Wang, Influence of Octadecyl Dihydrogen Phosphate on the Formation of Active Super-Fine Calcium Carbonate, Journal of Colloid Interface Science, 272, 2004, 326-329.
- [82] H. Demir, M. Sipahioglu, D. Balkose, S. Ulku, Effect of additives on flexible PVC foam formation, Journal of Materials Processing Technology, 195, 1-3, 2008, 144-153.
- [83] [www.slideshare.net/dusanjerkovic/](http://www.slideshare.net/dusanjerkovic/)
- [84] Ratajac R., Veselinović D., Antonović G., Bošković B., Cvetković M., Ekologija i zaštita životne sredine, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Beograd, Beograd, 2004.
- [85] US Global Change Research Program: Climate Change/State of knowledge
- [86] [www.klima101.rs/gasovi-koji-izazivaju-efekat-staklene-baste/](http://www.klima101.rs/gasovi-koji-izazivaju-efekat-staklene-baste/)

- [87] [www.meteo.noa.gr/BalkanClimateleaflets\\_pdf/leaflet\\_Yugoslavian.pdf](http://www.meteo.noa.gr/BalkanClimateleaflets_pdf/leaflet_Yugoslavian.pdf)
- [88] [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [89] [www.concrete.org](http://www.concrete.org)
- [90] [www.csa.ca/cm/ca/en/standards/products/construction](http://www.csa.ca/cm/ca/en/standards/products/construction)
- [91] PCA - Portland Cement Association - [www.cement.org](http://www.cement.org)
- [92] [www.slagcement.org](http://www.slagcement.org)
- [93] AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials - [www.transportation.org](http://www.transportation.org)
- [94] [www.cement.org/tech/faq\\_scms.asp](http://www.cement.org/tech/faq_scms.asp)
- [95] S. Licht S. et.al., STEP cement: Solar Thermal Electrochemical Production of CaO without CO<sub>2</sub> emission, Chemical Communications, 48, 2012, 6019-6021.
- [96] **S. R. Mihajlović**, M. S. Blagojev, Aktivnosti na smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte, Zbornik radova, X Simpozijum sa međunarodnim učešćem „Rudarstvo 2019“, Borsko jezero, Srbija, 28.-31. maj 2019, 49-56, ISBN 978-86-80420-22-6, Izdavač: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, Akademska izdanja.
- [97] **S. R. Mihajlović**, M. S. Blagojev, Potential ways to lower CO<sub>2</sub> emission for production, In proceedings of XXVIII Scientific Symposium with International Participation „Situation in ecologically loaded regions of Slovakia and Central Europe“, Hradok, Slovakia, 24-25 October 2019, 84-88, ISBN 978-80-89883-10-3, Publisher: Slovenská banícka spoločnosť - ZSVTS Základná organizácia pri Ústave geotechniky SAVcement

- [98] **S. R. Mihajlović**, V. Jovanović, Ž. Sekulić, D. Radulović, Upotreba krečnjaka u odsumporavanju dimnih gasova, Zbornik radova, Integrisana savetovanja sa međunarodnim učešćem: 3. Simpozijum „Odsumporavanje dimnih gasova“, 6. Simpozijum „Deponije pepela, šljake i jalovine u termoelektranama i rudnicima“, 42. Savetovanje „Zaštita vazduha 2014“, Subotica, Srbija, 15.-17. Oktobar 2014, 44-53, ISBN: 978-86-80809-89-2, Izdavač: Privredna komora Srbije.
- [99] [http://www.rtv.rs/sr\\_lat/ekonomija/tender-za-odsumporavanje-u-tent-a\\_421264.html](http://www.rtv.rs/sr_lat/ekonomija/tender-za-odsumporavanje-u-tent-a_421264.html)
- [100] V. Pavlović i saradnici, Studija o mogućnostima snabdevanja krečnjakom za potrebe odsumporavanja dimnih gasova TE EPS, RGF, Beograd, 4, 2010.
- [101] J. Cielecki, J. Mazurek, S. Osicki, Iskustva firme Rafako S.A. u projektovanju i izgradnji postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova objekata industrijske energetike, Termotehnika, 30, 1-4, 2004, 105-120, ISSN 0350-218X.
- [102] D. Stojiljković, A. Jovović, V. Jovanović, N. Manić, Đ. Milovanović, S. Petrović, L. Rubow, M. Gavrić, Z. Žbogar, Izbor optimalnog tehničkog rešenja postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova na TE 'Kostolac B'. Termotehnika, 35, 3-4, 2009, 231-249. ISSN 0350-218X.
- [103] <http://www.codecal.com/page.asp?id=81&langue=EN>
- [104] V. Malešević, Značaj primene procesa odsumporavanja dimnih gasova u PD TEKOS Kostolac, Zbornik radova, II Simpozijum sa međunarodnim učešćem „Rudarstvo 2011“, Vrnjačka Banja, Srbija,

- 10-13 maj 2011, 500-503, ISBN 978-86-80809-61-8. Izdavač Privredna komora Srbije.
- [105] Ž. Sekulić, V. Jovanović, V. Kašić, Litotamnijski krečnjak ležišta “Dobrilovići” u odsumporavanju dimnih gasova, Rudarski radovi, 3, 2012, 41-44, YU ISSN:1451-0162. Izdavač: Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
- [106] A. Kurtović, Tehnička vrijednost kamena Hercegovine-tehnički kamen za proizvodnju građevinskih materijala i industrijskih proizvoda, Zbornik radova, II Simpozijum „Hercegovina-zemlja kamena“, Posušje, BiH, 18.-20. Lipanj 2015, broj 9, 18-37, ISSN 2232-9080. Izdavač: Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru.
- [107] <https://syzpc.ru/bs/construction-and-finishing-materials/lime-is-a-quicklime-application-unexpanded-lime-formula/>
- [108] <https://ihsmarkit.com/products/lime-chemical-economics-handbook.html>
- [109] <https://www.credenceresearch.com/>
- [110] <https://www.internationallime.org/>
- [111] M. Jelić, J. Milivojević, G. Drakulić, V. Đekić, G. Šekularac, A. Paunović, M. Biberdžić, N. Tmušić, Kalcizacija kiselih zemljišta u Centralnoj Srbiji, Zbornik radova, „XX Savetovanje o bитеhnologiji“, Čačak, Srbija, 13.-14. Mart 2015, 20, 22, 51-58, ISBN 978-86-87611-35-1. Izdavač: Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet Čačak.
- [112] L. A. Narro, C. J. Perez, S. Pandey, J. Crossa, F. Salazar, P. M. Arias, Implications of soil–acidity tolerant maize cultivars to increase production in developing countries, 447–463. In: N. Ae et al. (ed.).

Plant nutrient acquisition: New perspectives. NIAES series 4. Springer Verlag, Japan, 2001.

- [113] M. E. Sumner, Food production on acid soils in the developing world: problems and solutions, Proceedings of the 6th International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, Sendai, Japan, 1.–5. August, 2004, 2-3. Editors: Matsumoto H. et al.
- [114] S.A. Barber, Liming materials and practices. In: Soil acidity and liming. Adams, F. (ed.). American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI. 171-209, 1984.
- [115] G.W Thomas, W.L. Hargrove, The chemistry of soil acidity. In: Soil Acidity and Liming. Adams, F. (ed.). American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI. 3-56, 1984.
- [116] V. Jovanović, Ž. Sekulić, B. Ivošević, **S. R. Mihajlović**, M. Petrov, D. Radulović, V. Kašić, Mechanical properties of limestone briquettes with bentonite for calcification of acid soil, Proceedings of 5<sup>th</sup> Jubilee BALKAN MINING CONGRESS, Ohrid, Macedonia, 18.-21. September 2013, 404-408, ISBN 978-608-65530-2-9. Publisher: Association of Mining and Geological Engineers of Macedonia
- [117] V. Jovanović, Ž. Sekulić, B. Ivošević, **S. R. Mihajlović**, M. Petrov, D. Radulović, Mechanical properties of limestone briquettes and pellets with bentonite for calcification of acid soil, Proceedings of XVI Balkan Mineral Processing Congress, Belgrade, Serbia, 17-19 June 2015, Vol. II, 1083-1086, ISBN 978-86-82673-11-8 (MI). Organizers and Publishers: Mining Institute Belgrade, Academy of Engineering Science of Serbia-Department for Mining, Geology and Systems Sciences and University of Belgrade

- [118] D.R. Neuman, R.F. Munshower, R.S. Jennings, In-Place Treatment of Acid Metalliferous Mine Wastes, Principles, Practices, and Recommendations for Operable Unit 11 of the California Gulch NPL Site. Montana State University. Prepared for U.S. EPA Region 8. 2005.  
<http://www.montana.edu/reclamation/Leadville%20In-Place%20Treatment.pdf>
- [119] S. Krstić, M. Maksimović, G. Pačkovski, Kvalitet oprobavanja pri istraživanju mineralnih sirovina na prostoru Zagrađa, Zbornik radova, 6. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „Kvalitet 2009“, Neum, BiH, 04-06. Juni 2009, 317-322.
- [120] I. Antonijević, M. Kalenić, M. Đorđević, Č. Lončarević, M. Čičulić, T. Škuletić, Osnovna geološka karta 1:100.000, list Bor L 34-141- Savezni geološki zavod, Beograd, 1976.
- [121] D. Živković, Elaborat o istražnim radovima na krečnjacima Zagrađa kod Bora Kop 5, Geozavod Institut za geološka istraživanja Beograd, Biro Zaječar, 1976.
- [122] S. Janković, B. Vakanjac, Ležišta nemetaličnih mineralnih sirovina, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.
- [123] M. Kalenić, M. Đorđević, B. Krstić, P. Bogdanović, R. Milošaković, M. Divljan, M. Čičulić, R. Džodžo, Lj. Rudolf, Lj. Jovanović, Tumač za list Bor L 34-141 OGK 1.100.000, Savezni geološki zavod, str. 65, Beograd, 1976.
- [124] Lj. Janošević, D. Urošević, Z. Ilić, Sanacija gornjeg otvora kosog okna ugradnjom zaštitne rešetke u ležištu krečnog kamena u ležištu

- „Zagrade-5“, Rudarski radovi, 1 2009, 95-106, ISSN 1451-0162.  
Izdavač: Komitet za podzemnu eksploataciju mineralnih sirovina
- [125] <http://www.carmeuse.eu/rs/carmeuse-srbija>
- [126] [https://www.sarmaproject.net/uploads/media/2011\\_Belgrade\\_Pavlovic.pdf](https://www.sarmaproject.net/uploads/media/2011_Belgrade_Pavlovic.pdf)
- [127] [https://www.ekologija.gov.rs/wp-content/uploads/procena\\_uticaja/GL%201018%20Postr\\_za\\_preradu\\_krecnjaka-Kaona-Zahtev.pdf](https://www.ekologija.gov.rs/wp-content/uploads/procena_uticaja/GL%201018%20Postr_za_preradu_krecnjaka-Kaona-Zahtev.pdf)
- [128] V. Simić, S. Knežević, D. Životić, Ležište krečnjaka Mutalj kod Beočina, „Izgradnja“ 57, 12, 2003, 427-430, UDK 691.215:691.54, Izdavač: Udruženje inženjera građevinarstva, geotehnike, arhitekture i urbanista Srbije.
- [129] [https://www.ekologija.gov.rs/wp-content/uploads/procena\\_uticaja/Zahtev\\_o\\_potrebi\\_izrade\\_studije\\_o\\_proceni\\_uticaja\\_Ravnje.pdf](https://www.ekologija.gov.rs/wp-content/uploads/procena_uticaja/Zahtev_o_potrebi_izrade_studije_o_proceni_uticaja_Ravnje.pdf)
- [130] [http://82.117.203.34/sites/default/files/zastita\\_zivotne\\_sredine/Vladimir%20Simic%20NMS%20Srbije%20Sremska%20Kamenica%202013.pdf](http://82.117.203.34/sites/default/files/zastita_zivotne_sredine/Vladimir%20Simic%20NMS%20Srbije%20Sremska%20Kamenica%202013.pdf)
- [131] <http://www.paracinonline.com/2017/10/11/prirodna-bogatstva-paracina-rudnik-krecnjaka-plana/>
- [132] <http://rekovac.rs/>
- [133] [http://www.jppeu.rs/dokumenti/27.08.2014\\_Djakovo.pdf](http://www.jppeu.rs/dokumenti/27.08.2014_Djakovo.pdf)
- [134] <http://www.arandjelovac.rs/download/2017%20GODINA/Strategije/STRATEGIJA%20FINALNA%20VERZIJA%2005.12..pdf>
- [135] [https://www.srbijanac.rs/planina.php?id\\_pl=23&pismo=lat](https://www.srbijanac.rs/planina.php?id_pl=23&pismo=lat)
- [136] <https://mermerizvuci.rs/simpozijum-beli-vencac/>
- [137] <http://www.unionpromet.rs/mermerna-zrna.html>



- [138] [http://www.arandjelovac.rs/download/prostorni\\_plan/spu/spu\\_ppo\\_ar.pdf](http://www.arandjelovac.rs/download/prostorni_plan/spu/spu_ppo_ar.pdf)
- [139] [https://www.mre.gov.rs/doc/geologija-rudarstvo/24\\_Uredba%20o%20visini%20naknade%20za%20koriscenje%20nemetalicnih%20mineralnih%20sirovina%20za%20dobijanje%20gradjevinskog%20materijala.pdf](https://www.mre.gov.rs/doc/geologija-rudarstvo/24_Uredba%20o%20visini%20naknade%20za%20koriscenje%20nemetalicnih%20mineralnih%20sirovina%20za%20dobijanje%20gradjevinskog%20materijala.pdf)
- [140] Zakon o hemikalijama („Sl. Glasnik RS“, br. 36/09, 88/10, 92/11, 93/12 i 25/15)
- [141] Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu („Sl. Glasnik RS“, br. 101/05)
- [142] Pravilnik o sadržaju bezbednosnog lista („Sl. Glasnik RS“, br. 100/11)
- [143] V. Pavlović, B. Kolonja, M. Ilić, R. Milanović, Održiva strategija upravljanja mineralno-sirovinskim kompleksom Republike Srbije, Zbornik radova, IX Međunarodna konferencija o površinskoj eksploataciji „OMC 2010“, Vrnjačka Banja, Srbija, 20-23. Oktobar 2010, 370-375, ISBN 978-86-83497-15-7. Izdavač: Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju
- [144] V. Simić, J. Živanović, Č. Beljić, D. Životić, M. Radivojević, Održivo upravljanje kamenim agregatima-međunarodni projekat SARMa, Zbornik radova, IX Međunarodna konferencija o površinskoj eksploataciji „OMC 2010“, Vrnjačka Banja, Srbija, 20-23. Oktobar 2010, 280-285, ISBN 978-86-83497-15-7. Izdavač: Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju
- [145] <https://arhingreen.rs/reciklaza-gradjevinskog-otpada-3-3/>
- [146] N. Rustempašić, Upravljanje građevinskim otpadom u skladu sa EU standardima, Zbornik radova, VIII Naučno/stručni simpozijum sa međunarodnim učešćem „Metalni i nemetalni materijali“ Zenica, BiH,

27.-28. april 2010, 435-440, ISBN 978-9958-785-18-4. Izdavač: Univerzitet u Zenici, Organizaciona jedinica Fakultet za metalurgiju i materijale.

[147] V. Đukić, Mogućnosti upravljanja građevinskim otpadom u Republici Srpskoj, *Zaštita materijala*, 54, 1, 2013, 87-92, ISSN 0351-9465. Izdavač: Inženjersko društvo za koroziju, Beograd, [http:// www.sitzam.org.rs/zm](http://www.sitzam.org.rs/zm)

[148] M. Aćić, D. Jevtić, Mogućnost korišćenja recikliranih materijala kao agregata za beton u savremenoj građevinskoj praksi, *Zbornik radova, VII Međunarodni naučno-stručni skup „Savremena teorija i praksa u graditeljstvu“*, Banja Luka, 14.-15. april 2011, 41-56, ISBN 978-99955-630-6-6. Izdavač: Zavod za izgradnju a.d. Banja Luka

## **Biografija autora**



**Dr Slavica R. Mihajlović (Biševac)** rođena je 12. 05. 1967. godine u Raški, Republika Srbija. Odrasla je u Lešku, opština Leposavić, na Kosovu, gde je završila osnovnu školu. Srednju školu je pohađala u Leposaviću, a zatim u Raški.

Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Rudarski odsek, smer: Priprema mineralnih sirovina završila je 1991. godine. Na istom fakultetu magistrirala je 1998. godine i doktorirala 2011. godine odbranom doktorske disertacije pod nazivom „Fizičko-hemijsko modifikovanje kalcita stearinskom kiselinom“.

Od 1992.-1996. godine radila je na Rudarsko-metalurškom fakultetu u Kosovskoj Mitrovici, Univerzitet u Prištini, kao asistent na predmetima: Priprema mineralnih sirovina i Osnovi termodinamike. Od 1996. godine i dalje radi u Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina u Beogradu, u Centru za pripremu mineralnih sirovina.

Učestvovala je na 9 projekata finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Oblast istraživanja dr Slavice Mihajlović je dobijanje ekoloških materijala na bazi nemetalnih mineralnih sirovina, razvoj materijala-akceptora, donora i nosača aktivnih

materija na bazi zeolita, bentonita i krečnjaka, razvoj tehnologija prerade i asortimana proizvoda na bazi silikatnih, alumosilikatnih i karbonatnih mineralnih sirovina, razvoj tehnologija proizvodnje punila i prahova u raznim granama industrije, razvoj i primena savremenih tehnologija prerade ruda nemetala i revitalizacija aktivnih industrija, razvoj i proizvodnja novih materijala za primenu u različitim industrijskim granama.

Tokom svog naučno-istraživačkog rada objavila je veliki broj naučnih radova, učestvovala u izradi tehničko-tehnoloških rešenja i patentnih prijava, radila je recenziju radova i monografije iz svoje naučne oblasti. Član je naučnih odbora različitih konferencija i član je uređivačkog odbora časopisa „Journal of Mining Technologies and Mineralogy“.

Majka je jednog Stefana.