

# Proizvodnja i svojstva agregata za betonske mješavine

---

**Mrakovčić, David**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:363555>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**David Mrakovčić  
JMBAG: 0114030495**

**PROIZVODNJA I SVOJSTVA AGREGATA ZA BETONSKE MJEŠAVINE  
PRODUCTION AND CHARACTERISTICS OF AGGREGATE FOR CONCRETE MIXES**

**Završni rad**

**Rijeka, studeni 2020.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski stručni studij  
građevinarstva  
Građevinski materijali**

**David Mrakovčić  
JMBAG: 0114030495**

**PROIZVODNJA I SVOJSTVA AGREGATA ZA BETONSKE MJEŠAVINE  
PRODUCTION AND CHARACTERISTICS OF AGGREGATE FOR CONCRETE MIXES**

**Završni rad**

**Rijeka, studeni 2020.**

Naziv studija: **Preddiplomski stručni studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Temeljne tehničke znanosti

Znanstvena grana: Materijali

Tema završnog rada

**PROIZVODNJA I SVOJSTVA AGREGATA ZA BETON**

**PRODUCTION AND CHARACTERISTICS OF AGGREGATE FOR CONCRETE**

Kandidat: **DAVID MRAKOVČIĆ**

Kolegij: **GRAĐEVINSKI MATERIJALI**

Završni rad broj: **20-ST-21**

**Zadatak:**

Rad treba sadržavati sljedeće:

- detaljni opis proizvodnje agregata u kamenolomu i iz riječnih nalazišta s navođenjem proizvođača u Hrvatskoj i njihovih specifičnosti
- opis postupaka ispitivanja fizikalnih, kemijskih i mehaničkih svojstava kamenog agregata koji se provode
- granične vrijednosti za pojedina svojstva koja se ispituju s primjerima tehničkih specifikacija pojedinih proizvođača (pronaći podatke za iste frakcije različitih proizvođača i dati tehničke specifikacije)
- primjer provedenih ispitivanja u laboratoriju (ja ću ti dati rezultate ispitivanja s vježbi)

**Tema rada je uručena: 24. veljače 2020.**

**Mentorica:**

doc. dr. sc. Silvija Mrakovčić,  
dipl. ing. građ.

## **IZJAVA**

Završni rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

David Mrakovčić

U Rijeci, 30. listopada 2020.

## **IZJAVA**

Završni rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001) (voditelj prof. dr. sc. Nevenka Ožanić) koji je sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.

U Rijeci, 3.11.2020.

## SAŽETAK

Tema ovog rada je analiza i usporedba više vrsta agregata raznih proizvođača i primjena agregata u pripremi betonskih mješavina. Opisani su postupci izvlačenja šljunka iz riječnih nalazišta i način proizvodnje drobljenog agregata u kamenolomu. Dana su svojstva pojedinih agregata proizvođača iz Hrvatske. Navedeno je koja se sve ispitivanja fizikalnih, kemijskih i mehaničkih svojstava kamenog agregata provode za agregate za beton prema HRN EN 12620. U Laboratoriju za materijale Građevinskog Fakulteta u Rijeci provedena su ispitivanja i dobiveni pojedini parametri drobljenog agregata. Rezultati koji su dobiveni uspoređeni sa specifikacijama laboratorija pojedinih proizvođača agregata.

Ključne riječi: agregat, kamenolom, krupni agregat, sitni agregat, frakcije, riječno nalazište.

## **ABSTRACT**

The topic of this paper is the analysis and comparison of several types of aggregates from different manufacturers and the application of aggregates in the preparation of concrete mixtures. The processes of gravel extraction from river deposits and the method of production of crushed aggregate in the quarry are described. The properties of individual aggregates of Croatian producers are given. It is stated which all tests of physical, chemical and mechanical properties of stone aggregate are performed for concrete aggregates according to HRN EN 12620. In the Laboratory for Materials of the Faculty of Civil Engineering in Rijeka tests were performed and individual parameters of crushed aggregate were obtained. The results obtained are compared with the laboratory specifications of individual aggregate manufacturers.

Key words: aggregate, quarry, large aggregate, small aggregate, fractions, river deposit.



# Sadržaj

<b>1. UVODNO O AGREGATU ZA BETONSKE MJEŠAVINE</b> .....	9
<b>1.1. Kameni agregat</b> .....	9
<i>1.1.2 Prirodno nevezani agregati</i> .....	9
<i>1.1.3. Prirodno vezani agregati</i> .....	9
<b>1.2. Laki agregati</b> .....	10
<i>1.2.1. Prirodni laki agregati</i> .....	10
<i>1.2.2. Umjetni laki agregati</i> .....	10
<b>1.3. Teški agregati</b> .....	11
<b>2. TEHNOLOGIJA DOBIVANJA I PROIZVODNJE AGREGATA ZA BETON</b> .....	12
<b>2.1. Proizvodnja drobljenog agregata</b> .....	12
<i>2.1.1. Proizvođači drobljenog agregata u Hrvatskoj</i> .....	17
<b>2.2. Proizvodnja prirodnog agregata (šljunka i pijeska)</b> .....	19
<i>2.2.1. Transport sirovog materijala od mjesta vađenja do pogona za obradu:</i> .....	21
<i>2.2.2. Finalna obrada pijeska i šljunka</i> .....	21
<i>2.2.3. Proizvođači prirodnog agregata u Hrvatskoj</i> .....	24
<b>3. HRVATSKI TEHNIČKI PROPIS ZA AGREGATE</b> .....	25
<b>4. ODREĐIVANJE SVOJSTAVA AGREGATA ZA UGRADNJU U BETON.</b> .....	28
<b>4.1. Određivanje (ispitivanje) geometrijskih svojstava agregata za ugradnju u beton</b> ....	28
<i>4.1.1. Granulometrijski sastav agregata</i> .....	28
<i>4.1.2. Određivanje oblika zrna – indeks oblika (HRN EN 933-4)</i> .....	32
<i>4.1.3. Određivanje udjela sitnih čestica - određivanje ekvivalenta pijeska (HRN EN 933-8)</i> .....	34
<i>4.1.4. Određivanje sadržaja školjaka u krupnom agregatu (HRN EN 933-7)</i> .....	35
<b>4.2. Određivanje (ispitivanje) fizikalnih svojstava agregata za ugradnju u beton</b> .....	36
<i>4.2.1. Određivanje gustoće zrna i volumenske mase</i> .....	36
<i>4.2.2. Određivanje nasipne gustoće agregata</i> .....	38
<i>4.2.3. Određivanje apsorpcije vode , površinske vlažnosti i vlažnosti agregata.</i> .....	40
<i>4.2.4. Ispitivanje otpornosti agregata na drobljenje (Los Angeles metoda)</i> .....	40
<i>4.2.5. Ispitivanje otpornosti agregata na cikluse smrzavanja i odmrzavanja.</i> .....	44
<i>4.2.6. Ispitivanje otpornosti na habanje krupnog agregata (micro Deval-ova metoda)</i> .....	46
<i>4.2.7. Ispitivanje otpornosti krupnog agregata za potrebe površinskim slojevima na poliranje i abraziju.</i> .....	46
<b>4.3. Određivanje (ispitivanje) kemijskih svojstava agregata za ugradnju u beton</b> .....	47
<i>4.3.1. Sastojci koji utječu na brzinu vezanja i očvršćivanja betona.</i> .....	47
<i>4.3.2. Utjecaj kemijskih sastojaka agregata na trajnost betona.</i> .....	47

<i>4.3.3. Sastojci koji utječu na površinsku obradu betona</i> .....	49
<b>5. USPOREDBA SVOJSTAVA AGREGATA RAZLIČITIH PROIZVOĐAČA</b> .....	50
<b>6. REZULTATI LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA</b> .....	54
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	61
<b>LITERATURA</b> .....	62
<b>POPIS ILUSTRACIJA</b> .....	64
<b>Popis slika</b> .....	64
<b>Popis Tablica</b> .....	65

# 1. UVODNO O AGREGATU ZA BETONSKE MJEŠAVINE

Količina agregata kao sastavnog dijela u betonskoj mješavini najčešće se kreće u količinama od 60 do 80% od ukupnog volumena betona. Agregat u očvrslom betonu služi kao neutralna ispunja, koji ispunjava šupljine unutar cementne paste. Podrijetlo, masa i čvrstoća agregata može imati značajan utjecaj na čvrstoću gotovog betona, popraviti toplinska svojstva betona ili zaštititi čovjeka i okoliš od prodora zračenja koji mogu štetno djelovati na zdravlje (uz dodatak primjesa).[2].

## 1.1. Kameni agregat

Kameni agregat ima prosječnu zapreminsku težinu do maksimalno 2,8 t/m<sup>3</sup>, svojstvo apsorpcije vode manje od 1,5% i čvrstoću između 80 i 250 MPa, što daje betonu tlačnu čvrstoću koja se kreće između 30 i 50 MPa. Težina ovakvih tipova betona se kreće oko 2,37 t/m<sup>3</sup>, što nam pokazuje da je riječ običnom betonu. Prirodne agregate dijelimo prema mjestu eksploatacije i načinu obrade u sitan materijal. [2]

### 1.1.2 Prirodno nevezani agregati

Agregate koje je oblikovala priroda zovemo prirodno nevezani agregati. Nastali su pod utjecajem vode i vjetra u rijekama, jezerima, morima i ledenjačkim dolinama. Dužim djelovanjem vanjskih sila površine agregata postaju se glađe i pravilnije s time se smanjuje trenje, ali se kontakt sa ostalim komponentama bitno smanjuje. Prirodni agregati su jeftiniji u eksploataciji, ali sastav agregata i njegove karakteristike mogu predstavljati problem (neujednačenost zrna, razne primjese, organski spojevi i sl.) kod procesa hidratacije i očvršćivanja betona. U prirodne nevezane agregate ubrajamo pijesak zrna do 4 mm i šljunak sa zrnima većim od 4 mm. [2]

### 1.1.3. Prirodno vezani agregati

Prirodni vezani agregati nastaju drobljenjem, mljevenjem i usitnjavanjem čvrstih stijenskih masa u kamenolomima. Većinom su to stijene vapnenačkog podrijetla. Miniranjem se stijenska masa razbija u manje komade stijena, koje se drobe na potrebnu veličinu zrna. Drobljenjem dobivamo drobljeni pijesak krupnoće zrna do 4 mm i iznad 4 mm.

Standardnom normom određene su karakteristike koje mora imati agregat u betonskim mješavinama. Određen je maksimalni postotak prašinih čestica do 0,09 mm, upijanje vode do 1%. Kod zahtjevnih projekata – gradnja cesta, staza ili podnih površina, avioskih pista potrebno je primijeniti agregat koji nije osjetljiv na habanje. Potrebno je primijeniti agregat s visokom otpornošću na abraziju kao što su granit ili mramor. [2]

## **1.2. Laki agregati**

U današnjoj proizvodnji betonskih konstrukcija uglavno se primjenjuje izvedba lakih betona sa zapreminskim masama manjim od  $1,9 \text{ t/m}^3$ . Kod proizvodnje lakih betona koriste se laki agregati koji mogu biti prirodnog ili umjetnog podrijetla. [2]

### ***1.2.1. Prirodni laki agregati***

Prirodni laki agregati nastali su kao nusproizvod iz prerađivačkih industrija. Najčešće je u upotrebi mljevena trska, drvena piljevina, mljevena slama raznih žitarica i mljevena stabljika konoplje. Prilikom primjene ovakvih tipova agregata treba se posvetiti posebna pažnja kod neutralizacije. Sastav mineralnih sastojaka takvog agregata (biljnih sokova, škroba) mogu indirektno utjecati na proces hidratacije cementne paste i samog procesa stvrdnjavanja betona. [2]

### ***1.2.2. Umjetni laki agregati***

Umjetni laki agregati nastaju kao nusproizvod industrijskih proizvodnji. Najčešće je u upotrebi pjenušava (kristalna) zgora visokih peći, granulasta zgora, mljeveni polistiren, ekspanzirani polistiren u obliku zrna, grubo mljeveni keramički ostaci (opečni blok, cigla, crijepovi). U umjetne agregate možemo svrstati i ekspanzirani perlit, ekspanzirana glina, ekspanzirano staklo, ekspanzirani vermikulit koji se proizvode u industrijskim pogonima [2]

Upotrebom ovih lakih agregata mogu se proizvesti tri podvrste lakih betona:

- Termoizolacijski beton zapreminske mase do  $0,8 \text{ t/m}^3$ .
- Termoizolacijsko konstruktivni beton zapreminske mase od  $0,8 - 1,5 \text{ t/m}^3$ .
- Konstruktivni laki betoni zapreminske mase od  $1,5 - 1,9 \text{ t/m}^3$ . [2]

### **1.3. Teški agregati**

Teške agregate koristimo samo u slučaju u proizvodnji betonskih mješavina specijalnih namjena. Koriste se pri izgradnji nuklearnih elektrana i skladišta za opasnih materijala. Teške agregate su magnezit hematit, barit, limonit, strugotine i kuglice od željeza, čelika i olova. Sa ciljem poboljšanja razine zaštite od štetnih zračenja, takvim betonima se još pridodaju spojevi litija i bora. Čvrstoća takvih betona, najčešće ne ovisi o čvrstoći agregata.

[2]

## **2. TEHNOLOGIJA DOBIVANJA I PROIZVODNJE AGREGATA ZA BETON**

U ovom poglavlju su opisani postupci proizvodnje pojedinih vrsta agregata za beton. Od kojih su najzastupljeniji drobljeni i prirodni agregati.

### **2.1. Proizvodnja drobljenog agregata**



Slika 1: Bušenje rupa za miniranje. (fotografirao autor)

Cijeli proces dobivanja drobljenog agregata započinje eksploatiranjem stijenske mase u kamenolomu procesom bušenja rupa za eksploziv (Slika 1) u stijenskoj masi i miniranjem. Agregat se potom utovaruje na kamione i odvozi na obradu u postrojenje za proizvodnju frakcija agregata. U nastavku je opisan proces proizvodnje agregata u kamenolomu Garica tvrtke GP Krk d. o. o.

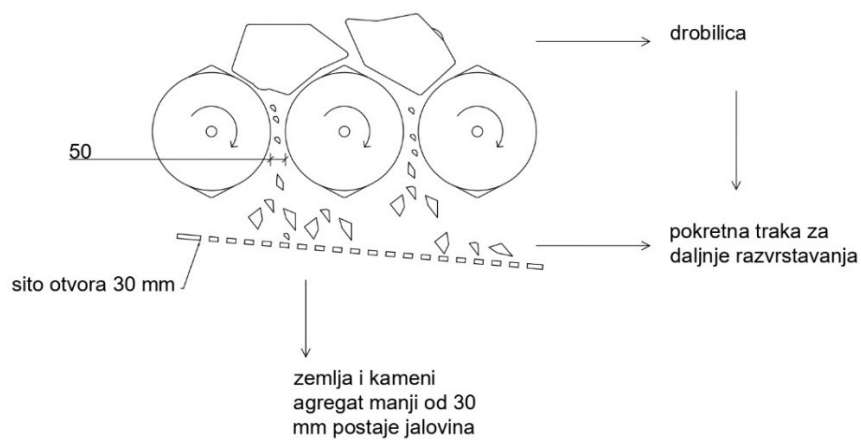


Slika 2: Zaštitna rešetka na ulazu u postrojenje. (fotografirao autor)

Na glavnom ulazu postrojenja kamioni istovaruju materijal iz kamenoloma. Otvori na zaštitnoj rešetki na ulazu dimenzije su 50 x 50 cm (Slika 2), u slučaju da je veličina pojedinih komada materijala veća od otvora rešetke, materijal se pomoću hidrauličnog čekića (pikamera) usitnjava do mjere da materijal prođe kroz otvore.



Slika 3: Valjci na kojima se materijal razvrstava prije ulaska u drobilicu (fotografirao autor)



Slika 4: Proces koji se odvija na slici 3. (nacrtao autor)

Materijal pada na pokretnu traku koja ga vodi do valjaka, koji ga čiste i odvajaju krupni materijal od sitnog (Slika 3). Razmak između tih valjaka je 50 mm. Kroz otvore prolazi sitan materijal i ostaci zemlje na komadima kamena (Slika 4).



Slika 5: Drobilica za kamen (fotografirao autor)





Slika 6: Pokretna traka koja vodi materijal do glavnog sita (fotografirao autor)

Potom krupni materijal ulazi u primarnu drobilicu, koja ga usitnjava na veličinu zrna 0 – 150 mm. Brzina okretaja drobilice je između 500 - 700 (okr./min), a s pomoću greda drobi ga do prije spomenute veličine zrna (Slika 5). Materijal se zatim skuplja zajedno s materijalom iz prethodne faze obrade materijala (prikazanog na slici 4) na pokretnoj traci koja ga vodi do glavnog sita koje sije materijal prije samog prosijavanja materijala na frakcije (Slika 6).



Slika 7: Glavno sito u kojeg se materijal dovozi pomoću pokretnih traka i prosijava (fotografirao autor)



Slika 8: Pokretna traka odvodi materijal na daljnje usitnjavanje (fotografirao autor)

Glavno sito ima otvor veličine od 32 mm (Slika 7) koji vibrira. Na situ se prosijava materijal. Materijal koji ima veličinu zrna  $\leq 32$  mm ide dalje na prosijavanje na pojedine frakcije, dok materijal koji ima veličinu zrna  $> 32$  mm vodi se pokretnom trakom u sekundarnu udarnu drobilicu ili čekičar koji ga usitnjava na frakciju 0 - 4 mm i odvozi u spremište za agregat (Slika 8).

### ***2.1.1. Proizvođači drobljenog agregata u Hrvatskoj***

#### **GP-KRK**

u proizvodnom pogonu GP-a KRK d. d. Garica bb, 51516 Vrbnik. Kameni materijal u kamenolomu Garica je vapnenačkog podrijetla. Proizvode slijedeće frakcije 0/4; 4/8; 8/16; 16/22; i 16/32 mm, te se provode kontrole tvorničke proizvodnje prema normama: EN 12620:2002 +A1:2008; EN 13043:2002 i EN 13043:2002/AC:2004; EN 13242:2002 + A1:2007. [6]

#### **HOLCIM HRVATSKA**

Kamenolom u Šumberu je kamenolom vapnenca koji ima odlična fizičko – mehanička svojstva što ga čini pogodnim za dobivanje proizvoda koji se plasiraju u građevinsku, kemijsku, farmaceutsku, stočnu i poljoprivrednu industriju te se koriste za procese odsumporavanja. Sastoji se od dva eksploatacijska polja u kojim se eksploatira mineralna sirovina vapnenac, koji se onda prerađuje u kamene frakcije te u kameno brašno (filer) i granule. [15]

Stijenska masa u eksploatacijskom polju „Šumber“ pripada dobro uslojenim i pretežno horizontalnim naslagama bijelih i sivih vapnenaca. Gusti, masivno-homogeni vapnenaci sastoje se uglavnom od mikrozrnatog minerala kalcita (sadržaj minerala kalcita  $\text{Ca CO}_3$  u stijenskoj masi je do 97,5%) . [15]

Proizvode slijedeće frakcije 0/4; 4/8; 8/16; i 16/32 mm. [15]

Kamenolom Očura svoju dugogodišnju i uspješnu tradiciju u proizvodnji i preradi kamena zahvaljuje prije svega dobrim fizičko - mehaničkim i kemijskim osobinama dolomita. S geološkog aspekta geneza ležišta mineralne sirovine kamenoloma Očure vezana je uz karbonatni razvoj trijasa Ivanščice. Istovremeno u procesu nastanka bile su zahvaćene procesom dolomitizacije, odnosno prekrystalizacije samog sedimenta do postanka minerala dolomita  $\text{CaMg} (\text{CO}_3)_2$  koji je glavni sastojak stijene dolomita. [16]

Fizičko-mehaničke karakteristike stijenske mase dolomita, u literaturi prepoznati kao „očurski dolomit“, odlikuje se parametrima kao što su vrlo visoka tlačna čvrstoća (184,2

MPa), gustoća ( $2,85 \text{ g/cm}^3$ ), niski stupanj upijanja vode (0,14-0,6%), te otpornost na habanje ( $22,0 \text{ cm}^2$ ), drobljenje (LA 24), poliranosti, postojanost na mrazu i ukazuju na izuzetna fizičko-mehanička svojstva agregata koji se upotrebljavaju kao sirovina u širokom spektru građevinarske industrije. [16]

Proizvode slijedeće frakcije 0/4; 4/8; 8/16; i 16/32 mm. [16]

Kamenolom u Plovaniji je vapnenački kamenolom koji ima odlična fizičko – mehanička svojstva što ga čini pogodnim za dobivanje široke lepeze proizvoda.

U eksploataciji je još od 1950. godine. Bavi se proizvodnjom kamenih frakcija i betona. Izgrađen je od svijetlosivih i bijelih sitnokristaličnih vapnenaca, vrlo guste, sitno zrnate strukture. To su tanko uslojeni pločasti vapnenci gornje krede (cenomana). Debljina slojeva je od 0,1 do 1 metar. [17]

Proizvode slijedeće frakcije 0/4; 4/8; 8/16; i 16/32 mm. [17]

## 2.2. Proizvodnja prirodnog agregata (šljunka i pijeska)

Pri izradi betona upotrebljava se šljunak i pijesak iz prirodnog nalazišta. Pri dobivanju prirodnih mješavina pijeska i šljunka sa dna nalazišta, materijal se uz pomoć metalnih lopatica na specijalnim strojevima vadi iz suhih ili podvodnih iskopa. Najčešći postupak iskapanja je podvodno iskapanje. Tim načinom stvaranju se prirodna manja ili veća umjetno stvorena jezera. [7]

Pri iskapanju upotrebljavaju se specijalni plutajući strojevi, koji vade materijal se dna uz pomoć :

- plutajućih hvataljki
- plutajućih grabilica
- usisnih pumpi, odnosno strojevima kojima se u isto vrijeme vadi pijesak i šljunak s dna iskopa. [7]



Slika 9: Plutajući bageri s hidrauličnom rampom i grajferom zapremine do 12m<sup>3</sup> [13]

Prilikom vađenja materijala sa plutajućim hvataljkama do dna se spuštaju hvataljke uz pomoć debelih čeličnih žica, gdje se zatvaraju. Hidrauličkim ili mehaničkim sutavom hvataljke se dižu do površine s materijalom. Materijal koji izvađen mora postupkom predčišćenja biti oslobođen veliki i grubih nečistoća i nakon toga se taj materijal šalje na daljnje sortiranje prema veličine frakcije. Plutajućim hvataljkama može se dohvatiti materijal i na dubini većoj od 10 m. (Slika 9). [7]



Slika 10 : Vjedrični plovni bager sa vedrima za vađenje pijeska i šljunka [13]

Na mjestima gdje su naslage pijeska i šljunka na manjim dubinama možemo koristiti plutajuće grabilice (Slika 10 ). Vjedra na ovakvim tipovima strojeva nižu se kao pokretna traka i kreću se jedan za drugim u nizu. Niz vjedara spuštaju se prema dnu, prolazeći preko dna vjedrima skupljaju materijal te ga dižu prema površini. Vjedra se prazne i proces skupljanja se ponavlja. [7]



Slika 11: Plutajući usisni bageri sa iskopno/transportnim lancem za iskop pijeska i sitnijeg šljunka [13]

Za vađenje materijala pri velikim dubinama do 30 m koriste se usisni strojevi, pumpama se usisava mješavina koja sadrži pijesak, šljunak i vodu (Slika 11). Najveći udio u mješavini je voda. Voda se ocjeđuje i ostaje kruti materijal. Preostali kruti materijal pomoću pumpi prepumpava se u postrojenje za obradu. Problemi kod ovakvog načina iskopavanja mogu se pojaviti zbog vrlo grubog šljunka ili smjese šljunka/pijeska sa ilovačom. Mogući problemi mogu nastati i kada se izvuku veliki i grubi komadi nečistoća i posljedično tome pumpe dostižu svoju maksimalnu granicu učinkovitosti. [7]

### ***2.2.1. Transport sirovog materijala od mjesta vađenja do pogona za obradu:***

Transport sirovog pješčanog i šljunčanog materijala može se podjeeliti na dva tipa transporta. Prvi način je transport materijala putem plutajućih traka, a drugi je transport putem teretnih strojeva za prijevoz šljunka/pijeska ravno do postrojenja za obradu materijala. Postrojenja koja se koriste za preradu materijala mogu biti već instalirana na platformama koje iskapaju šljunak i pijesak, pa je transport od mjesta iskapanja i obrade nepotreban. [7]

### ***2.2.2. Finalna obrada pijeska i šljunka***

U postrojenjima za obradu mješavina šljunka i pijeska se ispire, čisti se od raznih nečistoća koje mogu biti: komadi drva, ilovača i glina. Čišćenje materijala provodi se na način da se materijal ispira vodom na pomičnom situ ,gdje se materijal sortira na pojedine frakcije zrna. Potom se očišćena mješavina šljunka i pijeska prosijava na razne frakcije i veličine zrna (od 0/2, 2/8, 8/16, 16/32 i 32/X mm). Nakon čišćenja i prosijavanja materijal se prijevozi do skladišnih prostora (odlagališta, silosa) kako bi bio dostupan za tržište.[7]

Za postizanje što čistih frakcija šljunka i pijeska mogu se primijeniti posebni uređaji (aquamotori) s neprekidnom trakom (hidro-traka). U ovom postupku ispiranje materijala dopijeva na hidro-traku na kojoj se lakše nečistoće poput drva, ispiru vodom koja ih gura preko ruba trake. Također se ovim postupkom može ukloniti i glina iz mješavine. [7]

Ako se otkrije da se u materijalu nalazi veća količina gline, potrebno ju je odvojiti uz pomoć posebne mehanizacije koja je sastavljena od spremnika u kojeg se dovozi mješavina vode, pijeska i šljunka. Unutar spremnika dva metalna elementa rotiraju i uz pomoć vode odvajaju primjese gline ili neke druge laganije sastojke od šljunka. Za proizvodnju pijeska ili njegovu

dobivanje iz vode za ispiranje u postrojenju za preradu najčešće su upotrebi posebni strojevi takozvani cikloni. Princip rada aparata bazira se na primjeni centrifugalnih sila. [7]

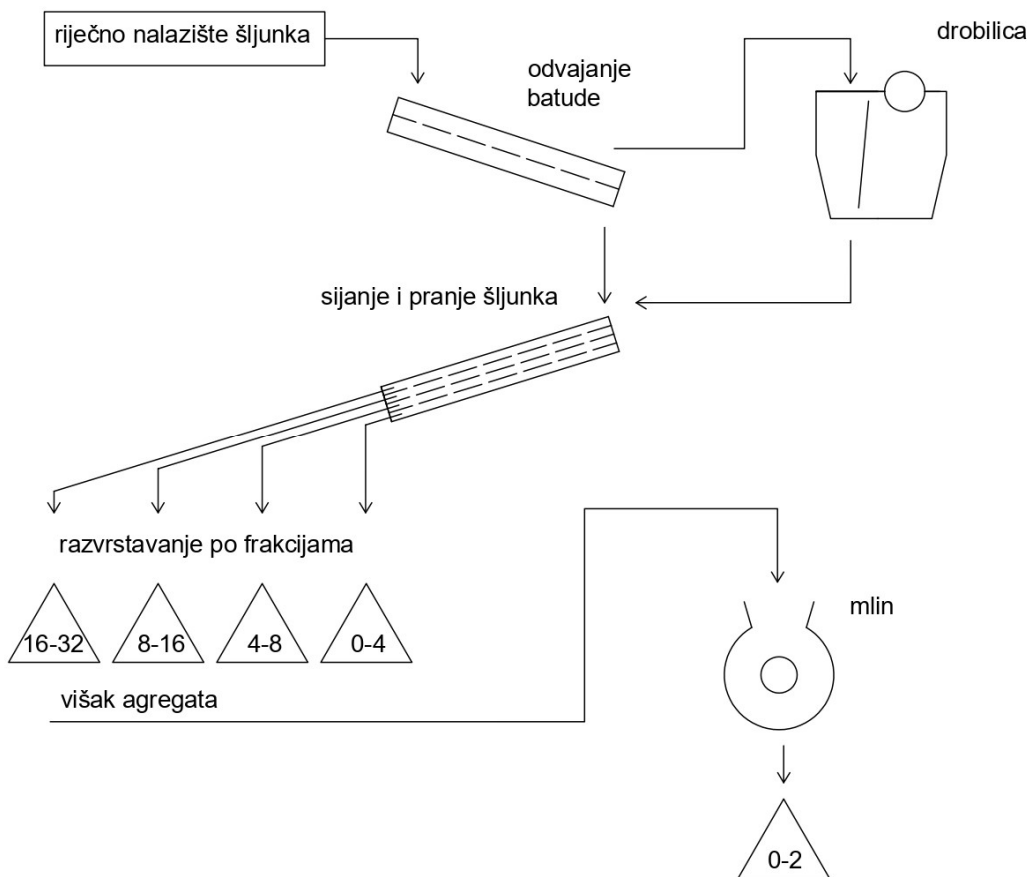
Voda sa velikom količinom pijeska i finog materijala odvodi se pod pritiskom u spremnik konusnog oblika u kojem se pomoću dva metalna elementa stvara centrifugalna sila kojom se odvajaju fine i grube čestice pijeska. Grube čestice tonu na dno spremnika, a fine se podižu na vrh spremnika. Također se može posebnim mlaznicama u spremniku postići vrlo preciznu separaciju finih od grubih čestica pijeska. [7]

Tako obrađeni pijesak može sadržavati velike količine vode te ga se mora „osloboditi“ viška vode. Da bi se odvojila suvišna voda, voda se prosijava kroz niz posebnih sita. Tako prikupljena voda se izljuje u posebne dijelove iskopa u formiranim „jezerima“; tim postupkom čestice pijeska koje su ostale padaju na dno. Tim postupkom voda se na prirodan način pročišćava. [7]

Šljunak čija su zrna prevelika za prodaju na tržištu usitnjava se u pogonima za drobljenje posebnim strojevima drobilicama. Dobiveni materijal sije se kroz sita za pojedinu veličinu zrna od kojih se formiraju frakcije ili se dodatno obrađuje standardnim postupcima. S obzirom na veličinu zrna finalnog proizvoda, skladište se u posebnim spremnicima ili silosima svaka frakcija posebno. Prijevoz agregata potrebnih za betonare, asfaltne baze, na gradilištima izvodi se velikim kamionima. Na udaljenije lokacije prijevoz se vrši putem brodova ili vlakova. [7]

Kamioni se pune uz pomoć strojeva ili se punjenje vrši automatskim putem pokretnim trakama. Ako se radi o punjenju kamiona u silosima, kamioni se pune preko posebnih odvoda ispod silosa. Strojevima za utovarivanje materijala (dizalicama, teretni trakama, itd.) koristimo se kod utovara šljunka i pijeska na brodove i teretne vlakove. [7]





Slika 12: Shema glavnih faza u proizvodnji agregata za beton iz šljunka  
(nacrtao autor prema shemi preuzetoj sa [20])

### **2.2.3. *Proizvođači prirodnog agregata u Hrvatskoj***

Šljunčara Eurobeton d.d.

Usluga vađenja i obrade šljunka desetak agregata veličine od 0 do 80 mm koji se dobivaju presijavanjem šljunka ili drobljenjem velikih agregata. Modernizacijom proizvodnih pogona, tvrtka danas koristi najsuvremeniju tehnologiju proizvodnje i mehanizaciju za eksploataciju, oplemenjivanje i preradu šljunka, a proces proizvodnje i proizvodi u ponudi tvrtke certificirani su prema međunarodnim normama. [5]

Iz svog bogatog izvorišta šljunka, uz pomoć suvremene mehanizacije i vrhunskih stručnjaka, stvaraju proizvode najviše kvalitete za svoje partnere. Nude sve vrste prirodnog i separiranog agregata. U ponudi imaju šljunak frakcije 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm i 16-32 mm. [5]

IGM Šljunčara Trstenik

Modernizacijom proizvodnih pogona, tvrtka danas koristi najsuvremeniju tehnologiju proizvodnje i mehanizaciju za eksploataciju, oplemenjivanje i preradu šljunka, a proces proizvodnje i proizvodi u ponudi tvrtke certificirani su prema međunarodnim normama. Iz bogatog izvorišta šljunka, uz pomoć suvremene mehanizacije i vrhunskih stručnjaka, stvaramo proizvode najviše kvalitete za naše partnere. [4]

Nude sve vrste prirodnog i separiranog šljunka te agregata za beton, za uporabu u građevinarstvu i cestogradnji. Uz proizvodnju i prodaju, pružamo vam usluge izvođenja svih vrsta zemljanih radova te usluge sanacije zemlje kontrolirane kakvoće. [4]

U ponudi imaju šljunak frakcije 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm i 16-32 mm. [4]

### 3. HRVATSKI TEHNIČKI PROPIS ZA AGREGATE

Hrvatskim tehničkim propisom za betonske konstrukcije su propisani svi bitni zahtjevi za građevinarstvo, nalaže sva tehnička svojstva za betonske konstrukcije u građevinarstvu i tehnička svojstva i druge zahtjeve za građevinske materijale koji se primjenjuju pri izvedbi betonskih konstrukcija. [1]

Tablica 1. prikazuje sva tehnička svojstva koja se provode na agregatu, te razrede koje moraju zadovoljiti agregati za ugradnju u betonske smjese u skladu sa normom HRN EN 12620, normom prema kojoj se provode ispitivanja za pojedinačna tehnička svojstva agregata i minimalnu učestalost provođenja pojedinih ispitivanja. [1]

*Tablica 1: Tehnička svojstva koja agregat mora ispunjavati za ugradnju u beton. [1]*

Svojstvo		Razred	Metoda ispitivanja	Najmanja učestalost ispitivanja
1	<b>Granulometrijski sastav</b>		EN 933-1 EN 933-10	Jednom tjedno
1.1.	Sitni agregat - $D \leq 4$ i $d=0$	GF85 i CP ili MP odnosno CF ili MF		
1.2.	Krupni agregat $D/d \leq 2$ ili $D \leq 11,2$ $D/d > 2$ i $D > 11,2$	GC85/20 GC90/15		
1.3.	Nefrakcionirani agregat - $D \leq 45$ i $d=0$	GA90		
1.4.	Punila			
2. <sup>1</sup>	<b>Sadržaj sitnih čestica</b>		EN 933-1	Jednom tjedno
2.1	Sitni agregat - $D \leq 4$ i $d=0$	f3 za prirodni f10 za drobljeni i miješani		
2.2.	Krupni agregat $D/d \leq 2$ ili $D \leq 11,2$ $D/d > 2$ i $D > 11,2$	f1.5		
2.3.	Nefrakcionirani agregat - $D \leq 45$ i $d=0$	f3		
3.	Oblik zrna krupnog agregata	SI40 za betone do razreda TČ C12/15 SI20 ostali beton	EN 933-3 EN 933-4	Jednom mjesečno
4.	Otpornost na drobljenje krupnog agregata	LA35 betone opće namjene	HRN EN 1097-2	

		LA30 betone razreda izloženosti XF1 do XF4		
5.	Sadržaj sulfata topivog u kiselini	AS0,2 svi agregati osim AS0,1 zrakom hlađena zgora	HRN EN 1744-1	
6. <sup>2</sup>	Sadržaj ukupnog sumpora	0,2% svi agregati osim 1% za zrakom hlađena zgora	HRN EN 1744-1	
7.	Sadržaj klorida kao ioni (Cl <sup>-</sup> )	0,15% za nearmirani beton -0,06% za armirani beton -0,03% za prednapeti beton	HRN EN 1744-1	
8.	Gustoća zrna i upijanje vode	Prema zahtjevu projektanta ili naručitelja	EN 1097-6	Jednom godišnje
9.	Nasipna gustoća	Prema zahtjevu projektanta ili naručitelja	HRN EN 1097-3	
10.	Sastojci uticajni na brzinu vezanja i očvršćivanja	Ne smije zadržavati organske tvari, šećer, lake čestice itd.	HRN EN 1744-1	
11.	Mineraloško- petrografski opis	Prema zahtjevu projektanta ili naručitelja	EN 932-3	Jednom u 3 godine
12.	Otpornost na smrzavanje krupnog agregata	FNR ili MSNR suho okruženje F2 ili MS25 razred izloženosti XF1 I XF3 F1 ili MS18 za razred izloženosti XF2 i XF4	HRN EN 1367-1 ili HRN EN1367-2	
13.	Otpornost na abraziju (AAV)	Razred niži od AAV20	HRN EN 1097-8	
14. <sup>3</sup>	Alkalno-silikatna reaktivnost			Ako se zahtjeva i u slučaju sumnje
15.	Sadržaj školjaka (SC) u krupnom agregatu		HRN EN 933-7	
16.	Skupljanje agregata uslijed sušenja	Betoni posebnih zahtjeva i uvjeta <0,075%	HRN EN 1367-4	
17.	Agregat iz zrakom hlađene zgora	Ne smije sadržavati raspadnutog dikalcijevog silikata i željeza	HRN EN 1744-1	

<sup>1</sup> ako je sadržaj sitnih čestica veći od 3% njihova kvaliteta procjenjuje se određivanjem ekvivalenta pijeska (SE) prema HRN EN 933-8 ili ispitivanjem metilenskim modrilom (MB) prema HRN EN 933-9

<sup>2</sup> Iznimno, ako u agregat ima pirotina, nestabilne forme željeznog sulfida FeS, tada ukupni sadržaj sumpora ne smije biti veći od 0,1%

<sup>3</sup> Kada agregat izložen vlazi sadrži alkalno-reaktivne sastojke (mogućnost reakcije s alkalijima Na<sub>2</sub>O i K<sub>2</sub>O iz cementa ili drugog izvora), treba provesti daljnja ispitivanja i poduzeti mjere sprječavanja alkalno-silikatne reakcije prema Izvještaju CEN CR 1901.

## **4. ODREĐIVANJE SVOJSTAVA AGREGATA ZA UGRADNJU U BETON.**

Prema normi HRN EN 12620 propisuju se **geometrijski, fizikalni i kemijski zahtjevi** koji se mogu tražiti od agregata namjenjenih za betone da ih ispunjavaju. Pojedina ispitivanja se mogu ili ne moraju provoditi ovisno o upotrebi agregata. Kad se traži ispitivanje pojedinog svojstva, ako normom nije određena granica unutar koje bi se kretalo ispitivano svojstvo, proizvođač može deklarirati razred. [1]

### **4.1. Određivanje (ispitivanje) geometrijskih svojstava agregata za ugradnju u beton**

Zahtjevi koji se odnose na geometrijska obilježja agregata služe da se odredi frakcija agregata, granulometrijski sastav, oblik zrna agregata, sadržaj školjki u krupnom agregatu, te sadržaj sitnih i kvaliteta sitnih čestica. Agregat se opisuje nazivom frakcije, koristeći se oznakom  $d/D$  od čega  $d$  – označava veličinu donjeg sita (mm), a  $D$  – veličinu gornjeg sita (mm). Frakcija se određuje koristeći jedan par sita čiji omjer  $D/d$  nije manji od 1,4. [1]

#### ***4.1.1. Granulometrijski sastav agregata***

Granulometrijski sastav agregata određen je sukladno sa normom HRN EN 933-1. Propisuje se zahtjev za svaku frakciju  $d/D$ . Kad agregat ide na procjenu unutar sustava tvorničke kontrole proizvoda minimalno 90% granulometrijskog sastava provedenog u raznim vremenskim ciklusima unutar najviše 6 mjeseci moraju biti unutar granične vrijednosti. [1]

#### **Opis ispitivanja**

Kod određivanja granulometrijskog sastava agregata, prvo se moraju provesti postupci smanjivanja mase uzorka u skladu s normom HRN EN 932-2 četvrtanjem ili pomoću razdjelnika. [11]

#### 4.1.1.1. Smanjenja mase uzorka četvrtanjem

Postupkom četvrtanja smanjenjujemo uzorak agregata na testni uzorak. Ovaj postupak se može izvoditi za bilo koju frakciju agregata. Osnovni uzorak frakcije agregata se sipa na radnu podlogu, na način da se stvori hrpa u obliku stošca. Zabija se štap u središnju os stošca i polaganim pokretima kružnice štapa se vrh stošca spljošti. Tako spljošten uzorak se čeličnim ravnalom razdijeli na četvrtine. Dva nasuprotna dijela uzorka se vraćaju u spremnik. Preostala dva dijela uzorka se koriste pri određivanju granulometrijskog sastava agregata. Postupak se ponavlja sve dok se početna masa uzorka ne smanji na vrijednost veću ili jednaku traženoj s obzirom na veličinu zrna D. (tablica 2). [11]

Tablica 2: Minimalna masa agregata (HRN EN 933-1) [11]

Maksimalno zrno agregata, D (mm)	Masa agregata (kg)
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤4	0,2

#### 4.1.1.2. Smanjivanje mase uzorka razdjelnikom

Razdjelnik je naprava s kojom se uzorak agregata smanjuje do količine testnog uzorka. Ova metoda smanjivanja se može izvoditi za sve frakcije agregata. Sijanjem uzorka frakcije agregata razdjelnikom agregat se odvaja u dva spremnika. Materijal iz prvog spremnika se vraća natrag u spremnik, dok se drugi spremnik koristi za određivanje pojedinog parametra agregata. Postupak se ponavlja sve dok se početna masa uzorka ne smanji na vrijednost veću ili jednaku traženoj s obzirom na veličinu zrna D. (tablica 2). [11]

#### 4.1.1.3. Određivanje granulometrijskog sastava agregata – metoda sijanja (HRN EN 933-1)

Za ispitivanje granulometrijskog sastava potreban je potpuno suh uzorak materijala. Potrebna masa uzorka se smanjuje na normiranu masu metodom četvrtaanja ili razdjelinkom. U tablici 2. su definirane minimalne mase uzorka ovisno o veličini zrna. Kod smanjivanja mase agregata potrebno je dobiti masu veću od definirane u tablici 2. Upisuje se i označava se sa  $M_1$ . Ovo ispitivanje se provodi za frakcionirani agregat. Za ispitivanje se koriste sita koja moraju zadovoljavati uvjete da je otvor na najgornjem situ veći od maskimalnog zrna frakcije koja se koristi. Sljedeća sita se slažu jedno na drugo tako da je na dnu ono sa najmanjim otvorom. Kao rezultat sijanja izračunava se da li je masa materijala na postojećim sitima prevelika, ako je tako potrebno je sijati više manjih uzoraka u par navrata. (tablica 3) [11]

Formula po kojoj se određuje maksimalno dopuštena masa uzorka na situ se izračunava prema izrazu (1), preuzetoj sa [11].

$$M_{max} = \frac{A\sqrt{d}}{200} \quad (1)$$

Gdje su:

$M_{max}$  – maksimalno dopuštenu masa uzorka (g)

$A$  – površina sita ( $\text{mm}^2$ )

$d$  - veličina otvora na situ (mm)



Postupak određivanja granulometrijskog sastava agregata:

### Ispiranje

Testni uzorak se stavlja u praznu posudu i potpuno se prekriva vodom, lagano se pretresa da bi se odvojile sitne čestice i ostavlja se na vremenski period od 24 sata da se materijal namoči. Nakon 24 sata uzorak se ispiru kroz sito otvora od 0,063 mm ,iznad kojeg se nalazi zaštitno sito od 1 ili 2 mm. Uzorak se suši u pećnici na temp. 110°C do utvrđene stalne mase.

### Sijanje

Na uređaj za sijanje postavlja se set sita tako da je najgornje sito većeg otvora od onog na dnu. Osušeni materijal sipa se u najgornje sito, uređaj za sijanje se uključuje i sije se određeno vrijeme od otprilike 2 minute po broju sita koja su korištena pri sijanju. Nakon završetka sijanja vade se sita počevši sa najgornjim sitom i važu se ostaci na sitima.

### Vaganje

Vaganje ostataka na sitima počinje se od najvećeg prema najmanjem situ, bilježeći masu sa oznakom  $R_i$  za svako sito. Ostatak u posudi na dnu uređaja važe se posebno i zapisuje oznakom P.

### Izračun

Izračunava se masa ostataka na svakom situ posebno kao postotak udjela u ukupnoj masi. Izračunava se kumulativni postotak prolaza za sva sita osim za sito od 0,063 mm. Dodatno se izračunava postotak sitnih čestica koje su prošle kroz sito od 0,063 mm i taj podatak se zapisuje. Izrađuje se numerički i kumulativni granulometrijski sastav agregata, te se grafički prikazuje krivulja prosijavnja agregata u dijagramu. [11]

Tablica 3: Razredi granulometrijskog sastava agregata prema HRN EN 12620 [3]

Agregat	Veličina	Maseni postotak prolaza					Razred G <sup>d</sup> (oznake razreda: G <sub>fine</sub> , G <sub>course</sub> , G <sub>all-in</sub> , G <sub>tolerances</sub> )
		2 D	1.4 D <sup>“</sup>	D	d	d/2	
Sitni agregat	D≤4 i d=0	100	95-100	85-99	-	-	G <sub>F</sub> 85 i CP ili MP odnosno CF ili MF <sup>““</sup>
Krupni agregat	D/d≤2 ili D≤11,2	100	98-100	85-99	0-20	0-5	G <sub>C</sub> 85/20
	D/d>2 ili D>11,2	100	98-100	90-99	0-15	0-5	G <sub>C</sub> 90/15
	Razred dopuštenog odstupanja na situ srednje veličine D/1.4: G <sub>T</sub> 15						
Nefrakcionirani agregat	D≤45 i d=0	100	98-100	90-99	-	-	G <sub>A</sub> 90
<sup>“</sup> ako proračunana veličina otvora sita ne odgovara nazivi sita, usvojiti sljedeću veću dimenziju otvora sita <sup>““</sup> Za dodatni opis agregata mogu se rabiti i oznake navedene u tablici 2.56 ili 2,57. oznaka C odnosi se na krupni ,a M na srednje graduirani agregat , a iza tih oznaka dodaje se P, ako se agregat opisuje pomoću postotka prolaza mase kroz sito otvora 0,5 mm, odnosno F za modul finoće							

#### 4.1.2. Određivanje oblika zrna – indeks oblika (HRN EN 933-4)

Na uzorku potrebnom za ispitivanje smanjuje se masa, uzorak se mora sušiti u pećnici na temperaturi od 110°C do stalne mase. Smanjivanje mase je moguće četvrtanjem ili razdjelnikom. Nasumično se izabiru 25 zrna iz svake frakcije važu se i zapisuju . Svakom zrnu se posebno mjeri najveća dužina L i najkraća širina E uz pomoć kljunastog mjerila. Rezultati se zapisuju. Zrno čiji omjer L/E > 3 se uklanja. Veći broj ovakvih zrna mogu loše utjecati na kvalitetu betona

Formula po kojoj se određuje indeks oblika se izračunava prema izrazu (2), preuzetom sa [11].

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100(\%) \quad (2)$$

Gdje su:

SI - indeks oblika krupnog agregata

M<sub>2</sub> - masa zrna kojima je omjer L/E >3 (g)

$M_I$  - ukupna masa zrna agregata(g)

$L$  - duljina zrna

$E$  - debljina zrna

Rezultate mjerenja zapisujemo u tablicu prema pojedinoj frakciji i izračunanom indeksom oblika. Indeks šljostenosti i indeks oblika su deklarirani prema odgovarajućem razredu (tablica 4) koji ovise o mjestu primjene i krajnjim upotrebama.[11]

Koeficijent oblika  $k_F$  se izračunava prema izrazu (3), preuzetog sa [11]

$$k_F = \frac{\Sigma V_{ST}}{\Sigma V_K} = 0,15 \dots 0,18 \quad (3)$$

Gdje su:

$k_F$  – koeficijent oblika zrna

$\Sigma V_{ST}$  – stvarni volumen zrna potopljenog u vodi ( $\text{mm}^3$ )

$\Sigma V_K$  – volumen idealne kugle formula glasi  $\left(\frac{4}{3} * \pi * r^3\right)$  ( $\text{mm}^3$ )

Tablica 4: Razredi indeksa oblika zrna krupnog agregata [8]

Indeks oblika	Razred $SI$
$\leq 15$	$SI_{15}$
$\leq 20$	$SI_{20}$
$\leq 40$	$SI_{40}$
$\leq 55$	$SI_{55}$
Nema zahtjeva	$SI_{NR}$

$SI_{40}$ –za betone do uključivo razreda tlačne čvrstoće 12/15

$SI_{20}$ –za ostale betone -prema TPBK (Tehnički Propis za Betonske Konstrukcije)

#### 4.1.3. Određivanje udjela sitnih čestica - određivanje ekvivalenta pijeska (HRN EN 933-8)

Sitne čestice koje se nalaze u agregatu se ne smatraju štetnim, ako zadovoljavaju barem 1. od 4. navedena zahtjeva:

- ako je ukupni sadržaj sitnih čestica manji od 3% ili vrijednost određene važećom odredbom na mjestu korištenja agregata;
- ako je vrijednost ekvivalenta pijeska (SE) ispitana sukladno s normom EN 933-8 prelazi navedenu donju graničnu vrijednost;
- ako ispitivanjem metilenskim plavilom (MB) sukladno s normom EN 933-9 daje vrijednost manju od određene granične vrijednosti;
- i ako je ustanovljena istovjetnost ponašanja s poznatim zadovoljavajućim agregatom ili postoji dokaz o zadovoljavajućoj upotrebi bez iskustvenih problema. [1]

Tablica 5 : Razredi masenog udjela sitnih čestica u agregatu. [8]

Agregat	Maseni % prolaza, sito 0,063 mm	Razred (f)
Krupni	$\leq 1,5$	$f_{1,5}$
	$\leq 4$	$f_4$
Prirodni 0/8 mm	$\leq 3$	$f_3$
	$\leq 10$	$f_{10}$
	$\leq 16$	$f_{16}$
Miješani	$\leq 3$	$f_3$
	$\leq 11$	$f_{11}$
Sitni	$\leq 3$	$f_3$
	$\leq 10$	$f_{10}$
	$\leq 16$	$f_{16}$
	$\leq 22$	$f_{22}$
	Nema zahtjeva	$f_{NR}$

## Opis postupka ispitivanja

Ispitivanje počinje pripremom agregata, agregat se prosijava sitom otvora od 2 mm. Zaštitno sito se stavlja iznad sita od 2 mm. Uzorak se smanjuje sukladno s prethodno navedenim postupcima na dva manja poduzorka i količina potrebna za ispitivanje frakcijom 0-2 mm. Prvim poduzorkom određujemo vlažnost u laboratorijskom uzorku, zapisujemo rezultate vlažnosti uzorka. Preostali poduzorak podijelimo na dva jednaka dijela. U 5 litara destilirane vode ulijemo koncentriranu otopinu kalcijevog klorida, glicerina, formaldehida u količini od  $125 \pm 1$  mililitar. Dobivena otopina ulijeva se u dvije menzure. Količina otopine u menzurama mora biti do donje oznake. Lijevkom ulijevaju se uzorci agregata u menzuru. Laganom trešnjom menzure oslobađa se zarobljeni zrak i uzorak se moći u otopini. Uzorak ostaje desetak minuta u menzuri da miruje. Jedna menzura se zatvara i stavlja u držač treskalice na 30 sekundi. Menzura se skida sa držača treskalice i stavlja se u vertikalni položaj. Postupak se ponavlja i sa drugom menzutom. Poklopac se skida s menzure i materijal koji je ostao zaljepljen na poklopcu ispiru se otopinom u menzuru. Također se ispiru i stjenke. Menzura se puni do gornje oznake i materijal se ostavlja na 20 minuta da se slegnu fine čestice agregata. Nakon toga vremena mjeri se ukupna visina posebnom napravom za mjerenje. Naprava se utiskuje u materijal sve dok ne dođe do razine pijeska u menzuri i mjeri se visina uzorka. Postupak se ponavlja i sa drugom menzutom. [19]

### 4.1.4. Određivanje sadržaja školjaka u krupnom agregatu (HRN EN 933-7)

Krupni agregat se ispituje na sadržaj školjaka sukladno sa normom HRN EN 933-7, te mora zadovoljiti razred (tablica 6) prema normi HRN EN 12620. [3]

Tablica 6 .Razred sadržaja školjaka,SC [3]

Razred SC*	Sadržaj školjaka (%)
SC <sub>10</sub>	≤ 10
*Shell Content (sadržaj školjaka)	

## 4.2. Određivanje (ispitivanje) fizikalnih svojstava agregata za ugradnju u beton

Kod fizikalnih karakteristika agregata ubrajamo: otpornost na drobljenje, otpornost na habanje, otpornost na upotrebu u površinskim slojevima na poliranje i abraziju, gustoću zrna i svojstvo apsorpcije vode, nasipne gustoće i trajnosti (otpornost na smrzavanje/odmrzavanje, volumna postojanost – skupljanje uslijed sušenja, alkalno-silikatna reaktivnost). [1]

### 4.2.1. Određivanje gustoće zrna i volumenske mase

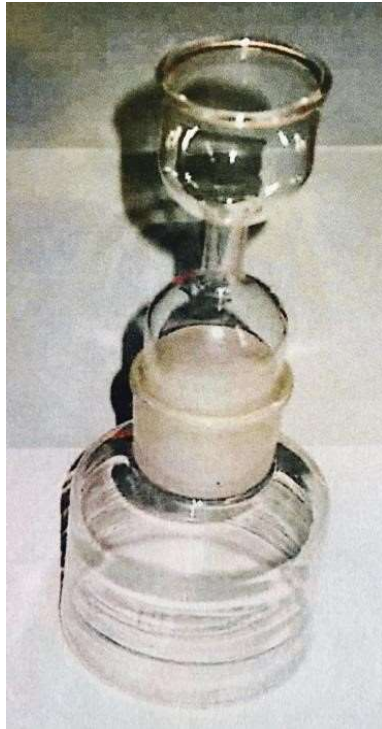


Slika 13: Uređaj za vaganje pod vodom s mrežastom košarom [18]

Krupni agregat (frakcije 4-8, 8-16 i 16-32 mm)

Uzorak potreban za ispitivanje uranja se u vodu na period od 24 sata, nakon čega se ispiru prašinate i glinovite čestice. Agregat se procijedi kroz mrežastu košaru za vaganje pod vodom. Tako procijeden materijal se važe na zraku ( $m_{wv}$ ). Na slici 13 je prikazan uređaj za mjerenje težine materijala pod vodom. Potom se materijal stavlja na suhu krpu i briše dok se ne ukloni suvišna voda (površinska vlažnost) na agregatu. Tako zasićen površinski suh (zps) materijal se ponovno važe na zraku ( $m_z$ ) i pod vodom ( $m_{zw}$ ). Nakon vaganja pod vodom, agregat se stavlja u posudu i suši se na električnoj

ploči do stalne mase. Nakon što se agregat osušio ponovno se važe masa potpuno suhog materijala ( $m_d$ ) i zapisuju se dobivene vrijednosti. [18]



Slika 14: Piknometar [11]



Slika 15 : Sušenje električnim puhalom [19]

#### Sitni agregat (frakcija 0-4 mm)

Materijal se uranja u vodu na vremenski period od 24 sata, nakon kojih se agregat ispire na situ 0,063 mm. Potom se piknometar (slika 14) ispunjava vodom do označenog nivoa i izvaže se masa piknometra ispunjenog vodom ( $m_{Bw}$ ). Jedan dio vode se izlijeva iz piknometra. Iz spremnika u kojem se nalazio agregat (pijesak) pažljivo se (da se ne bi izgubio dio uzorka) izlija voda, te se pijesak sa lopaticom prebacuje u piknometar. Piknometar se laganim kružnim pokretima potresa da sav moguće zarobljeni zrak izade van. Potom se piknometar nadopuni do označenog nivoa, obriše se od viška materijala i važe se ( $m$ ). Uzorak materijala se vadi iz piknometra i važe (vlažan pijesak –  $m_{wv}$ ). Nakon čega se materijal suši u posudi s električnim puhalom (fenom)(slika 15) dok se ne utvrdi da je uzorak površinski suh. Potom se pokusom krnjeg stošca može potvrditi da je materijal površinski suh. Postupak sa krnjim stošcem se provodi na načina da se kalup u obliku krnjeg stošca napuni sa prethodno osušenim materijalom i laganim nabijanjem materijala s 25 udaraca šipkom sabija materijal. Nakon uklanjanja kalupa ako materijal nije zadržao oblik kalupa (ako se „osipao“) može se zaključiti da je pijesak površinski suh, te se važe takav materijal ( $m_z$ ). Potom se materijal suši do stalne mase i izvaže ( $m_d$ ). Dobiveni rezultati se zapisuju i izračunavaju. [18]

#### ***4.2.2. Određivanje nasipne gustoće agregata***

Nasipnu gustoću se može provoditi za svaku veličinu frakcije sukladno normi HRN EN 1097-3. Minimalni volumeni posuda za mjerenje ovise o veličini frakcije agregata koja se mjeri. Za potrebe mjerenja koristi se posuda od jedne litre za frakciju 0-4 mm, posuda od pet litara za frakcije 4-8 i 8-16 mm i posuda od deset litara za frakciju 16-32 mm.





Slika 16: Posuda za mjerenje, šipka za nabijanje i ravnjača [18]

#### Nasipna gustoća u rastresitom stanju

Agregat koji se koristi za ispitivanje nasipne gustoće u rastresitom stanju se suši u pećnici na  $110^{\circ}\text{C}$  do stalne mase. Na vagu se stavlja posuda za mjerenje (slika 16) i vaga se tarira na nulu, te se zatim posuda ukloni sa vage, kako bi ju mogli napuniti s prethodno osušenim materijalom. Posuda se puni materijalom s visine od 5 cm, dok se posuda ne prepuni. Višak materijala uklanja se čelični ravnalom kako bi se poravnalo sa vrhom posude. Tako napunjena posuda stavlja se na vagu i očitava se masa materijala u rastresitom stanju ( $m_r$ ). [18]

#### Nasipna gustoća u zbijenom stanju

Uzorak koji se koristi za ispitivanje nasipne gustoće u zbijenom stanju suši se u pećnici na  $110^{\circ}\text{C}$  do stalne mase. Na vagu se stavlja posuda za mjerenje (slika 16) i vaga se tarira na nulu, te se posuda ukloni sa vage, kako bi ju mogli napuniti sa prethodno osušenim materijalom. Posuda se puni do  $1/3$  volumena, na isti način kao kod prethodnog ispitivanja sa visine od 5 cm. šipkom za nabijanje 25 puta se udara materijal da ga se zbije, zatim se dodaje otprilike ista količina materijala i ponovno se nabija šipkom na način da se šipkom prodre u prijašnji sloj uzorka. Posuda se potom puni agregatom i ponovno se sabija šipkom 25 puta. Suvišan materijal se uklanja čeličnim ravnalom kako bi se poravnalo sa vrhom posude. Tako napunjena posuda stavlja se na vagu i očitava se masa materijala u zbijenom stanju ( $m_n$ ). [18]

#### 4.2.3. *Određivanje apsorpcije vode , površinske vlažnosti i vlažnosti agregata.*

Za izračun postotka apsorpirane vode (upijanje), površinske vlažnosti i same vlažnosti agregata, koriste se podaci dobiveni pri mjerenjima kod određivanja gustoće i volumenske mase. [12]

#### 4.2.4. *Ispitivanje otpornosti agregata na drobljenje (Los Angeles metoda)*

Ispitivanje metodom „ Los Angeles “

Određivanje otpornosti agregata na drobljenje metodom "Los Angeles" se provodi u skladu s normom HRN EN 1097-2. Postoci otpornosti agregata na drobljenje označavaju se razredima koji su prikazani u tablici 7. [18]

*Tablica 7: Razredi otpornosti krupnog agregata na drobljenje [8]*

Los Angeles koeficijent	Razredi LA
$\leq 15$	LA <sub>15</sub>
$\leq 20$	LA <sub>20</sub>
$\leq 25$	LA <sub>25</sub>
$\leq 30$	LA <sub>30</sub>
$\leq 35$	LA <sub>35</sub>
$\leq 40$	LA <sub>40</sub>
$\leq 50$	LA <sub>50</sub>
$>50$	LA deklarirano
Nema zahtjeva	LA <sub>NR</sub>

- LA<sub>35</sub> za betone opće namjene,
- LA<sub>30</sub> za betone razreda izloženosti XF1 do XF4 –prema TPBK (Tehnički Propis za Betonske Konstrukcije)
- LA<sub>15</sub> i LA<sub>20</sub> za betone posebnih namjena.



Slika 17: Agregat nakon prosijavanja podijeljen na frakcije [18]



Slika 18: Postavljanje kugli u bubanj [18]



Slika 19: Bubanj nakon 500 okretaja [18]



Slika 20: Prosijani agregat kroz sito 1,6 mm [18]



Slika 21: Prosijani agregat nakon izlaska iz bubnja [18]

Poslani uzorak u laboratorij mora imati minimalnu masu od 15 kilograma zrna u rasponu između 10 i 14 mm. Ispitivanje se primjenjuje za agregat koji prolazi kroz sito otvora 14 mm i ostaje na situ otvora od 10 mm. Testni se uzorci razvrstavaju sukladno sljedećim zahtjevima, da testni uzorci moraju sadržavati minimalno 60 do 70% zrna koja prolaze kroz sito otvora od 12,5 mm ili minimalno 30 do 40% zrna koja prolaze kroz sito otvora 11,2 mm. [18]

Laboratorijski uzorak se dobiva korištenjem sita sa otvorima od 10 mm, 11,2 mm i 14 mm kako bi se razdvojile frakcije u rasponu od 10 – 11,2 mm i od 11,2 – 14 mm. Svaku frakciju agregata treba isprati sukladno s normom HRN EN 933-1 i osušiti do stalne mase. Frakcije se ostavljaju na sobnoj temperaturi da se ohlade. Nakon tog postupka te se dvije frakcije pomiješaju kako bi dobilo frakciju u rasponu od 10 – 14 mm. Dobiveni laboratorijski uzorak treba se smanjiti na veličinu testnog uzorka sukladno normi HRN EN 932-2 (postupkom četvrtanja ili pomoću razdjelnika). Uzorak koji se koristi u ispitivanju mora imati masu od 5 kg. [18]

Na početku ispitivanja provjerava se da li je bubanj čist. Zajedno sa uzorkom u bubanj se stavljaju čelične kuglice u određenom broju i težinu sukladno svakoj frakciji (slika 18). Bubanj se zatvara, na brojčaniku se namješta vrtnja bubanja na 500 okr./min. pri konstantnoj brzini, u vremenskom periodu između 31 do 33 minute. Nakon tog perioda agregat se izlijeva u ladicu ispod uređaja, pazeći da se materijal ne prosipa van ladice. Bubanj se čisti, uklanjaju se sve sitne čestice i pažljivo se uklanjaju kugle iz ladice. Posebno treba paziti da se materijal iz ladice ne izgubi dok se vade kugle. Po završetku procesa dobiveni agregat se mora prosijati da bi mu se utvrdio granulometrijski sastav sukladno sa normom HRN EN 933-1 koristeći sito otvora od 1,6 mm. Agregat koji je ostao na situ potrebno je osušiti na temperaturi od 110°C dok ne postigne stalnu masu. [18]

Los Angeles koeficijent se izračunava prema izrazu (4),preuzetom sa [18]

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (4)$$

gdje je:

$m$  – masa uzorka zadržanog na situ okna 1,6 mm (g)

Sukladno važećim standardima Los Angeles koeficijent ne bi smio prelaziti vrijednost od 30. Europskim standardima ta vrijednost ne smijela biti veća od najvećih dopuštenih vrijednosti za odabrani razred koeficijenta. Raspon dopuštenih koeficijenata kreće se između  $LA_{15}$  i  $LA_{50}$ ,  $LA_{\text{deklarirano}}$  ili  $LA_{NR}$  uzevši u obzir mjesto krajnje upotrebe agregata.[18]

#### 4.2.5. Ispitivanje otpornosti agregata na cikluse smrzavanja i odmrzavanja.

Čimbenici koji utječu na osjetljivost agregata na smrzavanje i odmrzavanje mogu biti klimatski uvjeti, vrste stijenske mase, mjesta ugradnje i sastav same stijene. Najčešća oštećenja agregata vezana su uz klimatske uvjete odnosno na period smrzavanja i odmrzavanja, količine i dužine trajanja perioda smrzavanja i odmrzavanja. Mjesta gdje je agregat najizloženiji oštećenjima su vrlo vlažne sredine i sredine potpuno zasićene vodom. Posebna opasnost od oštećivanja se javlja kada je agregat u kontaktu sa morskom vodom ili solima za odmrzavanjem. Čvrstoća zrna, veličina, raspored pora i druge nepravilnosti direktno se povezuju sa otpornošću na smrzavanje i odmrzavanje. Petrografskom analizom ili ispitivanjem fizikalnih svojstava može se ukazati na sumnju da agregat nije otporan na cikluse smrzavanja i odmrzavanja. Zadovoljavanjem zahtjeva iz ovih ispitivanja agregat se može smatrati otpornim. Prisutnost slabih ili zrna sa velikom sposobnošću upijanja za koje se sumnja da su bili pod utjecajem smrzavanja i odmrzavanja može se detektirati petrografskom analizom sukladno normi EN 932-3. Otpornost na smrzavanje i odmrzavanje agregata može se provjeriti i kroz ispitivanje betona. [1]

Agregati koji se dobivaju iz vrlo trošnih stijena ili nekih konglomerata i breča mogu biti osjetljivi na cikluse smrzavanja i odmrzavanja, jer sadržavaju primjerice: škriljavce, tinjčeve škriljavce, kredu, filite, lapore, porozne rožnjake, izmjenjene porozne bazalte ili čestice slabo vezanih minerala gline. Da bi se procijenilo svojstvo otpornosti agregata na cikluse smrzavanja i odmrzavanja, mogu se primjeniti vrijednosti smrzavanja/odmrzavanja određene sukladno sa normom EN 1367-1 ili vrijednost dobivenu iz ispitivanja magnezijevim sulfatom određenog sukladno sa normom EN 1367-2. Ispitivanjem sa magnezijevim sulfatom smatra se najboljim za uvjete kada je agregat u kontaktu sa morskom vodom ili solima za odmrzavanje. [1]

Za određivanje postotka gubitka mase uzorka uslijed procesa smrzavanja-odmrzavanja ili potapanja u otopinu magnezijevog sulfata ( $MgSO_4$ ) koristi se formula koja se proračunava prema izrazu (5), preuzetoj iz [8].

$$G_m = \frac{m_d - m_p}{m_d} * 100 \text{ (mas, \%)} \quad (5)$$

Gdje su:

$G_m$ – gubitak mase u masenim postotcima

$m_d$ – masa suhe frakcije agregata prije potapanja

$m_p$ – masa frakcije agregata nakon n ponovljenih smrzavanja –odmrzavanja, ili potapanja u otopinu magnezijevog sulfata ( $MgSO_4$ ).

Otpornost na cikluse smrzavanja/odmrzavanja krupnog agregata ispituje se prema normi HRN EN 1367-1 ili 1367-2, te mora zadovoljiti razrede prema normi HRN EN 12620. (tablica 8) [8]

Tablica 8: Postotak masenog gubitka (%) [8]

Gubitak mase (mas. %) Smrzavanje-odmrzavanje	Razred (F)
$\leq 1$	$F_1$
$\leq 2$	$F_2$
$\leq 4$	$F_4$
Nema zahtjeva	$F_{NR}$

Gubitak mase (mas. %) Magnezijev sulfat	Razred (MS)
$\leq 18$	$MS_{18}$
$\leq 25$	$MS_{25}$
$\leq 35$	$MS_{35}$
Nema zahtjeva	$MS_{NR}$

- $F_{NR}$  ili  $MS_{NR}$ –za betone u suhom okruženju
- $F_2$  ili  $MS_{25}$ –za betone razreda izloženosti XF1 i XF3
- $F_1$  ili  $MS_{18}$ –za betone razreda izloženosti XF2 i XF4 –prema TPBK (Tehnički Propis za Betonske Konstrukcije)

#### 4.2.6. Ispitivanje otpornosti na habanje krupnog agregata (micro Deval-ova metoda)

- bubanj promjera 200 mm
- čelične kuglice 9,5 mm
- $m_u = 500$  g
- 2,5 L vode + 500 g kuglica
- Brzina okretaja 100 okr./min
- Ukupno 12.000 okretaja
- Prosijavanje na situ  $d = 1,60$  mm

Dobiveni rezultati ovog ispitivanja se deklariraju prema (tablici 9) [8]

Tablica 9: Razredi otpornosti krupnog agregata na habanje (micro Deval-ova metoda) [8]

Micro-Devalov koeficijent	Razredi $M_{DE}$
$\leq 10$	$M_{DE}10$
$\leq 15$	$M_{DE}15$
$\leq 20$	$M_{DE}20$
$\leq 25$	$M_{DE}25$
$\leq 35$	$M_{DE}35$
Nema zahtjeva	$M_{DE}NR$

#### 4.2.7. Ispitivanje otpornosti krupnog agregata za potrebe površinskim slojevima na poliranje i abraziju.

Za betone koji su izloženi površinskoj abraziji, ispituje se sukladno sa normom HRN EN 1097-8, te mora biti zadovoljen razred prema normi HRN EN 12620, ovisno o količini površinske abrazije, vrijednost abrazije ne smije premašiti onu zadanu u tablici 10.

Tablica 10: Razred otpornosti na abraziju AAV [3]

Razred AAV*	Vrijednost abrazije
AAV <sub>20</sub>	$\leq 20$
* <i>Aggregate Abrasion Value</i> (vrijednost abrazije agregata)	



### **4.3. Određivanje (ispitivanje) kemijskih svojstava agregata za ugradnju u beton**

Kako bi se utvrdila količina klorida u agregatu, spojeva na bazi sumpora (sulfati topivi u kiselini, te ukupni sadržaj sumpora) i drugih sastojaka koji mogu utjecati na brzinu vezivanja i očvršćivanja betona, na volumensku postojanost zrakom hladene zgre, te sadržaja karbonata u sitnom agregatu za površinske slojeve betonskih kolnika potrebno je provesti ispitivanje kemijskih svojstava. [1]

#### ***4.3.1. Sastojci koji utječu na brzinu vezanja i očvršćivanja betona***

U agregatu i punilima često se nalaze organske ili druge tvari u velikim količinama koje mogu značajno utjecati na samu brzinu vezivanja i stvrdnjavanja betona, te je potrebno provjeriti njihove utjecaje za vrijeme stvrdnjavanja i na tlačnu čvrstoću betona sukladno sa normom EN 1744-1:1998. Maksimalni udio tih tvari u agregatu mora biti takav da ne:

- 1) povećava vrijeme stvrdnjavanja testnih uzoraka morta za više od 120 minuta;
- 2) smanjuje tlačnu čvrstoću testnih uzoraka morta za više od 20% pri starosti od 28 dana.

Neki sastavni dijelovi agregata mogu utjecati na vrijeme hidratacije cementne paste čime se može promijeniti brzina vezivanja i stvrdnjavanja betona. Dva materijala koji mogu tako utjecati na cementnu pastu su humusi i materijali slični šećeru. Glina također može imati utjecaj na vrijeme povećanja čvrstoće i u konačnici na same karakteristike betona kojeg je ona sastavni dio. [1]

#### ***4.3.2. Utjecaj kemijskih sastojaka agregata na trajnost betona***

Soli klorida obično se nalaze u agregatu u obliku kalijevih i natrijevih soli, njihova količina može varirati ovisno o mjestu eksploatacije. Ove soli mogu doprinijeti ukupnom sadržaju klorida i alkalija u betonima. Da bi se smanjila opasnost od pojave korozije kod ugrađenih armatura sadržaj iona klorida u betonu se mora ograničiti. Količina iona klorida topivih u vodi u agregatu koji je izvađen u većini kopnenih nalazišta vrlo je niska. Ako se analizom dokaže da je količina klorida u agregatu manja od 0,01%, ovu podatak se može primijeniti

u postupku proračuna na temelju maksimalnog sadržaja klorida kao sastavnog materijala u betonu. (Tablica 11) [1]

Tablica 11: Sadržaj iona klorida ispitivan prema normi HRN EN 1744-1 [3]

Maksimalni sadržaj iona klorida(%)	Namjena
0,15	nearmirani beton
0,06	armirani beton
0,03	prednapeti beton

Sulfati u agregatu mogu doprinijeti ekspanzijskom slomu betona. Značajan udio sulfata u kristalnoj strukturi zgure se nalazi u zrnima i zato ne mogu sudjelovati u reakciji hidratacije cementne paste. Iz toga razloga u smjesi zgure dopušteni su veći postoci sulfata. U nekim drugim okolnostima ostali spojevi sumpora u agregatu mogu oksidirati i također mogu stvoriti sulfatne spojeve koji doprinose ekspanzijskom slomu betona. Agregat koji sadrži sulfate se ispituje prema normi HRN EN 1744-1, te mora zadovoljiti razrede prema normi HRN EN 12620. (tablica 12) [1]

Tablica 12: Maseni udio sulfata topljiv u kiselini (AS) [8]

Agregat	Maseni % sulfata topljivih u kiselini	Razred (AS)
Agregat ili šljaka koja nije hlađena zrakom	$\leq 0,2$	AS <sub>0,2</sub>
	$\leq 0,8$	AS <sub>0,8</sub>
Zrakom hlađena šljaka	$\leq 1,0$	AS <sub>1,0</sub>
	Nema zahtjeva	AS <sub>NR</sub>

- AS<sub>0,2</sub> je za sve agregate osim sa zrakom hlađene šljake
- AS<sub>1,0</sub> je za zrakom hlađenu šljaku – prema TPBK (Tehnički Propis za Betonske Konstrukcije) [1]

### Alkalno-silikatna reakcija

Neki agregati reagiraju sa alkalijskim hidroksidima prisutnim u pornim tekućinama betona. Kod nepovoljnih uvjeta i uz prisustvo vlage može doći do reakcije alkalijskih hidroksida sa

vodom, te može doći do ekspanzije materijala i posljedično do raspucavanja betona. Najčešća reakcija javlja se između alkalija i određenog oblika silicijevog dioksida ili alkalno-silikatna reakcija. Rjeđe se javlja alkalno-karbonatna reakcija. Da ne bi došlo do reaktivnog raspucavanja betona zbog nekih kombinacija cementa i agregata poželjno je odabrati barem jednu mjeru opreza od navedenih uvjeta:

- da se ograniči ukupni sadržaj alkalija u betonskim mješavinama;
- da se upotrebljava cement s niskim sadržajem aktivnih alkalija;
- da se upotrebljavaju nereaktivne kombinacije agregata;
- te da se ograniči količine vode u betonu i njegova zasićenost. [1]

#### **4.3.3. Sastojci koji utječu na površinsku obradu betona**

Kada izgled betona predstavlja presudno svojstvo, u sastavu agregata ne smiju se nalaziti materijali čiji udjeli mogu nepovoljno utjecati na kvalitetu i trajnost betonske površine. S obzirom da male količine nečistoća mogu značajno utjecati na površinu betona i njegovu obradu, potrebno je pripaziti kod odabira nalazišta za pojedine upotrebe. Udjeli laganih organskih nečistoća, određen je u skladu sa normom EN 1744-1:1998, 14.2, te ne bi smio biti veći od:

- a) 0,5 % masenog udjela sitnog agregata; ili
- b) 0,1 % masenog udjela krupnog agregata.

Kada je površina betona važno svojstvo, udio laganih organskih nečistoća, određen je u skladu s EN 1744-1:1998, 14.2, ta ne bi smio biti veći od:

- a) 0,25 % masenog udjela sitnog agregata; ili
- b) 0,05 % masenog udjela krupnog agregata.

U slučaju da je potreban svijetao izgled betona, potrebno je napraviti dodatne dogovore u vezi dopuštenih količina laganih organskih nečistoća u betonu. Poneki sastojci agregata mogu imati značajan utjecaj pri površinskoj obradi betona, uzrokujući mrljanje, obezbojenje, bubrenje ili izbočivanje ako se nalaze preblizu površini betona. Posebno jaku reakciju na beton imaju željezov sulfid i lignit koji su primjerci takvih materijala.[1]

## **5. USPOREDBA SVOJSTAVA AGREGATA RAZLIČITIH PROIZVOĐAČA**

Nakon skupljenih specifikacija agregata s više mjesta iskopa usporedio sam njihova fizikalna, kemijska i mehanička svojstva. Za usporedbu od prikupljenih podataka različitih proizvođača izabrao sam frakcije 0-4, 4-8, 8-16 mm i usporedio neke njihove karakteristične vrijednosti agregata. Usporedbom ovih rezultata došao sam do zaključka da se vrijednosti laboratorijskih ispitivanja agregata u frakcije 0-4, 4-8, 8-16 mm, dolje navedenih proizvođača ne razlikuju previše, odstupanja u podacima su minimalni.

## Frakcija 0-4 mm

Kod granulometrijskog sastava frakcije 0-4 mm jedina razlika je da kamenolom Garica ima  $G_{F85}$  ( $G_{fine}$ ),  $G_{A90}$  ( $G_{all-in}$ ),  $G_{TC20}$  ( $G_{tolerances}$ ), dok ostala dva kamenoloma imaju  $G_{F85}$  ( $G_{fine}$ ). Kod svojstva apsorpcije vode pojavljuju se različite vrijednosti koje se kreću od 0,5% do 2% WA (Water Absorption) koji u konačnici mogu imati značajnu ulogu kod određivanja količine vode u izradi betonske mješavine. Razlika je i u količini ukupnog sadržaja sumpora, u kamenolomu Garica vrijednost sadržaja sumpora je 0,01%, dok kod kamenoloma Šumber i Plovanija vrijednost sadržaja sumpora je  $\leq 1\%$ . Razlika je i u količini klorida, u kamenolomu Garica vrijednost sadržaja klorida je 0,00%, dok kod kamenoloma Šumber i Plovanija vrijednost sadržaja klorida je 0,01%.

Frakcija 0-4	Kamenolom Garica	Kamenolom Šumber	Kamenolom Plovanija
Granulometrijski sastav	$G_{F85}$ , $G_{A90}$ , $G_{TC20}$	$G_{F85}$	$G_{F85}$
Sadržaj sitnih čestica	$f_{10}$	$f_{10}$	$f_{10}$
Kloridi	0,00%	0,01%	0,01%
Sulfati topivi u kiselini	$AS_{0,2}$	$AS_{0,2}$	$AS_{0,2}$
Ukupni sadržaj sumpora	0,01%	$\leq 1\% S$	$\leq 1\% S$
Upijanje vode	0,5% WA	1,7% WA	$WA_{242}$
Otpornost na drobljenje krupnog agregata	ne provode ovo ispitivanje	$LA_{30}$	$LA_{30}$
Otpornost na habanje	ne provode ovo ispitivanje	$M_{DE15}$	$M_{DE15}$

## Frakcija 4-8 mm

Kod granulometrijskog sastava frakcije 4-8 mm jedina razlika je da kamenolom Garica ima,  $G_{C90/15}(G_{corse}), G_{25/15}$ , dok ostala dva kamenoloma imaju  $G_{C85/20}(G_{corse})$ . Kod svojstva apsorpcije vode pojavljuju se različite vrijednosti koje se kreću od 0,5% do 2% WA (Water Absorption) koji u konačnici mogu imati značajnu ulogu kod određivanja količine vode u izradi betonske mješavine. Razlika je i u količini ukupnog sadržaja sumpora, u kamenolomu Garica vrijednost sadržaja sumpora je 0,01%, dok kod kamenoloma Šumber i Plovanija vrijednost sadržaja sumpora je  $\leq 1\%$ . Razlika je i u količini klorida, u kamenolomu Garica vrijednost sadržaja klorida je 0,00%, dok kod kamenoloma Šumber vrijednost je  $\leq 0,01\%$ , a kod kamenoloma Plovanije vrijednost sadržaja klorida je 0,01%. Razlikuje se kod sadržaja sitnih čestica kamenolom Garica ima  $f_{1,0}$ , a Šumber i Plovanija imaju  $f_{1,5}$

Frakcija 4-8	Kamenolom Garica	Kamenolom Šumber	Kamenolom Plovanija
Granulometrijski sastav	$G_{C90/15}, G_{25/15}$	$G_{C85/20}$	$G_{C85/20}$
Sadržaj sitnih čestica	$f_{1,0}$	$f_{1,5}$	$f_{1,5}$
Kloridi	0,00% C	$\leq 0,01\%$ C	0,01% C
Sulfati topivi u kiselini	$As_{0,2}$	$As_{0,2}$	$As_{0,2}$
Ukupni sadržaj sumpora	0,01% S	$\leq 1\%$ S	$\leq 1\%$ S
Upijanje vode	0,5%WA	1,5% WA	WA <sub>24</sub> 2
Otpornost na drobljenje krupnog agregata	ne provode ovo ispitivanje	LA <sub>30</sub>	LA <sub>30</sub>
otpornost na habanje	ne provode ovo ispitivanje	M <sub>DE</sub> 15	M <sub>DE</sub> 15

## Frakcija 8-16 mm

Kod granulometrijskog sastava frakcije 8-16 mm jedina razlika to šta kamenolom Garica ima  $G_{C90/15}(G_{corse}), G_{25/15}$ , dok ostala dva kamenoloma ima  $G_{C85/20} (G_{corse})$ . Kod svojstva apsorpcije vode pojavljuju se različite vrijednosti koje se kreću od 0,3% do 2% WA (Water Absorption) koji u konačnici mogu imati značajnu ulogu kod određivanja količine vode u izradi betonske mješavine. Razlika je i u količini ukupnog sadržaja sumpora, u kamenolomu Garica vrijednost sadržaja sumpora je 0,01%, dok kod kamenoloma Šumber i Plovanija vrijednost sadržaja sumpora je  $\leq 1\%$ . Razlika je i u količini klorida, u kamenolomu Garica vrijednost sadržaja klorida je 0,00%, dok kod kamenoloma Šumber vrijednost je  $\leq 0,01\%$ , a kod kamenoloma Plovanije vrijednost sadržaja klorida je 0,01%. Razlikuje se kod sadržaja sitnih čestica kamenolom Garica ima  $f_{1,0}$ , a Šumber i Plovanija imaju  $f_{1,5}$ .

Frakcija 8-16	Kamenolom Garica	Kamenolom Šumber	Kamenolom Plovanija
Granulometrijski sastav	$G_{c90/15}, G_{25/15}$	$G_{c85/20}$	$G_{c85/20}$
Sadržaj sitnih čestica	$f_{1,0}$	$f_{1,5}$	$f_{1,5}$
Kloridi	0,00% C	$\leq 0,01\%$ C	0,01% C
Sulfati topivi u kiselini	$A_{S0,2}$	$A_{S0,2}$	$A_{S0,2}$
Ukupni sadržaj sumpora	0,01% S	$\leq 1\%$ S	$\leq 1\%$ S
Upijanje vode	0,3% WA	1,3% WA	WA24 2
Otpornost na drobljenje krupnog agregata	$LA_{30}$	$LA_{30}$	$LA_{30}$
otpornost na habanje	$M_{DE15}$	$M_{DE15}$	$M_{DE15}$

## 6. REZULTATI LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

U svrhu određivanja karakteristika agregata za beton potrebno je izvršiti određena ispitivanja materijala. Ispitivanjima se provjeravaju sva mehanička, fizička i kemijska svojstva agregata. Od svih ispitivanja koja se provode, zbog ograničenog broja instrumenata u laboratoriju za materijale izvedena su slijedeća ispitivanja:

1. Određivanje granulometrijskog sastava – metoda sijanja (HRN EN 933-1)
2. Određivanje oblika zrna – indeks oblika (HRN EN 933-4)
3. Određivanje gustoće zrna i volumenske mase (EN 1097-6)
4. Određivanje nasipne gustoće agregata (HRN EN 1097-3)
5. Određivanje apsorpcije vode, površinske vlažnosti i vlažnosti agregata (EN 1097-6)
6. Određivanje udjela sitnih čestica - određivanje ekvivalenta pijeska (HRN EN 933-8)

Određivanje granulometrijskog sastava – metoda sijanja (HRN EN 933-1)

U ovom ispitivanju određujemo granulometrijski sastav agregata po frakcijama. Ispitivanje se provode da se unutar uzorka odredila količina pojedinih veličina zrna.(od 0 do 32 mm)

*Tablica 14 : Maksimalna masa materijala za sita [12]*

Promjer sita (mm)	300
Površina sita(mm <sup>2</sup> )	22500 $\pi$
Najveća dozvoljena masa materijala na situ	6121.57



Tablica 15: Rezultati prosijavanja agregata [12]

<b>Frakcija (mm)</b>	0-32		
<b>Masa (M<sub>1</sub>) (kg)</b>	7.680		
<b>Otvor sita d (mm)</b>	<b>Ostatak na situ R<sub>i</sub> (kg)</b>	<b>Ostatak na situ (% ukupne mase) <math>100 \times \frac{R_i}{M_1}</math></b>	<b>Kumulativni postotak prolaza (% ukupne mase) <math>100 - \sum \left( 100 \times \frac{R_i}{M_1} \right)</math></b>
31,5	0	0	100
16	1,963	25,56	74,44
8	1,906	24,82	49,62
4	1,167	15,20	34,42
2	0,884	11,51	22,91
1	0,598	7,79	15,12
0,5	0,337	4,39	10,73
0,250	0,222	2,89	7,84
0,125	0,256	3,33	4,51
Dno (P)	0,278	3,62	0,89
<b>Ukupno</b>	7,611		

Tablica 16 : Postotak sitnih čestica koje su prošle kroz sito od 0.063 mm [12]

<b>Masa M<sub>1</sub> (g)</b>	<b>Ostatak u posudi na dnu P (g)</b>	<b>Postotak sitnih čestica <math>f = \frac{P}{M_1} \times 100(\%)</math></b>
7 680	278	3,62

Određivanje oblika zrna – indeks oblika (HRN EN 933-4)

Unutar ovog rada su izvedena ispitivanja indeksa oblika na dvije frakcije 8/16 mm i 16/32 mm.

Tablica 17 : Ispitivanje oblika zrna prema HRN EN 933-4 [12]

	<b>Frakcija 8-16</b>	<b>Frakcija 16-32</b>
<b>n</b>	L(mm)	L(mm)
<b>1</b>	28	44
<b>2</b>	23	62
<b>3</b>	24	38
<b>4</b>	15	35
<b>5</b>	18	42
<b>6</b>	18	34
<b>7</b>	18	49
<b>8</b>	17	48
<b>9</b>	25	59
<b>10</b>	17	55
<b>11</b>	18	34
<b>12</b>	20	51
<b>13</b>	18	35
<b>14</b>	15	41
<b>15</b>	13	39
<b>16</b>	16	38
<b>17</b>	17	33
<b>18</b>	14	36
<b>19</b>	19	31
<b>20</b>	16	38
<b>21</b>	13	36
<b>22</b>	19	36
<b>23</b>	16	34
<b>24</b>	16	36
<b>25</b>	16	29

Tablica 18 : Indeks oblika zrna prema HRN EN 933-4 [12]

FRAKCIJA	Ukupna masa zrna agregata $M_1$ (g)	Masa zrna $L/E > 3$ $M_2$ (g)	Indeks oblika zrna * $SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100(\%)$
8-16	53,1	2,25	4,24
16-32	473,12	32,85	6,94

Tablica 19: Određivanje koeficijenta oblika zrna [12]

FRAKCIJA	Prosječni promjer zrna $L$ (mm)	Volumen idealne kugle $V_k$ (mm <sup>3</sup> )	Volumen zrna $V_{st}$ (mm <sup>3</sup> )	Koeficijent oblika $k_f$
8-16	17,93	3033,32	760	0,25
16-32	40,52	34 834,29	6800	0,20

Određivanje gustoće zrna i volumenske mase (EN 1097-6) ispitivanje provedeno je na frakcijama 0-4, 4-8, 8-16 i 16-32 mm.

Tablica 20 : Izmjereni podaci za ispitivanje gustoće i volumenske mase [12]

SVOJSTVO				Materijal (frakcija)	
				Krupni agregat	pijesak
Masa vlažnog materijala		$m_{wv}$	g	944,23	498,79
Masa materijala zasićenog površinski suhog	-na zraku	$m_z$	g	906,71	434,63
	-pod vodom	$m_{zw}$	g	567,50	-
Masa suhog materijala		$m_d$	g	893,63	430,92
Masa piknometra ispunjenog vodom		$m_{bw}$	g	-	1150,20
Masa materijala + piknometar + voda		$m$	g	-	1424,00

Tablica 21: Izračunate gustoće i volumenske mase po veličini zrna [12]

Krupni agregat

SVOJSTVO		Formule		Jedinica	Materijal
					Krupni agregat
Gustoća		$\rho_o$	$\frac{m_d * \rho_o}{m_d - m_{zw}}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,74
volumenska masa	suhog materijala	$\rho_z(d)$	$\frac{m_d * \rho_w}{m_z - m_{zw}}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,63
	zasićenog površinski suhog	$\rho_z(zps)$	$\frac{m_z * \rho_w}{m_z - m_{zw}}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,67

Sitni agregat

SVOJSTVO		Formule		Jedinica	Materijal
					Sitni agregat(pijesak)
Gustoća		$\rho_o$	$\frac{m_d * \rho_w}{m_{bw} - m + m_d}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,74
volumenska masa	suhog materijala	$\rho_z(d)$	$\frac{m_d * \rho_w}{m_{bw} - m + m_z}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,68
	zasićenog površinski suhog	$\rho_z(zps)$	$\frac{m_z * \rho_w}{m_{bw} - m + m_z}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,70

Određivanje nasipne gustoće agregata (HRN EN 1097-3)

Nasipna gustoća ispitivana je na sljedećim frakcijama: 0-4, 4-8, 8-16, 16-32 mm.

Tablica 22: Izmjereni podaci za ispitivanje nasipne gustoće [12]

SVOJSTVO			Materijal	
			Krupni agregat	Sitni agregat (pijesak)
Masa materijala u rastresitom stanju	<b>m<sub>r</sub></b>	<b>g</b>	6753,8	1593,0
Masa materijala u zbijenom stanju	<b>m<sub>n</sub></b>	<b>g</b>	7320,7	1774,1
Volumen posude	<b>V<sub>g</sub></b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	5000	1000

Tablica 23 : Nasipne gustoće po veličini zrna [12]

SVOJSTVO			Formule	jedinica	Materijal	
					Krupni agregat	pijesak
Nasipna gustoća	rastresita	$\rho_r$	$\frac{m_r}{V_g}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	1,35	1,59
	zbijena	$\rho_n$	$\frac{m_n}{V_g}$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	1,46	1,77

Određivanje apsorpcije vode, površinske vlažnosti i vlažnosti agregata (EN 1097-6) ispitivanje se provodi da bi se utvrdilo količinu apsorbirane vode u zrna, površinsku vlažnost

Tablica 24: Apsorbirana voda (upijanje), površinska vlažnost, vlažnost [12]

SVOJSTVO		FORMULE	Materijal	
			Krupni agregat	Sitni agregat (pijesak)
Apsorbirana voda $A_w$	% m	$\frac{m_z - m_d}{m_d} * 100$	1,46	0,86
	% vol.	$\frac{(m_z - m_d) * \rho_o}{m_d * \rho_w} * 100$	4,01	2,36
Površinska vlažnost $A_s$	% m	$\frac{m_{wv} - m_z}{m_d} * 100$	4,20	14,89
	% vol.	$\frac{(m_{wv} - m_z) * \rho_o}{m_d * \rho_w} * 100$	11,50	40,80
Vlažnost $W$	% m	$\frac{m_{wv} - m_d}{m_d} * 100$	5,66	15,75
	% vol.	$\frac{(m_{wv} - m_d) * \rho_o}{m_d * \rho_w} * 100$	15,51	43,16

Tablica 25: Poroznost [12]

SVOJSTVO	Formule		Materijal	
			Krupni agregat	Sitni agregat (pijesak)
poroznost	$\frac{\rho_0 - \rho_{z(d)}}{\rho_0} * 100$	%	4,01	2,19

Određivanje udjela sitnih čestica - određivanje ekvivalenta pijeska (HRN EN 933-8)  
 ispitivanje se provodi kako bi se utvrdila kvaliteta udjela sitnih čestica.

Tablica 26: Vlažnost sitnog agregata [12]

Prvi pod uzorak	Masa prirodnog suhog agregata $m_{wv}$	Masa potpuno suhog agregata $m_d(g)$	Postotak sitnih čestica $w = \frac{m_{wv} - m_d}{m_d} \times 100(\%)$
Uzorak 1	455,01	454,37	0,14

Tablica 27: Udio sitnih čestica [12]

Prvi pod uzorak	Masa prirodnog suhog agregata $m_1$	Masa potpuno suhog agregata $m_2$	Postotak sitnih čestica $f = 100 - \frac{m_2 * (100 + w)}{m_1}$
Uzorak 2	397,15	360,25	9,16

Tablica 28: Ekvivalent pijeska [12]

Drugi pod uzorak	Visina pijeska i mulja $h_1$	Visina pijeska $h_2$	Ekvivalent pijeska $SE_{1,2} = \frac{h_2}{h_1} \times 100(\%)$	Ukupno $SE(10) = \frac{SE_1 + SE_2}{2}$
Uzorak 1	172	133	77,32	78,48
Uzorak 2	167	133	79,64	

## 7. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad prošli smo kroz proces upoznavanja agregata kao jednog od osnovnih dijelova betonskih miješavina. Upoznali smo njegov sastav, način vađenja, obrade i eksploatacije. Analizama provedenim u laboratoriju ispitivali smo njegova svojstva. Uspoređivali smo podatke dobivene od različitih proizvođača agregata u Hrvatskoj. Nizom ispitivanja provedenih u laboratorijima tvrtki, s ciljem proizvodnje agregata sa najboljim svojstvima koji zadovoljavaju kriterije za proizvodnju kvalitetnog betona. Ispituju se: granulometrijski sastav – metodom sijanja, oblik zrna – indeks oblika, gustoća zrna i volumenska masa, nasipna gustoća agregata, apsorpcija vode, površinska vlažnost i vlažnost agregata, udio sitnih čestica - ekvivalenta pijeska. Uvrštavanjem dobivenih podataka u usporednu tablicu moguće je usporediti podatke više proizvođača za određenu frakciju agregata. Analizom i usporedbom dobivenih podataka različitih laboratorija uočena su neznatna odstupanja u rezultatima ispitivanja. U agregatu frakcije 0 - 4 mm sa kamenoloma Garica nije pronađen nikakav udio klorida, dok u agregatu kamenoloma Šumber i Plovanija u količini od 0,01%. Kod svojstva apsorpcije vode pojavljuju se različite vrijednosti koje se kreću od 0,5% kod kamenoloma Garica, 1,7% kod kamenoloma Šumber i 2% WA (Water Absorption) u agregatu kamenoloma Plovanija. Razlika je i u količini ukupnog sadržaja sumpora, u kamenolomu Garica vrijednost sadržaja sumpora je 0,01%, dok kod kamenoloma Šumber i Plovanija vrijednost sadržaja sumpora je  $\leq 1\%$ . Dobiveni podaci ispitivanja koriste se u konačnici za određivanje vrsta agregata za pojedine vrste betona.

## LITERATURA

- [1] Vrkljan D. , Klanfar M. , Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, lipanj 2010.
- [2] dr. Skenderović Bartul, dr. Kekanović Milan, Građevinski materijali, AGM knjiga, Beograd 2011.
- [3] Radić Jure i suradnici, Betonske konstrukcije Priručnik, Hrvatska sveučilišna naklada Sveučilište u Zagrebu - Građevinski fakultet, ANDRIS, Zagreb 2006
- [4] <http://www.igm-sljuncara.hr/hr/proizvodi/agregati-za-beton-48> datum pristupa (15.4.2020)
- [5] <https://eurobeton.hr/sljuncara/> datum pristupa (15.4.2020)
- [6] <http://www.gp-krk.hr/hr/proizvodni-pogoni.php> datum pristupa (15.4.2020)
- [7] Gradimo.hr. O proizvodnji šljunka i pijeska <https://www.gradimo.hr/gradevinski-materijali/o-proizvodnji-sljunka-i-pijeska/955/> datum pristupa (16.4.2020)
- [8] doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA, Građevinski fakultet u Osijeku, ak. god. 2017/2018. datum pristupa (1.7.2020)
- [9] Rezultati laboratorijskih ispitivanja Građevinski fakultet u Rijeci, laboratorij za materijale.
- [10] Rezultati laboratorijskih ispitivanja Holcim Hrvatska.
- [11] Materijali sa vježbi Građevinski materijali ak. god. 2016/2017. Sveučilišta u Rijeci, Građevinski Fakultet.
- [12] Materijali sa vježbi Građevinski materijali ak. god. 2019/2020. Sveučilišta u Rijeci, Građevinski Fakultet. datum pristupa (24.6.2020)
- [13] [http://www.iwea.eu/hr/plovni\\_bagri.htm](http://www.iwea.eu/hr/plovni_bagri.htm) datum pristupa (20.6.2020)
- [14] Tehnički propis za betonske konstrukcije (NN139/09)
- [15] <https://www.holcim.hr/proizvodi-i-usluge/agregati/sumber> datum pristupa (31.8.2020)
- [16] <https://www.holcim.hr/proizvodi-i-usluge/agregati/ocura> datum pristupa (31.8.2020)
- [17] <https://www.holcim.hr/proizvodi-i-usluge/agregati/plovanija> datum pristupa (31.8.2020)
- [18] Domagoj P. Analiza svojstva agregata lokalnih proizvođača, Završni rad Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet. 2018 god. datum pristupa (20.6.2020)



[19] Toni Đ. Ispitivanje svojstava agregata za beton, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet. 2016 god. datum pristupa (20.6.2020)

[20] <https://www.scribd.com/doc/86553220/Gradjevinski-materijali-Agregati> datum pristupa (6.7.2020)

## POPIS ILUSTRACIJA

### Popis slika

Slika 1: Bušenje rupa za miniranje.(fotografirao autor)

Slika 2: Zaštitna rešetka na ulazu u postrojenje.(fotografirao autor)

Slika 3: Valjke na kojima se materijal razvrstava prije drobilice.(fotografirao autor)

Slika 4: Proces koji se odvija na slici 3. (nacrtao autor)

Slika 5: Drobilica za kamen.(fotografirao autor)

Slika 6: Pokretnu traka koja vodi materijal do glavnog sita. (fotografirao autor)

Slika 7: Glavno sito u kojeg se materijal dovozi pomoću pokretnih traka i prosijava.  
(fotografirao autor)

Slika 8: Pokretna traka odvodi materijal na daljnje usitnjavanje.(fotografirao autor)

Slika 9: Plutajući bageri s hidrauličnom rampom i grajferom do 12m<sup>3</sup> (preuzeto se  
[http://www.iwea.eu/hr/plovni\\_bagri.htm](http://www.iwea.eu/hr/plovni_bagri.htm))

Slika 10: Vjedrični plovni bager sa vedrima za vađenje pijeska i šljunka. (preuzeto se  
[http://www.iwea.eu/hr/plovni\\_bagri.htm](http://www.iwea.eu/hr/plovni_bagri.htm))

Slika 11: Plutajući usisni bageri sa iskopno/transportnim lancem za iskop pijeska i sitnijeg  
šljunka (preuzeto se [http://www.iwea.eu/hr/plovni\\_bagri.htm](http://www.iwea.eu/hr/plovni_bagri.htm))

Slika 12: Shema glavnih faza u proizvodnji agregata za beton iz šljunka (nacrtao autor prema  
shemi preuzetoj sa <https://www.scribd.com/doc/86553220/Gradjevinski-materijali-Agregati>)

Slika 13: Uređaj za vaganje pod vodom s mrežastom košarom (preuzeto iz završnog rada  
Polić Domagoj ak.god.2018)

Slika 14: Piknometar (preuzeto sa vježbi kolegija Građevinski materijali, Građevinskog  
fakulteta sveučilišta u Rijeci.)

Slika 15 : Sušenje električnim puhalom (preuzeto iz završnog rada Đotlo Toni ak.god 2016)

Slika 16: Posuda za mjerenje, šipka za nabijanje i ravnjača (preuzeto iz završnog rada Poliće  
Domagoj ak.god.2018)

Slika 17: Agregat nakon prosijavanja podijeljen na frakcije (preuzeto iz završnog rada Poliće  
Domagoj ak.god.2018)

Slika 18: Postavljanje kugli u bubanj (preuzeto iz završnog rada Poliće Domagoj ak.god.2018)

Slika 19: Bubanj nakon 500 okretaja (preuzeto iz završnog rada Poliće Domagoj ak.god.2018)

Slika 20: Prosijani agregat kroz sito 1,6 mm (preuzeto iz završnog rada Poliće Domagoj  
ak.god.2018)

Slika 21: Prosijani agregat nakon izlaska iz bubnja (preuzeto iz završnog rada Poliće Domagoj  
ak.god.2018)

## Popis Tablica

*Tablica 1: Tehnička svojstva koja agregat mora ispunjavati za ugradnju u beton. (preuzeto iz skripte Vrkljan D. , Klanfar M. , Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, lipanj 2010)*

*Tablica 2: Minimalna masa agregata (HRN EN 933-1)*

*Tablica 3: Razredi granulometrijskog sastava agregata prema HRN EN 12620 (preuzeto iz knjige Radić Jure i suradnici, Betonske konstrukcije Priručnik, Hrvatska sveučilišna naklada Sveučilište u Zagrebu - Građevinski fakultet, ANDRIS, Zagreb 2006)*

*Tablica 4: Razredi indeksa oblika zrna krupnog agregata (preuzeto sa predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 5 : Razredi masenog udjela sitnih čestica u agregatu. (preuzeto sa predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 6 .Razred sadržaja školjaka,SC (Radić Jure i suradnici, Betonske konstrukcije Priručnik, Hrvatska sveučilišna naklada Sveučilište u Zagrebu - Građevinski fakultet, ANDRIS, Zagreb 2006)*

*Tablica 7: Razredi otpornosti krupnog agregata na drobljenje (preuzeto sa predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 8: Postotak masenog gubitka (%) (preuzeto sa predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 9: Razredi otpornosti krupnog agregata na habanje (micro Deval-ova metoda) (preuzeto iz predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 10: Razred otpornosti na abraziju AAV (preuzeto sa predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 11: Sadržaj iona klorida ispitivan prema normi HRN EN 1744-1 (preuzeto sa predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 12: Maseni udio sulfata topljiv u kiselini (as) (preuzeto sa predavanja doc.dr.sc. Netinger Grubeša Ivanka dipl.ing.građ. , BETONI POSEBNIH NAMJENA)*

*Tablica 13 : Podaci ispitivanja u laboratoriju Garica (GP Krk) GP KRK d.d. laboratorij garica (preuzeto iz završnog rada Polić Domagoj ak.god.2018)*

*Tablica 14 : Maksimalna masa materijala za sita (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 15: Rezultati prosijavanja agregata (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 16 : Postotak sitnih čestica koje su prošle kroz sito od 0.063 mm (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 17 : Ispitivanje oblika zrna prema HRN EN 933-4 (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 18 : Indeks oblika zrna prema HRN EN 933-4 (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 19: Određivanje koeficijenta oblika zrna (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 20 : Izmjereni podaci za ispitivanje gustoće i volumenske mase (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 21: Izračunate gustoće i volumenske mase po veličini zrna (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 22: Izmjereni podaci za ispitivanje nasipne gustoće (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 23 : Nasipne gustoće po veličini zrna (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 24: Apsorbirana voda (upijanje), površinska vlažnost, vlažnost (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 25: Poroznost (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 26: Vlažnost sitnog agregata (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020)*

*Tablica 27: Udio sitnih čestica (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020 )*

*Tablica 28: Ekvivalent pijeska (preuzeto sa laboratorijskih vježbi Građevinski materijali ak.god. 2019/2020 )*