



UNIVERSITET U NOVOM SADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
SUBOTICA



GRAĐEVINSKI MATERIJALI 2 ZBIRKA REŠENIH ZADATAKA

ARPAD ČEH

Autor:

Doc.dr Arpad Čeh, dipl.građ.inž.,

Recenzenti:

Prof. dr Ljiljana Kozarić, dipl.građ.inž.,

Prof. dr Aleksandar Landović, dipl.građ.inž.,

Odobreno za izdavanje kao univerzitetski udžbenik iz predmetne naučne oblasti odlukom Nastavno naučnog veća Građevinskog fakulteta Subotica broj 58-7/2025 od 27.08.2025. godine.

Izdavač:

Univerzitet u Novom Sadu

Građevinski fakultet Subotica

24000 Subotica, Kozaračka 2a

Za izdavača:

Prof. dr Milan Trifković, dipl.geod.inž., dekan

Tiraž:

50 primeraka

Štampa/Umnožava:

Stil B Centar d.o.o.

24000 Subotica, Štrosmajerova 18

Mesto i godina izdavanja:

Subotica, 2025.

Zabranjeno preštampavanje, fotokopiranje i umnožavanje na elektronskom mediju.

Sva prava zadržava autor i izdavač.

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

691.2(075.8)(076)

ЧЕХ, Арпад, 1977-

Građevinski materijali 2 [Elektronski izvor] : zbirka rešenih zadataka / Arpad Čeh. - Subotica : Građevinski fakultet, 2025

Način pristupa (URL): <https://zbornik.gf.uns.ac.rs/eludzbenik/GM2Zbirka.pdf>. - Opis zasnovan na stanju na dan 19.12.2025. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Bibliografija.

ISBN 978-86-82780-03-8

a) Грађевински материјали -- Задаци

COBISS.SR-ID 182988553

PREDGOVOR

Zbirka rešenih zadataka iz Građevinskih materijala 2 je namenjena prvenstveno studentima Osnovnih akademskih studija, koji slušaju predmet Građevinski materijali 2 sa ciljem da omogući odgovarajuću pripremu za praćenje nastave, kao i pripremu za polaganje kolokvijuma i ispita.

Zbirka je usaglašena sa važećim nastavnim planom i programom i korišćena je savremena, relevantna literatura iz oblasti Građevinskih materijala.

Zbirka rešenih zadataka ima sedam poglavlja: Nedestruktivno ispitivanje materijala. građevinska keramika i elementi za zidanje, mineralna veziva, malteri, betoni, metali i nemetalna armatura, drvo.

Autor se zahvaljuje recenzentima na korisnim predlozima i konstruktivnim sugestijama, kojima su doprineli kvalitetu ove zbirke.

SADRŽAJ

I. NEDESTRUKTIVNO ISPITIVANJE MATERIJALA

II. GRAĐEVINSKA KERAMIKA I ELEMENTI ZA ZIDANJE

III. MINERALNA VEZIVA

IV. MALTERI

V. BETONI

VI. METALI I NEMETALNA ARMATURA

VII. DRVO

LITERATURA

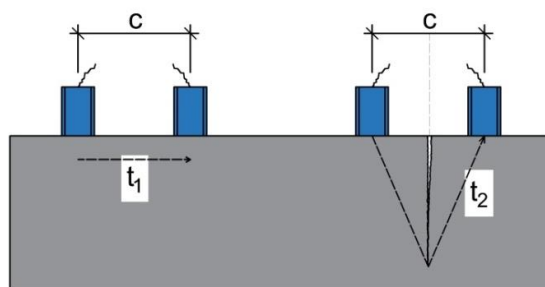
I. NEDESTRUKTIVNO ISPITIVANJE MATERIJALA



I. NEDESTRUKTIVNO ISPITIVANJE MATERIJALA

1. Na betonskoj ploči debljine 35 cm, nakon 24 sata se pojavila pukotina nepoznate dubine (Slika I-1.). Kako bi se utvrdila dubina pukotine, metodom uporedne analize je izmerena brzina prolaska longitudinalnih ultrazvučnih talasa kroz beton. Na mestu pukotine je izmereno vreme, potrebno da ultrazvuk od odašiljača stigne do prijemnika $t_2 = 131\mu\text{s}$. Imajući u vidu heterogenu prirodu betona, na zdravom delu betonske površine (bez vidljivih prslina) je izvršeno 10 merenja brzina propagacije ultrazvuka t_1 (Tabela I-1.). Prilikom svakog merenja vremena (t_1 i t_2) odašiljač je bio udaljen od prijemnika na $c=30$ cm.

- potrebno je izračunati prosečnu brzinu propagacije ultrazvuka t_1 na zdravom delu betona
- pretpostavljajući putanju prolaska ultrazvuka prilikom merenja t_2 , izračunati dubinu pukotine



Slika I-1. Skica merenja vremena prolaska ultrazvuka na betonu

R. b. merenja	t_1 [10^{-6}s]
1.	71,4
2.	69,5
3.	72,5
4.	73,1
5.	74,6
6.	74,8
7.	74,2
8.	70,9
9.	72,4
10.	71,7

Tabela I-1. Rezultati merenja vremena prolaska ultrazvuka na zdravom delu betona na udaljenosti c

Rešenje zadatka:

a) Prosečno vreme propagacije ultrazvuka $t_{1,sr}$

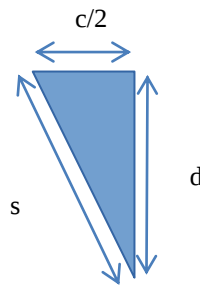
$$t_{1,sr} = \frac{71,4 + 69,5 + 72,5 + 73,1 + 74,6 + 74,8 + 74,2 + 70,9 + 72,4 + 71,7}{10} = 72,51 \cdot 10^{-6} s$$

Prosečna brzina propagacije ultrazvuka $v_{,sr}$

$$v = \frac{c}{t_1} = 4137,36 \text{ m/s}$$

b) Dubina pukotine se može izračunati imajući u vidu vezu:

$$d^2 = s^2 - \left(\frac{c}{2}\right)^2$$



Slika I-2. Skica geometrijskih odnosa za proračun dubine pukotine

pošto je brzina propagacije ultrazvuka kroz beton karakteristika materijala, na mestu pukotine možemo napisati:

$$v = \frac{2s}{t_2}$$

$$2 \cdot S = v \cdot t_2 = 4137,36 \text{ m/s} \cdot 131 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0,542 \text{ m}$$

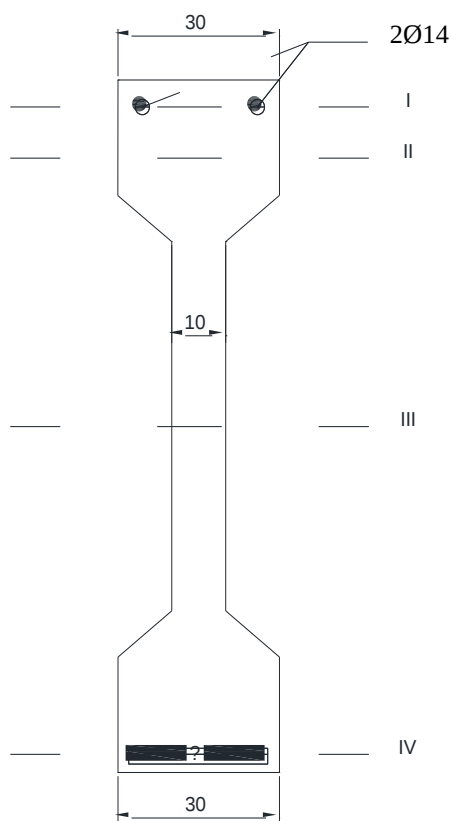
$$d = \sqrt{\left(s^2 - \frac{c^2}{2}\right)} = \sqrt{(27,1^2 - 15^2)} = 22,57 \text{ cm}$$

dakle dubina pukotine je 22,6 cm od površine betona

2. Na armiranobetonskom nosaču, koji je prikazan na skici (Slika I-3.) sprovedeno ispitivanje putem ultrazvuka. Rezultati merenja vremena prolaza ultrazvuka na 4 merna mesta su prikazana u tabeli ispod (Tabela I-2.). Dimenzije na skici su date u *cm*. Na mernom mestu I je poznato da ultrazvuk prolazi kroz dve armaturne šipke Ø14 i takođe je poznato da na mestima II i III nema armature. Na osnovu rezultata merenja je potrebno izračunati koliko armaturnih šipki Ø14 ima u donjoj zoni nosača (na mernom mestu IV-IV) ?

Merno mesto	I-I	II-II	III-III	IV-IV
Vreme (μs)	73,1	75,2	25,1	69,8

Tabela I-2. Rezultati merenja vremena propagacije longitudinalnih talasa ultrazvuka na



Slika I-3. Skica armiranobetonskog nosača

Rešenje zadatka:

Na osnovu izmerenog vremena potrebnog za prolaz ultrazvuka kroz beton t_{III} može se izračunati brzina prolaza ultrazvuka za predmetni beton u rebu:

$$v_{b3} = \frac{s_{III}}{t_{III}} = \frac{0,1 \text{ m}}{25,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 3984,06 \text{ m/s}$$

Brzina prolaza ultrazvuka kroz beton u flanši, ne mernom mestu II-II se može izračunati:

$$v_{b2} = \frac{s_{II}}{t_{II}} = \frac{0,3 \text{ m}}{75,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 3989,36 \text{ m/s}$$

Pošto je brzina prolaza ultrazvuka kroz beton praktično ista, ta vrednost se može uzeti za konstantnu vrednost u nosaču.

$$v_b = \frac{3984,06 + 3989,36}{2} = 3986,7 \text{ m/s}$$

Imajući u vidu da na mernom mestu I-I postoje 2 armaturne šipke Ø 14, može se napisati jednačina:

$$t_I = t_{\check{c}} + t_b = \frac{2s_{\check{c}}}{v_{\check{c}}} + \frac{s_b}{v_b}$$

$$\frac{2s_{\check{c}}}{v_{\check{c}}} = t_I - \frac{s_b}{v_b} = 73,1 \cdot 10^{-6} - \frac{(0,3 - 2 \cdot 0,014)}{3986,7} = 73,1 \cdot 10^{-6} - 68,23 \cdot 10^{-6} = 4,87 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

pa je brzina prolaza ultrazvuka kroz armaturni čelik:

$$v_{\check{c}} = \frac{2s_{\check{c}}}{4,87 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = \frac{2 \cdot 0,014 \text{ m}}{4,87 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 5749,5 \text{ m/s} \approx 5750 \text{ m/s}$$

Na mernom mestu IV – IV se može napisati jednačina:

$$t_{IV} = t_{\check{c}} + t_b = \frac{n \cdot s_{\check{c}}}{v_{\check{c}}} + \frac{0,3 - n \cdot s_{\check{c}}}{v_b}$$

$$69,8 \cdot 10^{-6} = \frac{n \cdot 0,014}{5750} + \frac{0,3 - n \cdot 0,014}{3986,7}$$

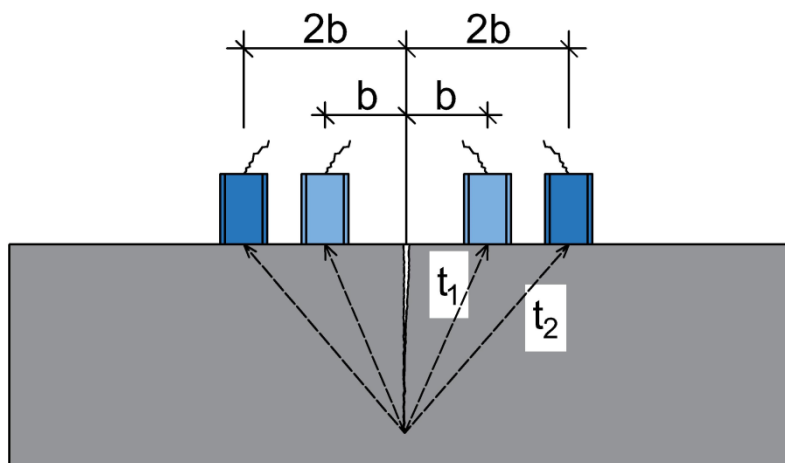
konačno iz gore navedene jednačine sledi:

$$n = 5,05 \approx 5 \text{ komada}$$

dakle na mernom mestu IV-IV se nalazi 5 Ø14

3. Na betonskoj ploči debljine 22 cm, staroj 20 godina, vidljive su pukotine nepoznatih dubina na gornjoj površini. Kako bi se odredila dubina pukotine, metodom merenja brzine prolaska longitudinalnih ultrazvučnih talasa kroz beton, na 10 mesta je urađena analiza. Pošto je gornja površina betona degradirana, analiza dubine pukotine je izvršena merenjem prvo vremena (t_1), potrebnog da se ultrazvuk od odašiljača stigne do prijemnika na udaljenosti $b=20$ cm sa obe strane pukotine. Zatim izmereno je potrebno vreme (t_2) prolaska ultrazvuka sa udaljenosti $2b=40$ cm sa obe strane pukotine prema položaju na skici (Slika I-4.). Rezultati merenja vremena prolaska ultrazvuka na 10 mernih mesta su prikazana u tabeli ispod (Tabela I-3.)

Pretpostavljajući putanju prolaska ultrazvuka prilikom merenja t_1 i t_2 , izračunati dubine predmetnih pukotina d na 10 mernih mesta



Slika I-4. Skica merenja vremena prolaska ultrazvuka na betonu

R. b. merenja	t_1 [10^{-6} s]	t_2 [10^{-6} s]
1.	71,4	71,4
2.	69,5	69,5
3.	72,5	72,5
4.	73,1	73,1
5.	74,6	74,6
6.	74,8	74,8
7.	74,2	74,2
8.	70,9	70,9
9.	72,4	72,4
10.	71,7	71,7

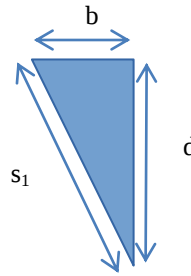
Tabela I-3. Rezultati merenja vremena prolaska ultrazvuka t_1 i t_2 , kroz beton

Rešenje zadatka:

Na osnovu Slike I-4, za položaj pri merenju vremena t_1 , može se napisati odnos:

$$s_1^2 = b^2 + d^2$$

$$v_{b1} = \frac{s_1}{t_1} = \frac{\sqrt{b^2 + d^2}}{t_1}$$

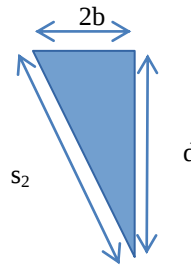


Slika I-5. Skica geometrijskih odnosa za proračun dubine pukotine

a za položaj pri merenju vremena t_2 , može se napisati odnos:

$$s_2^2 = (2b)^2 + d^2$$

$$v_{b2} = \frac{s_2}{t_2} = \frac{\sqrt{4b^2 + d^2}}{t_2}$$



Slika I-6. Skica geometrijskih odnosa za proračun dubine pukotine

imajući u vidu da brzinu prolaska ultrazvuka kroz beton možemo posmatrati da je praktično konstanta za predmetni beton:

$$v_{b1} = v_{b2}$$

Iz gore navedenih odnosa se može izraziti tražena dubina merenih pukotina:

$$d = b \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

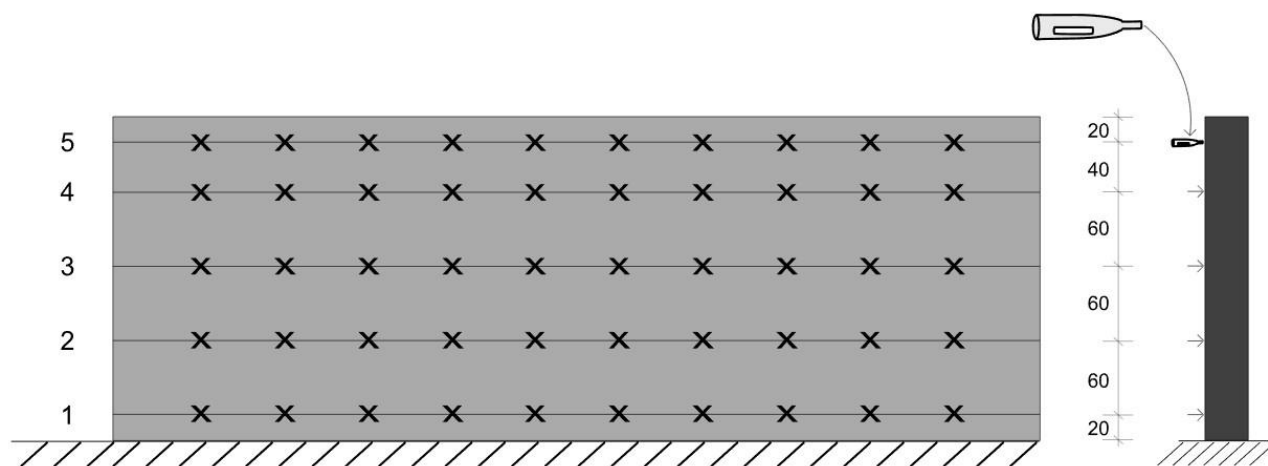
za $b = 20$ cm i izmerena vremena prolaska ultrazvuka t_1 i t_2 iz Tabele I-3 izračunate dubine su navedene u Tabeli I-4:

R. b. merenja	t_1 [10 ⁻⁶ s]	t_2 [10 ⁻⁶ s]	d [cm]
1.	74,1	130,2	8,74
2.	75,8	127,4	12,88
3.	81,3	145,2	7,40
4.	74,3	121,4	15,93
5.	75,5	121,9	17,34
6.	77,3	125,4	16,77
7.	73,4	134,7	5,34

8.	69,8	131,2	3,69
9.	77,7	124,8	17,98
10.	75,0	127,8	11,52

Tabela I-4. Rezultati izmerenih dubina pukotina

4. Na jednom armiranobetonskom zidu je izvršena nedestruktivna analiza ugrađenog betona pomoću Šmitovog čekića (sklerometra). Merenja veličine odskoka sklerometra R_n su izvršena na 5 nivoa, po visini zida: na 20 cm, 80 cm, 140 cm, 200 cm i na 240 cm od podne ploče (Slika I-7).



Slika I-7. Skica merenja vremena veličine odskoka sklerometra na armiraobetonu zidu

Rezultati su navedeni u narednoj tabeli:

	20 cm	80 cm	140 cm	200 cm	240 cm
R_{n1}	55,2	51,4	45,9	40,1	37,9
R_{n2}	56,8	52,5	47,3	41,4	38,8
R_{n3}	54,9	50,7	47,4	42,2	39,2
R_{n4}	57,1	49,9	46,8	41,8	36,8
R_{n5}	56,3	52,4	46,4	40,5	36,8
R_{n6}	55,4	51,7	47,9	42,9	36,2
R_{n7}	54,3	50,8	45,2	40,1	36,4
R_{n8}	53,9	52,7	46,7	40,8	36,2
R_{n9}	55,0	53,5	46,8	41,2	37,4
R_{n10}	56,5	52,4	47,2	42,3	38,0

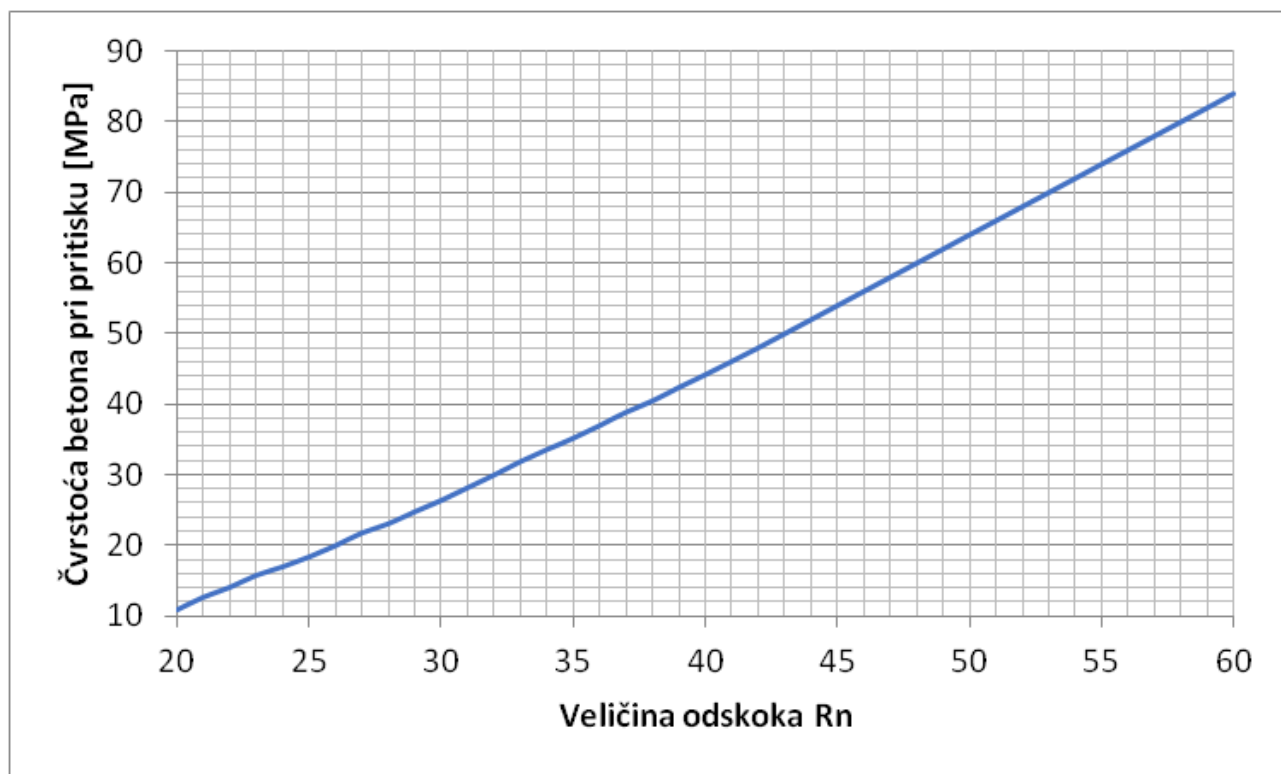
Tabela I-5. Rezultati izmerenih veličina odskoka Šmitovog čekića - R_n

a) Potrebno je izračunati prosečne vrednosti veličine odskoka sklerometra R_n za svaki ispitani nivo AB zida

b) Izračunati standardnu devijaciju za veličine odskoka sklerometra R_n za svaki ispitani nivo predmetnog AB zida

c) Na osnovu *Krive korelacije veličine R_n odskočnog čekića i čvrstoće betona pri pritisku* (Slika I-8) očitati odgovarajuće vrednosti čvrstoće betona pri pritisku za svaku prosečnu vrednost R_n po nivoima ispitanog zida

d) Da li je došlo do segregacije betona u zidu i da li je ona značajna?



Slika I-8. Korelacija veličine R_n odskočnog čekića i čvrstoće betona pri pritisku

Rešenje zadatka:

a) Prosečne vrednosti veličine odskoka sklerometra R_n :

- na 20 cm od poda:

$$R_{n,20} = \frac{55,2+56,8+54,9+57,1+56,3+55,4+54,3+53,9+55,0+56,5}{10} = 55,54$$

- na 80 cm od poda:

$$R_{n,80} = \frac{51,4+52,5+50,7+49,9+52,4+51,7+50,8+52,7+53,5+52,4}{10} = 51,80$$

- na 140 cm od poda:

$$R_{n,140} = \frac{45,9+47,3+47,4+46,8+46,4+47,9+45,2+46,7+46,8+47,2}{10} = 46,76$$

- na 200 cm od poda:

$$R_{n,200} = \frac{40,1+41,4+42,2+41,8+40,5+42,9+40,1+40,8+41,2+42,3}{10} = 41,33$$

- na 240 cm od poda:

$$R_{n,240} = \frac{37,9+38,8+39,2+36,8+36,8+36,2+36,4+36,2+37,4+38,0}{10} = 37,37$$

b) Proračun standardne devijacije za veličine odskoka sklerometra R_n za svaki ispitani nivo predmetnog AB zida

Standardna devijacija rezultata ispitivanja veličine odskoka sklerometra se može izračunati prema izrazu:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{n,i} - R_{n,h})^2}{n-1}}$$

- na 20 cm od poda:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_{n,i} - R_{n,20})^2}{n-1}} = 1,084$$

- na 80 cm od poda:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_{n,i} - R_{n,80})^2}{n-1}} = 1,100$$

- na 140 cm od poda:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_{n,i} - R_{n,140})^2}{n-1}} = 0,782$$

- na 200 cm od poda:

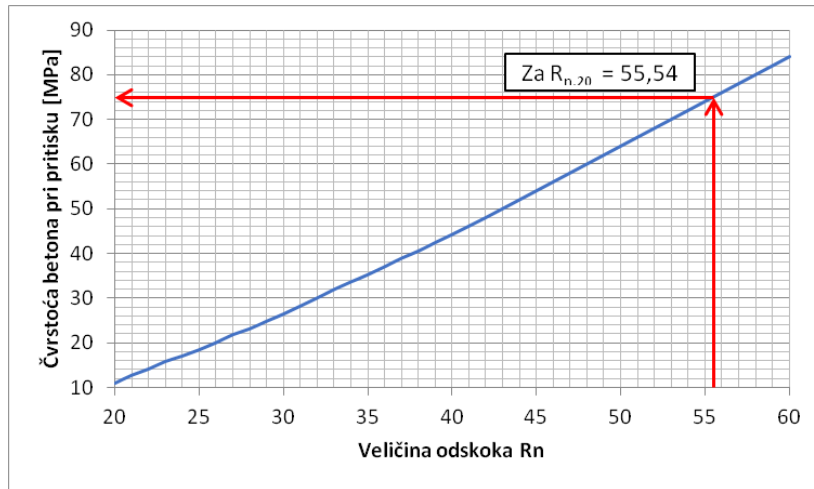
$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_{n,i} - R_{n,200})^2}{n-1}} = 0,966$$

- na 240 cm od poda:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_{n,i} - R_{n,240})^2}{n - 1}} = 1,076$$

c) Čvrstoće betona pri pritisku za prosečne vrednosti R_n po visini ispitanog zida:

Prosečne, računске čvrstoće betona pri pritisku se utvrđuju pomoću krive korelacije kao što je prikazano na skici (Slika I-9):



Slika I-9. Grafički prikaz metode određivanja čvrstoće betona pri pritisku pomoću veličine odskoka R_n

- na 20 cm od poda:

za $R_{n,20} = 55,54 \rightarrow$ računska čvrstoća betona pri pritisku je $f_c = 75$ MPa

- na 80 cm od poda:

za $R_{n,80} = 51,80 \rightarrow$ računska čvrstoća betona pri pritisku je $f_c = 67,5$ MPa

- na 140 cm od poda:

za $R_{n,140} = 46,76 \rightarrow$ računska čvrstoća betona pri pritisku je $f_c = 57,0$ MPa

- na 200 cm od poda:

za $R_{n,200} = 41,33 \rightarrow$ računska čvrstoća betona pri pritisku je $f_c = 47,0$ MPa

- na 240 cm od poda:

za $R_{n,240} = 37,37 \rightarrow$ računska čvrstoća betona pri pritisku je $f_c = 39,5$ MPa

d) Segregacija betona

Na osnovu analize rezultata standardne devijacije može se zaključiti:

- da se izmereni rezultati odskoka sklerometra po nivoima AB zida rasipaju vrlo malo, što ukazuje na pouzdanost rezultata
- računska čvrstoća betona pri pritisku razlikuju značajno po visini betonskog zida od 39,5 MPa do 75 MPa
- ako se izračuna prosečna vrednost računske čvrstoće zida pri pritisku:

$$f_{c,sr} = \frac{75,0 + 67,5 + 57,0 + 47,0 + 39,5}{5} = 57,2 \text{ MPa}$$

gornji i donji delovi se razlikuju značajno od prosečne vrednosti:

$$\Delta_1 = \frac{75 - 57,2}{57,2} \cdot 100 = 31,12 \%$$

$$\Delta_2 = \frac{57,2 - 39,5}{57,2} \cdot 100 = 30,94 \%$$

U armiranobetonskom zidu je reč o značajnoj segregaciji ugrađenog betona, čiji kvalitet značajno varira po visini zida.

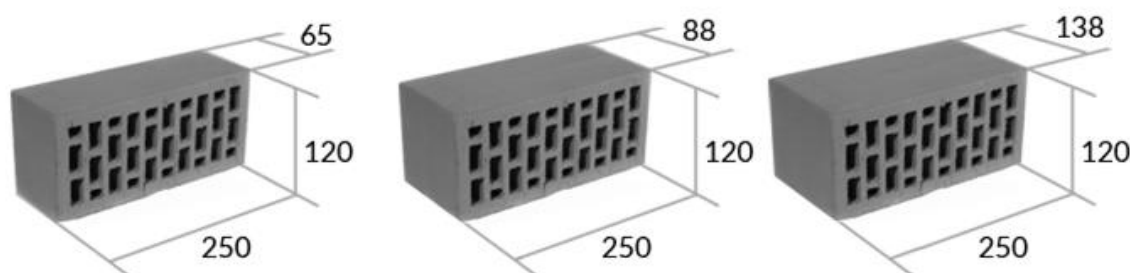
II.

GRADEVINSKA KERAMIKA I ELEMENTI ZA ZIDANJE



II. GRAĐEVINSKA KERAMIKA I ELEMENTI ZA ZIDANJE

1. Za tri vrste šuplje opeke, koje su prikazane na Slici II-1, izračunati potrebnu količinu gline za dobijanje po 50000 komada opeke dimenzije 250x120x65, 40000 komada dimenzije 250x120x88 i 35000 komada dimenzije 250x120x138. Udeo šupljina na svakoj vrsti je 41 %. Sirovina (gline) pri eksploataciji ima vlažnost 20% i zapreminsku masu 1350 kg/m³. Pre pečenja glina se osuši do 5% vlažnosti i tada ima zapreminsku masu 1740 kg/m³. Nakon pečenja zapreminska masa pečene gline je 1860 kg/m³. Tokom pečenja smanjenje mase gline iznosi 10%. Potrebno je predvideti i gubitak otprilike 3% gotovog pečenog proizvoda (tokom pečenja i manipulacije) kod dimenzije 250x120x65 i 250x120x88, a 1,5% kod dimenzije 250x120x138.



Slika II-1. Dimenzije predmetnih šupljih opeka

Rešenje zadatka:

Za šuplju opeku „250x120x65“:

Količina koju treba ispeći :

$$50000 \cdot 1,03 = 51500 \text{ komada}$$

Zapremina gline koju je potrebno ispeći:

$$51500 \text{ komada} \cdot (0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065) \cdot (1 - 0,41) = 59,25 \text{ m}^3$$

Masa nakon pečenja:

$$59,23 \text{ m}^3 \cdot 1860 \text{ kg/m}^3 = 110.167,8 \text{ kg}$$

Masa gline neposredno pre pečenja:

$$110.167,8 \text{ kg} \cdot 1,10 = 121.184,6 \text{ kg}$$

Zapremina osušene i homogenizovane gline pri vlažnosti od 5%:

$$121.184,6 \text{ kg} / 1740 \text{ kg/m}^3 = 69,65 \text{ m}^3$$

Masa gline na mestu eksploatacije:

$$121.184,6 \text{ kg} \left(1 + \left(\frac{20}{100} - \frac{5}{100}\right)\right) = 139.362,3 \text{ kg}$$

Zapremina gline pre eksploatacije, pri vlažnosti od 5%:

$$139.362,3 \text{ kg} / 1350 \text{ kg/m}^3 = 103,2 \text{ m}^3$$

Za šuplju opeku „**250x120x88**”:

Količina koju treba ispeći :

$$40000 \cdot 1,03 = 41200 \text{ komada}$$

Zapremina gline koju je potrebno ispeći:

$$41200 \text{ komada} \cdot (0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,088) \cdot (1 - 0,41) = 64,17 \text{ m}^3$$

Masa nakon pečenja:

$$64,17 \text{ m}^3 \cdot 1860 \text{ kg/m}^3 = 119.362,0 \text{ kg}$$

Masa gline neposredno pre pečenja:

$$119.362,0 \text{ kg} \cdot 1,10 = 131.298,2 \text{ kg}$$

Zapremina osušene i homogenizovane gline pri vlažnosti od 5%:

$$131.298,2 \text{ kg} / 1740 \text{ kg/m}^3 = 75,46 \text{ m}^3$$

Masa gline na mestu eksploatacije:

$$131.298,2 \text{ kg} \left(1 + \left(\frac{20}{100} - \frac{5}{100}\right)\right) = 150.992,9 \text{ kg}$$

Zapremina gline pre eksploatacije, pri vlažnosti od 5%:

$$150.992,9 \text{ kg} / 1350 \text{ kg/m}^3 = 111,8 \text{ m}^3$$

Za šuplju opeku „**250x120x138**”:

Količina koju treba ispeći :

$$35000 \cdot 1,015 = 35525 \text{ komada}$$

Zapremina gline koju je potrebno ispeći:

$$35525 \text{ komada} \cdot (0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,138) \cdot (1-0,41) = 86,77 \text{ m}^3$$

Masa nakon pečenja:

$$86,77 \text{ m}^3 \cdot 1860 \text{ kg/m}^3 = 161.398,5 \text{ kg}$$

Masa gline neposredno pre pečenja:

$$161.398,5 \text{ kg} \cdot 1,10 = 177.538,3 \text{ kg}$$

Zapremina osušene i homogenizovane gline pri vlažnosti od 5%:

$$177.538,3 \text{ kg} / 1740 \text{ kg/m}^3 = 102,03 \text{ m}^3$$

Masa gline na mestu eksploatacije:

$$177.538,2 \text{ kg} \left(1 + \left(\frac{20}{100} - \frac{5}{100}\right)\right) = 204.169,0 \text{ kg}$$

Zapremina gline pre eksploatacije, pri vlažnosti od 5%:

$$204.169,0 \text{ kg} / 1350 \text{ kg/m}^3 = 151,2 \text{ m}^3$$

Za zadate količine, 3 vrste šuplje opeke, potrebna masa gline je:

$$m_g = 139.362,3 + 152.992,9 + 204.169,0 = 494.524,2 \text{ kg} = 494,5 \text{ t}$$

A izraženo po zapremini gline, potrebno je:

$$V_g = 103,2 + 111,8 + 151,2 = 366,2 \text{ m}^3$$

2. Analizirajući karakteristične čvrstoće zida na pritisak prema Evrokodu 6, sa elementom za zidanje, koji je prikazan na skici (Slika II-2), izračunati koja bi čvrstoća pri pritisku običnog maltera bila potrebna (u MPa), da bi se dobila ekvivalentna karakteristična čvrstoća zida na pritisak, sa čvrstoćom zida od istog elementa zidanog sa tankoslojnim malterom od 3 mm debljine? Čvrstoća elementa za zidanje je 20 MPa. Debljina unutrašnjih zidova pregrada između šupljina je 0,5 cm, a debljina spoljašnjih zidova je 1,7 cm. Za neophodne podatke pri proračunu koristiti Tabele II-1 i II-2.

Karakteristične čvrstoće zida prema Evrokodu 6:

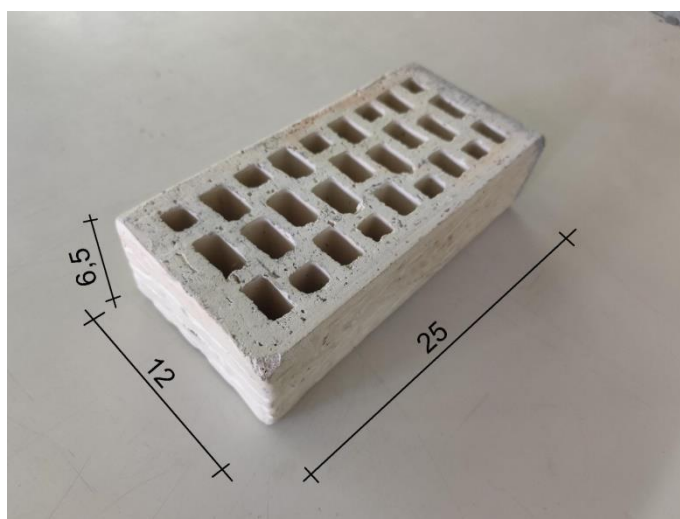
Kar. čvrstoća pri pritisku zida zidanog sa običnim malterom:

$$f_K = K f_b^{0,7} f_m^{0,3}$$

Kar. čvrstoća pri pritisku zida zidanog sa tankoslojnim malterom:

$$f_K = K f_b^{0,7}$$

II. GRAĐEVINSKA KERAMIKA I ELEMENTI ZA ZIDANJE



Slika II-2. Predmetni element za zidanje od gline

		Materijali i ograničenja za elemente za zidanje												
		Zapremina svih šupljina (% bruto zapremine)			Zapremina pojedinačne šupljine (% bruto zapremine)			Debljine pregrada i omotača (mm)				Debljina pregrada i omotača (% ukupne širine)		
Grupa 1 (svi materijali)		≤25			≤12,5			Nema zahteva				Nema zahteva		
Grupa 2	Vertikalne šupljine	>25; ≤55	>25; ≤55	>25; ≤60	Svaka šupljina ≤ 2; šupljine za hvatanje ukupno ≤ 12,5	Svaka šupljina ≤ 15; šupljine za hvatanje ukupno ≤ 30	Svaka šupljina ≤ 30; šupljine za hvatanje ukupno ≤ 30	pregrada	≥ 5	≥ 5	≥ 15	≥ 16	≥ 20	≥ 18
								omotač	≥ 8	≥ 10	≥ 18			
Grupa 3		≥25;≤70	ne koristi se	≥25;≤70	Svaka šupljina ≤ 2; šupljine za hvatanje ukupno ≤ 12,5	ne koristi se	Svaka šupljina ≤ 30; šupljine za hvatanje ukupno ≤ 30	pregrada	≥ 3	ne koristi se	≥ 15	≥ 12	ne koristi se	≥ 15
								omotač	≥ 6		≥ 15			
Grupa 4	Horizontalne šupljine	≥25;≤70	ne koristi se	≥25;≤50	Svaka šupljina ≤ 30	ne koristi se	Svaka šupljina ≤ 25	pregrada	≥ 5	ne koristi se	≥ 20	≥ 12	ne koristi se	≥ 45
								omotač	≥ 6		≥ 20			
	Elementi za zidanje	glina	kalcijum silikat	beton	glina	kalcijum silikat	beton		glina	kalcijum silikat	beton	glina	kalcijum silikat	beton

Tabela II-1. Podela elemenata za zidanje prema Evrokodu 6

II. GRAĐEVINSKA KERAMIKA I ELEMENTI ZA ZIDANJE

Element za zidanje		Glina				Kalcijum silikat		Beton				Autoklavni celijasti beton	Veštački kamen	Obradeni prirodni kamen
		Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4	Grupa 1	Grupa 1	Grupa 1
Malter opšte namene		0.55	0.45	0.35	0.35	0.55	0.45	0.55	0.45	0.40	0.35	0.55	0.45	0.45
Tankoslojni malter (debljina spojnice 0,5-3,0 mm)		0.75	0.70	0.50	0.35	0.80	0.65	0.80	0.65	0.50	x	0.80	0.75	x
Laki malter, zapreminske mase	$600 \leq \rho_d \leq 800 \text{ kg/m}^3$	0.30	0.25	0.20	0.20	x	x	0.45	0.45	x	x	0.45	x	x
	$800 \leq \rho_d \leq 1300 \text{ kg/m}^3$	0.40	0.30	0.25	0.25	x	x	0.45	0.45	x	x	0.45	x	x

Tabela II-2. Vrednosti koeficijenta „K” u funkciji elemenata za zidanje i mogućih kombinacija maltera za zidanje prema Evrokodu 6

Rešenje:

Analizirajući geometrijske karakteristike elementa za zidanje koji je prikazan na slici (Slika II-2) i opisane uslove u Tabeli II-1, može se zaključiti da šuplja opeka pripada Grupi 2.

Za elemente Grupe 2 od pečene gline, ako se zidaju sa tankoslojnim malterom na osnovu Tabele II-2, vrednost koeficijenta $K=0,7$.

Na osnovu zadatog izraza karakteristična čvrstoća pri pritisku zida zidanog sa tankoslojnim malterom bi bila:

$$f_K = K \cdot f_b^{0,7} = 0,7 \cdot 20^{0,7} = 5,699 \text{ MPa}$$

Izjednačavanjem vrednosti karakteristične čvrstoće pri pritisku zida u izrazu sa običnim malterom:

$$f_K = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3}$$

dobije se izraz:

$$5,699 = 0,7 \cdot 20^{0,7} \cdot f_m^{0,3}$$

II. GRAĐEVINSKA KERAMIKA I ELEMENTI ZA ZIDANJE

iz koje se može izraziti čvrstoća maltera za slučaj zidanja sa običnim malterom treba da bude:

$$f_m \geq 1 \text{ MPa}$$

3. Na presovanim elementima za zidanje od običnog betona, koji su prikazani na Slici II-3 i Slici II-4, ispitana su njihova fizička i mehanička svojstva, koja su prikazana u Tabeli II-3.

Na osnovu navedenih podataka izračunati:

neto i bruto zapreminsku masu,

neto i bruto čvrstoću pri pritisku,

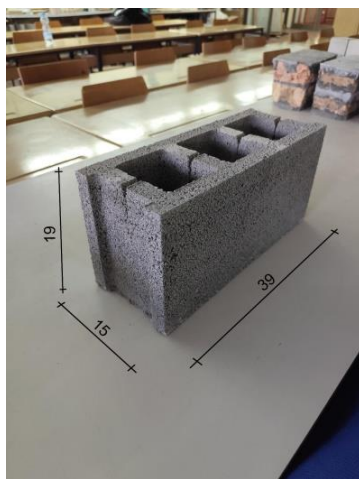
upijanje vode

da li su elementi za zidanje od betona pravljeni sa istim betonom?

Debljina spoljašnjih zidova elemenata je debljine 2,5 cm, a unutrašnje pregrade kod svih elemenata je debljine 2,0 cm. Takođe, donja strana elemenata je puna ploča debljine 3,0 cm u proseku. Ispitivanje kapilarnog upijanja je izvedeno na površini elemenata sa šupljinama (gornja strana).



Slika II-3. Predmetni presovani elementi za zidanje od običnog betona



Slika II-4. Predmetni elementi za zidanje od običnog betona sa naznačenim dimenzijama, koje se nalaze u Tabeli II-3

II. GRAĐEVINSKA KERAMIKA I ELEMENTI ZA ZIDANJE

	Blokovi 390x120x190	Blokovi 390x150x190	Blokovi 390x190x190	Blokovi 390x240x190
Prosečna bruto dužina elementa [mm]	390	390	390	390
Prosečna bruto širina elementa [mm]	120	150	190	240
Prosečna visina elementa [mm]	190	190	190	190
Sile loma uzoraka [kN]	228 218 232 211 224	275 289 271 269 274	281 269 275 264 281	441 452 432 459 435
Masa suvog uzorka pre ispitivanja [g]	10805	12951	15227	20725
Masa zasićenog uzorka nakon ispitivanja [g]	11399	13689	16308	21864

Tabela II-3. Rezultati ispitivanja elemenata (blokova) za zidanje od betona

Rešenje:

Blokovi
„390x120x190”

Prosečna bruto zapreminska masa elementa:

$$\gamma_b = \frac{10805 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 12 \text{ cm}^3} = 1,215 \text{ g/cm}^3 = 1215 \text{ kg/m}^3$$

Prosečna neto zapreminska masa:

$$\gamma_b = \frac{10805 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 12 - 3 \cdot 7 \cdot 10 \cdot 17 - 7 \cdot 1 \cdot 17 \cdot 2 \text{ cm}^3} = 2,125 \text{ g/cm}^3 = 2125 \text{ kg/m}^3$$

Srednja vrednost loma uzorka pri pritisku:

$$F = \frac{228 + 218 + 232 + 211 + 224}{5} = 222,6 \text{ kN}$$

Bruto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cb} = \frac{222,6kN}{390 \cdot 120 \text{ mm}^2} = 4,75 \text{ N/mm}^2$$

Neto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cn} = \frac{222,6kN}{390 \cdot 120 - 3 \cdot 100 \cdot 70 - 2 \cdot 10 \cdot 70 \text{ mm}^2} = 9,12 \text{ N/mm}^2$$

Prosečno upijanje elemenata:

$$w_a = \frac{11399 - 10805}{10805} \cdot 100 = 5,5\%$$

Blokovi
„390x150x190”

Prosečna bruto zapreminska masa elementa:

$$\gamma_b = \frac{12951 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 15 \text{ cm}^3} = 1,165 \text{ g/cm}^3 = 1165 \text{ kg/m}^3$$

Prosečna neto zapreminska masa:

$$\gamma_b = \frac{12951 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 15 - 3 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 17 - 10 \cdot 1 \cdot 17 \cdot 2 \text{ cm}^3} = 2,282 \text{ g/cm}^3 = 2282 \text{ kg/m}^3$$

Srednja vrednost loma uzorka pri pritisku:

$$F = \frac{275 + 289 + 271 + 269 + 274}{5} = 275,6 \text{ kN}$$

Bruto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cb} = \frac{275,6kN}{390 \cdot 150 \text{ mm}^2} = 4,71 \text{ N/mm}^2$$

Neto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cn} = \frac{275,6 \text{ kN}}{390 \cdot 150 - 3 \cdot 100 \cdot 100 - 2 \cdot 10 \cdot 70 \text{ mm}^2} = 10,17 \text{ N/mm}^2$$

Prosečno upijanje elemenata:

$$w_a = \frac{13689 - 12951}{12951} \cdot 100 = 5,7\%$$

Bloкови

„390x190x190”

Prosečna bruto zapreminska masa elementa:

$$\gamma_b = \frac{15227 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 19 \text{ cm}^3} = 1,165 \text{ g/cm}^3 = 1081 \text{ kg/m}^3$$

Prosečna neto zapreminska masa:

$$\gamma_b = \frac{15227 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 19 - 6 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 17 - 10 \cdot 1 \cdot 17 \cdot 2 \text{ cm}^3} = 2,282 \text{ g/cm}^3 = 2000 \text{ kg/m}^3$$

Srednja vrednost loma uzorka pri pritisku:

$$F = \frac{275 + 269 + 281 + 264 + 281}{5} = 274,0 \text{ kN}$$

Bruto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cb} = \frac{274,0 \text{ kN}}{390 \cdot 190 \text{ mm}^2} = 3,69 \text{ N/mm}^2$$

Neto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cn} = \frac{274,0 \text{ kN}}{390 \cdot 190 - 6 \cdot 60 \cdot 100 - 2 \cdot 10 \cdot 70 \text{ mm}^2} = 7,47 \text{ N/mm}^2$$

Prosečno upijanje elemenata:

$$w_a = \frac{16308 - 15227}{15227} \cdot 100 = 7,1\%$$

Bloкови
„390x240x190”

Prosečna bruto zapreminska masa elementa:

$$\gamma_b = \frac{20725 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 24 \text{ cm}^3} = 1,165 \text{ g/cm}^3 = 1165 \text{ kg/m}^3$$

Prosečna neto zapreminska masa:

$$\gamma_b = \frac{20725 \text{ g}}{39 \cdot 19 \cdot 24 - 6 \cdot 8,5 \cdot 10 \cdot 17 - 10 \cdot 1 \cdot 17 \cdot 2 \text{ cm}^3} = 2,362 \text{ g/cm}^3 = 2362 \text{ kg/m}^3$$

Srednja vrednost loma uzorka pri pritisku:

$$F = \frac{441 + 452 + 432 + 459 + 435}{5} = 443,8 \text{ kN}$$

Bruto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cb} = \frac{443,8 \text{ kN}}{390 \cdot 240 \text{ mm}^2} = 4,74 \text{ N/mm}^2$$

Neto čvrstoća pri pritisku blokova:

$$f_{cn} = \frac{443,8 \text{ kN}}{390 \cdot 240 - 6 \cdot 85 \cdot 100 - 2 \cdot 10 \cdot 70 \text{ mm}^2} = 10,77 \text{ N/mm}^2$$

Prosečno upijanje elemenata:

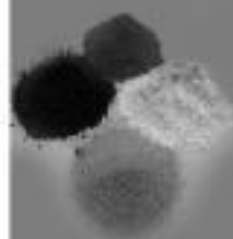
$$w_a = \frac{21864 - 20725}{20725} \cdot 100 = 5,5 \%$$

Nisu sve vrste elemenata, za zidanje od običnog betona, pravljene sa istim betonom ili nisu pravljene sve vrste na istoj mašini (presi). Ovo se može zaključiti na osnovu rezultata ispitivanja. Svi rezultati su međusobno u relaciji, jedino blokovi nazivnih mera 390x190x190 imaju rezultate svih ispitivanja, koji se razlikuju od ostalih.

III.

M
I
N
E
R
A
L
N
A

V
E
Z
I
V
A



III. MINERALNA VEZIVA

1. Kod jedne vrste cementa izmerena je specifična masa $\gamma_{sc}=2870 \text{ kg/m}^3$. Računajući da pri vodocementnom faktoru $\omega = m_v/m_c = 0,5$, stepen hidratacije cementa je $\alpha_h = 0,82$, izračunati:

- Kolika je gelska, kapilarna i ukupna poroznost cementnog kamena?
- Kolika je zapreminska masa cementnog kamena pri vodocementnom faktoru $\omega = m_v/m_c = 0,5$ i stepenu hidratacije cementa $\alpha_h = 0,82$?
- Izračunati ukupnu poroznost i za slučajeve:
 - pri vodocementnom faktoru $\omega = m_v/m_c = 0,6$ i stepenu hidratacije cementa je $\alpha_h = 0,95$
 - pri vodocementnom faktoru $\omega = m_v/m_c = 0,4$ i stepenu hidratacije cementa je $\alpha_h = 0,69$,

Rešenje zadatka:

- a) gelska poroznost (p_G) cementnog kamena se može izračunati pomoću izraza:

$$p_G = \frac{22 \alpha_h}{32 + 100 \frac{m_v}{m_c}} \cdot 100 (\%)$$

za $m_v/m_c = 0,5$ i $\alpha_h = 0,82$:

$$p_G = \frac{22 \cdot 0,82}{32 + 100 \cdot 0,5} \cdot 100 (\%) = \frac{18,04}{82} \cdot 100 (\%) = 22\%$$

kapilarna poroznost (p_K) cementnog kamena se može izračunati pomoću izraza:

$$p_K = \frac{100 \frac{m_v}{m_c} - 40 \alpha_h}{32 + 100 \frac{m_v}{m_c}} \cdot 100 (\%)$$

za $m_v/m_c = 0,5$ i $\alpha_h = 0,82$:

$$p_K = \frac{100 \frac{m_v}{m_c} - 40 \alpha_h}{32 + 100 \frac{m_v}{m_c}} \cdot 100 (\%) = \frac{50 - 32,8}{82} \cdot 100 (\%) = 20,98 \%$$

konačno, ukupna poroznost (p):

$$p = p_K + p_G = 22 \% + 20,98 \% = 42,98 \%$$

- b) ukupna poroznost cementnog kamena se može izračunati pomoću izraza:

$$p = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_{sc}}\right) \cdot 100 (\%)$$

pa sledi da je zapreminska masa cementnog kamena za zadate uslove:

$$\gamma = \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot \gamma_{sc} = (1 - 0,4298) \cdot 2870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1636,47 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

c) ukupna poroznost cementnog kamena:

pri vodocementnom faktoru $\omega = m_v/m_c = 0,6$ i stepenu hidratacije cementa je $\alpha_h = 0,95$

gelska poroznost (p_G) cementnog kamena:

$$p_G = \frac{22 \cdot 0,95}{32 + 100 \cdot 0,6} \cdot 100 (\%) = \frac{20,9}{92} \cdot 100 (\%) = 22,71 \%$$

kapilarna poroznost (p_K) cementnog kamena:

$$p_K = \frac{100 \frac{m_v}{m_c} - 40 \alpha_h}{32 + 100 \frac{m_v}{m_c}} \cdot 100 (\%) = \frac{60 - 38}{92} \cdot 100 (\%) = 23,91 \%$$

konačno, ukupna poroznost (p):

$$p = p_K + p_G = 22,71 \% + 23,91 \% = 46,62 \%$$

pri vodocementnom faktoru $\omega = m_v/m_c = 0,4$ i stepenu hidratacije cementa je $\alpha_h = 0,69$

gelska poroznost (p_G) cementnog kamena:

$$p_G = \frac{22 \cdot 0,69}{32 + 100 \cdot 0,4} \cdot 100 (\%) = \frac{15,18}{72} \cdot 100 (\%) = 21,08 \%$$

kapilarna poroznost (p_K) cementnog kamena:

$$p_K = \frac{100 \frac{m_v}{m_c} - 40 \alpha_h}{32 + 100 \frac{m_v}{m_c}} \cdot 100 (\%) = \frac{40 - 27,6}{72} \cdot 100 (\%) = 17,22 \%$$

konačno, ukupna poroznost (p):

$$p = p_K + p_G = 21,08 \% + 17,22 \% = 38,3 \%$$

Važno je primetiti kako smanjenje vodocementnog faktora smanjuje i poroznost cementnog kamena, pogotovo kapilarnu poroznost.

2. Izračunati da od 1 t negašenog (živog) kreča (CaO), koliko hidratisanog kreča (Ca(OH)_2) u obliku praha) i koliko gašenog kreča (Ca(OH)_2) u obliku paste, sa vodokrećnim faktorom $m_v/m_k = 0,95$ možemo dobiti?

Takođe izračunati, da sa 1 m^2 zida, iz krečnog maltera debljine 2 cm, koji je pravljen sa 350 kg/m^3 hidratisanog kreča, koliko vode će ispariti tokom procesa karbonatizacije (bez obzira na vlažnost samog maltera)

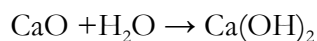
Zadate su sledeće atomske mase (Tabela III-1):

Hemijski simbol	Atomska masa (g/mol)
C	12
H	1
O	16
Ca	40

Tabela III-1. Atomske mase elementa

Rešenje zadatka:

Količina Ca(OH)_2 koja se dobija od CaO se može izračunati pomoću stehiometrijskih odnosa iz jednačine reakcije:



uvrštanjem odgovarajućih masa atoma:

$$(40+16)+(2\cdot 1+16) \rightarrow (40+2(1+16))$$

$$56+18 = 74$$

Iz stehiometrijskih odnosa se dobija odnos hidratisanog kreča i negašenog kreča:

$$\text{CaO} : \text{Ca(OH)}_2 = 56 : 74$$

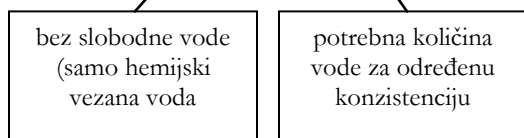
$$\text{Ca(OH)}_2 = \text{CaO} \frac{74}{56} = 1.32 \text{ CaO}$$

dakle od 1t CaO može se dobiti:

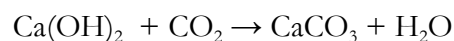
$$\text{Ca(OH)}_2 = 1.32 \cdot 1 \text{ t} = 1,32 \text{ t hidratisanog kreča}$$

Kod gašenog kreča u obliku paste potrebno je dodati još vode:

$$\text{gašeni kreč } (\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \frac{m_v}{m_k} \text{Ca}(\text{OH})_2 = 1,32 \text{ t} + 0,95 \cdot 1,32 \text{ t} = 2,57 \text{ t}$$



Hemijska reakcija prilikom karbonatizacije:



Uvrštanjem odgovarajućih masa atoma, stehiometrijski odnos iz jednačine reakcije:

$$(40+2(16+1)) + (16+2\cdot1) \rightarrow (40+12+3\cdot16) + (2\cdot1+16)$$

$$74 + 44 = 100 + 18$$

tokom ove reakcije, stehiometrijski odnos između $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i vode je:

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 : \text{H}_2\text{O} = 74 : 18$$

$$\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 \frac{18}{74} = 0,24 \text{ Ca}(\text{OH})_2$$

U zadatom primeru, koji se analizira, količina krečnog maltera debljine 2 cm:

$$V_m = 1,0 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 0,02 \text{ m} = 0,02 \text{ m}^3$$

u ovih 20 litara sveže izmalterisanog maltera količina $\text{Ca}(\text{OH})_2$ je:

$$350 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 0,02 \text{ m}^3 = 7 \text{ kg}$$

na 1 m^2 krečnog maltera, tokom karbonatizacije (ne računajući vlažnost maltera) treba da ispari:

$$\text{H}_2\text{O} = 0,24 \text{ Ca}(\text{OH})_2 = 0,24 \cdot 7 \text{ kg} = 1,68 \text{ kg}$$

IV.

M
A
L
T
E
R
I



IV. MALTERI

1. Za malterisanje fasadnog zida prema skici isprojektovati maltersku mešavinu sa zapreminskim učešćima 1:2:5 (cement:kreč:pesak) sa zadatom zapreminskom masom u svežem stanju $\gamma_{m,sv}=1980 \text{ kg/m}^3$. Potrebno je izračunati količine komponenti maltera u masenim jedinicama za 1 m^3 maltera i potrebne količine za malterisanje zadatog zida prikazanog na skici, slojem debljine od 2,0 cm i sa pretpostavljenim rasturom od 8 %.

Fere-ova formula za vodu:

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 m_{a1} + 0,09 m_{a2} + 0,03 m_{a3} + 0,7 m_k$$

$\gamma_c = 1080 \text{ kg/m}^3$ - zapreminska masa cementa u nasutom stanju;

$\gamma_k = 820 \text{ kg/m}^3$ - zapreminska masa kreča u nasutom stanju;

$\gamma_a = 1420 \text{ kg/m}^3$ - zapreminska masa agregata u nasutom stanju.

Granulometrijski sastav agregata (peska):

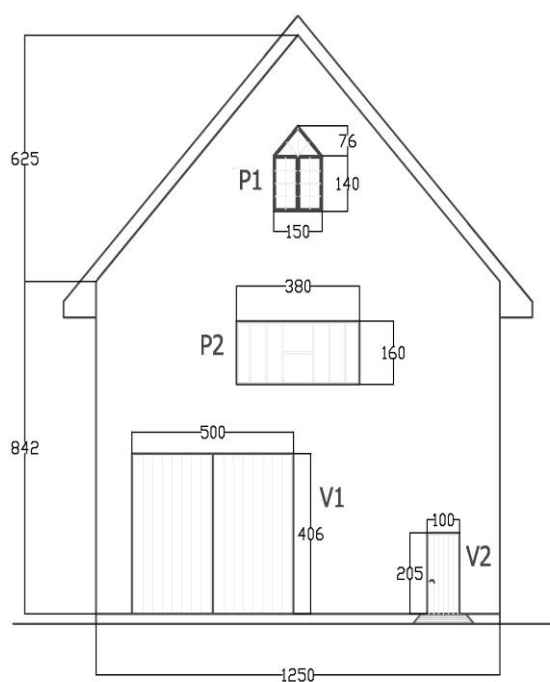
$m_{a1} = 80 \%$; frakcija 0/0,5

$m_{a2} = 20 \%$; frakcija 0,5/2

$m_{a3} = 0 \%$; frakcija 2/5

Vlažnost agregata (peska):

$$H_a = 8,0 \%$$



Slika IV-1. Fasadni zid, koji se malteriše (dimenzije date u cm)

Rešenje zadatka:

Mešavina maltera je zadata sa zapreminskim odnosima:

$$V_c: V_k: V_p=1:2:5$$

na osnovu ovih odnosa se mogu izraziti odnosi u masama:

$$V_k = 2 \cdot V_c$$

$$\frac{m_k}{\gamma_k} = 2 \frac{m_c}{\gamma_c}$$

$$m_k = 2 \frac{\gamma_k}{\gamma_c} m_c$$

$$V_a = 5 \cdot V_c$$

$$\frac{m_a}{\gamma_a} = 5 \frac{m_c}{\gamma_c}$$

$$m_a = 5 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c$$

Količinu vode možemo izraziti iz Fere-ove formule u funkciji mase cementa:

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 m_{a1} + 0,09 m_{a2} + 0,03 m_{a3} + 0,7 m_k$$

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 \cdot 0,8 \cdot m_a + 0,09 \cdot 0,2 \cdot m_a + 0,03 \cdot 0 + 0,7 m_k$$

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 \cdot 0,8 \cdot 5 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,09 \cdot 0,2 \cdot 5 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,7 \cdot 2 \frac{\gamma_k}{\gamma_c} m_c$$

Uvrštanjem zadatih vrednosti zapreminskih masa komponentnih materijala u nasutom stanju:

$$m_k = 2 \frac{\gamma_k}{\gamma_c} m_c = 2 \frac{820}{1080} m_c = 1,518 \cdot m_c$$

$$m_a = 5 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c = 5 \frac{1420}{1080} m_c = 6,574 \cdot m_c$$

$$\begin{aligned} m_v &= 0,235 m_c + 0,23 \cdot 0,8 \cdot 5 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,09 \cdot 0,2 \cdot 5 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,7 \cdot 2 \frac{\gamma_k}{\gamma_c} m_c = \\ &= 0,235 m_c + 1,210 m_c + 0,118 m_c + 1,063 m_c = 2,626 m_c \end{aligned}$$

Pošto je zadata tražena zapreminska masa svežeg maltera:

$$m_c + m_k + m_a + m_v = 1980 \text{ kg/m}^3$$

Uvrštanjem prethodno izraženih članova se može izračunati masa cementa:

$$m_c + 1,518 \cdot m_c + 6,574 \cdot m_c + 2,626 m_c = 1980 \text{ kg/m}^3$$

$$11,718 m_c = 1980 \text{ kg/m}^3$$

$$m_c = 168,97 \text{ kg/1 m}^3$$

Ostale komponente maltera su:

$$m_k = 1,518 \cdot m_c = 1,518 \cdot 168,97 \text{ kg/m}^3 = 256,5 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_a = 6,574 \cdot m_c = 6,574 \cdot 168,97 \text{ kg/m}^3 = 1110,81 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_v = 2,626 m_c = 2,626 \cdot 168,97 \text{ kg/m}^3 = 443,72 \text{ kg/1 m}^3$$

Kontrola:

$$m_c + m_k + m_a + m_v \stackrel{?}{=} 1980 \text{ kg/m}^3$$

$$168,97 \text{ kg/1 m}^3 + 256,5 \text{ kg/1 m}^3 + 1110,81 \text{ kg/1 m}^3 + 443,72 \text{ kg/1 m}^3 = 1980 \text{ kg/m}^3$$

Pošto je pesak vlažan, potrebno je korigovati količine peska i vode (koje će se dozirati u mešalicu):

$$m_a^* = \frac{m_a}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = \frac{1110,81}{1 - \frac{8}{100}} = 1207,40 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_v^* = m_v - (m_a^* - m_a) = 443,72 \text{ kg/m}^3 - (1207,40 \text{ kg/m}^3 - 1110,81 \text{ kg/1 m}^3) = 347,13 \text{ kg/1 m}^3$$

Površina fasadnog zida, koja se malteriše:

$$A = (12,50 \cdot 8,42) + (6,25 \cdot 12,50/2) - (1,00 \cdot 2,05) - (5,00 \cdot 4,06) - (3,80 \cdot 1,60) - (1,5 \cdot 1,4) - (0,76 \cdot 1,50/2) = 105,25 + 39,06 - 2,05 - 20,3 - 6,08 - 2,1 - 0,57 = 113,21 \text{ m}^2$$

Potrebna količina maltera:

$$V_m = 113,21 \text{ m}^2 \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 1,08 = 2,455 \text{ m}^3$$

Ukupne, potrebne količine komponentnih materijala za malterisanje predmetnog zida:

$$m_c = 2,455 \text{ m}^3 \cdot 168,97 \text{ kg/1 m}^3 = 413,19 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_k = 2,455 \text{ m}^3 \cdot 256,5 \text{ kg/1 m}^3 = 629,71 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_a^* = 2,455 \text{ m}^3 \cdot 1207,40 \text{ kg/1 m}^3 = 2964,17 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_v^* = 2,455 \text{ m}^3 \cdot 347,13 \text{ kg/1 m}^3 = 852,20 \text{ kg/1 m}^3$$

2. Isprojektovati maltersku mešavinu sa zapreminskim učešćima 1:3:9 (cement:kreč:pesak) sa zadatom zapreminskom masom u svežem stanju $\gamma_{m,sv}=2010 \text{ kg/m}^3$ – iterativnim postupkom. Poznate su vrednosti:

$\gamma_{cs} = 3150 \text{ kg/m}^3$ -specifična masa cementa;

$\gamma_c = 1210 \text{ kg/m}^3$ -zapreminska masa cementa u nasutom stanju;

$\gamma_{kr} = 2530 \text{ kg/m}^3$ - specifična masa kreča ;

$\gamma_k = 580 \text{ kg/m}^3$ - zapreminska masa kreča u nasutom stanju;

$\gamma_{as} = 2650 \text{ kg/m}^3$ - specifična masa peska (zapreminska masa zrna agregata);

$\gamma_a = 1490 \text{ kg/m}^3$ -zapreminska masa agregata u nasutom stanju.

$k = 0,82$ – vodokrećni faktor

Granulometrijski sastav peska:

$m_{a1} = 50 \%$; frakcija 0/0,5

$m_{a2} = 30 \%$; frakcija 0,5/1

$m_{a3} = 20 \%$; frakcija 1/5

Vlažnost agregata (peska):

$$H_a = 12,1 \%$$

Fere-ova (Ferét) formula za potrebnu količinu vode:

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 m_{a1} + 0,09 m_{a2} + 0,03 m_{a3} + k m_k$$

Koliko % je uvučeni vazduh u svežem, ugrađenom malteru.

Proveriti da li je svež malter dovoljno masan.

Rešenje zadatka:

Mešavina maltera je zadata sa zapreminskim odnosima:

$$V_c : V_k : V_p = 1:3:9$$

na osnovu ovih odnosa zapremina se mogu izraziti odnosi u masama:

$$V_k = 3 \cdot V_c$$

$$\frac{m_k}{\gamma_k} = 3 \frac{m_c}{\gamma_c}$$

$$m_k = 3 \frac{\gamma_k}{\gamma_c} m_c$$

$$V_a = 9 \cdot V_c$$

$$\frac{m_a}{\gamma_a} = 9 \frac{m_c}{\gamma_c}$$

$$m_a = 9 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c$$

Količinu vode možemo izraziti iz Fere-ove formule u funkciji mase cementa:

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 m_{a1} + 0,09 m_{a2} + 0,03 m_{a3} + k m_k$$

Uvrštanjem zadatih vrednosti zapreminskih masa komponentnih materijala u nasutom stanju:

$$m_k = 3 \frac{\gamma_k}{\gamma_c} m_c = 3 \frac{580}{1210} m_c = 1,438 \cdot m_c$$

$$m_a = 9 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c = 9 \frac{1490}{1210} m_c = 11,082 \cdot m_c$$

$$\begin{aligned} m_v &= 0,235 m_c + 0,23 \cdot 0,5 \cdot 9 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,09 \cdot 0,3 \cdot 9 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,03 \cdot 0,2 \cdot 9 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,82 \cdot 3 \frac{\gamma_k}{\gamma_c} m_c = \\ &= 0,235 m_c + 1,274 m_c + 0,299 m_c + 0,066 m_c + 1,179 m_c = 3,053 m_c \end{aligned}$$

Kod iterativnog postupka masa cementa se pretpostavlja u 0. iteraciji, pa se svakom iteracijom masa cementa (u funkciji prvog veziva su izražene ostale komponente) približava tačnoj vrednosti.

0.iteracija:

pretpostavka: $m_c = 177 \text{ kg}$

na osnovu ove pretpostavke se računaju ostale komponente:
hidratizirani kreč:

$$m_{k0} = 1,438 \cdot m_{c0} = 254,53 \text{ kg}$$

pesak:

$$m_{a0} = 11,082 \cdot m_{c0} = 1961,51 \text{ kg}$$

voda:

$$m_{v0} = 3,053 \, m_{c0} = 540,38 \, \text{kg}$$

nakon toga svaka nova iteracija počinje sa proračunom količine cementa pomoću količine vode iz prethodne iteracije:

imajući u vidu da 1 m^3 svežeg, ugrađenog betona se sastoji od:

$$\gamma_{m,sv} = m_c + m_k + m_a + m_v$$

u ovom slučaju se može napisati:

$$\gamma_{m,sv} = m_c + 1,438 \cdot m_c + 11,082 \cdot m_c + m_v$$

odnosno:

$$2010 \, \text{kg/m}^3 = m_c (1 + 1,438 + 11,082) + m_v$$

1.iteracija:

$$m_{c1} = \frac{2010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - m_{v0}}{(1 + 1,438 + 11,082)} = \frac{2010 - 540,38}{13,52} = 108,70 \, \text{kg}$$

na osnovu ove vrednosti se računaju ostale komponente u iteraciji:
hidratisani kreč:

$$m_{k1} = 1,438 \cdot m_{c1} = 156,31 \, \text{kg}$$

pesak:

$$m_{a1} = 11,082 \cdot m_{c1} = 1204,61 \, \text{kg}$$

voda:

$$m_{v1} = 3,053 \, m_{c1} = 331,86 \, \text{kg}$$

2.iteracija:

cement:

$$m_{c2} = \frac{2010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - m_{v1}}{(1 + 1,438 + 11,082)} = \frac{2010 - 331,86}{13,52} = 124,12 \, \text{kg}$$

hidratisani kreč:

$$m_{k2} = 1,438 \cdot m_{c2} = 178,48 \, \text{kg}$$

pesak:

$$m_{a2} = 11,082 \cdot m_{c2} = 1375,53 \, \text{kg}$$

voda:

$$m_{v2} = 3,053 \, m_{c2} = 378,95 \, \text{kg}$$

3.iteracija:

cement:

$$m_{c3} = \frac{2010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - m_{v2}}{(1 + 1,438 + 11,082)} = \frac{2010 - 378,95}{13,52} = 120,64 \text{ kg}$$

hidratisani kreč:

$$m_{k3} = 1,438 \cdot m_{c3} = 173,48 \text{ kg}$$

pesak:

$$m_{a3} = 11,082 \cdot m_{c3} = 1336,93 \text{ kg}$$

voda:

$$m_{v3} = 3,053 m_{c3} = 368,13 \text{ kg}$$

4.iteracija:

cement:

$$m_{c4} = \frac{2010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - m_{v3}}{(1 + 1,438 + 11,082)} = \frac{2010 - 368,13}{13,52} = 121,42 \text{ kg}$$

pošto je razlika između poslednje dve iteracije :

$$\Delta = m_{c4} - m_{c3} = 121,42 - 120,64 = 0,79 < 1$$

može se smatrati da je razlika dovoljno mala, tj. rešenje iz poslednje iteracije se može usvojiti kao tačno. Na osnovu nje se mogu izračunati i ostale komponente:

hidratisani kreč:

$$m_{k4} = 1,438 \cdot m_{c4} = 174,60 \text{ kg}$$

pesak:

$$m_{a4} = 11,082 \cdot m_{c4} = 1345,58 \text{ kg}$$

voda:

$$m_{v4} = 3,053 m_{c4} = 370,69 \text{ kg}$$

kontrola:

$$m_{c4} + m_{k4} + m_{a4} + m_{v4} = 121,42 + 174,6 + 1345,58 + 370,69 = 2012,30 \text{ kg/m}^3 \approx 2010,00 \text{ kg/m}^3$$

Pošto je pesak vlažan, potrebno je korigovati količine peska i vode (koje će se dozirati u mešalicu):

$$m_a^* = \frac{m_a}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = \frac{1345,58}{1 - \frac{12,1}{100}} = 1530,81 \text{ kg/m}^3$$

$$m_v^* = m_v - (m_a^* - m_a) = 370,69 \text{ kg/m}^3 - (1530,81 \text{ kg/m}^3 - 1345,58 \text{ kg/m}^3) = 370,69 \text{ kg/m}^3 - 185,23 \text{ kg/m}^3 = 185,46 \text{ kg/m}^3$$

Zapreminu pora ili poroznost u svežem malteru možemo izračunati ukoliko izračunamo zapreminu svih komponentnih materijala:

$$1 = \frac{mc}{\gamma_{cs}} + \frac{mk}{\gamma_{ks}} + \frac{ma}{\gamma_{as}} + \frac{mv}{\gamma_v} + V_p$$

$$V_p = 1 - \left(\frac{121,12}{3150} + \frac{174,6}{2530} + \frac{1345,58}{2650} + \frac{370,69}{1000} \right) = 0,014 \text{ m}^3 = 1,4\%$$

Provera obradljivosti maltera:

uslov je da koeficijent kompaktnosti bude veći od 1:

$$K = \frac{\frac{mc}{\gamma_{cs}} + \frac{mk}{\gamma_{ks}} + \frac{mv}{\gamma_v}}{\left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma_{as}}\right) \cdot \frac{ma}{\gamma_{as}}} > 1$$

uvrštanjem dobijenih vrednosti:

$$K = \frac{\frac{121,12}{3150} + \frac{174,6}{2530} + \frac{370,69}{1000}}{\left(1 - \frac{1490}{2650}\right) \cdot \frac{1345,58}{2650}} = 2,15 > 1$$

dakle uslov je ispunjen, koeficijent kompaktnosti $K = 2,15 > 1$.

3. Isprojektovati maltersku mešavinu sa zapreminskim učešćima 1:3 (cement:pesak) sa zadatom zapreminskom masom u svežem stanju $\gamma_{m,sv} = 2120 \text{ kg/m}^3$. Poznate su vrednosti:

$\gamma_{cs} = 3200 \text{ kg/m}^3$ -specifična masa cementa;

$\gamma_c = 1250 \text{ kg/m}^3$ -zapreminska masa cementa u nasutom stanju;

$\gamma_{as} = 2640 \text{ kg/m}^3$ - specifična masa peska (zapreminska masa zrna agregata);

$\gamma_a = 1460 \text{ kg/m}^3$ -zapreminska masa agregata u nasutom stanju.

Izračunati koji bi odnos bio u čvrstoći maltera pri pritisku ako se malter pravi sa finim peskom frakcije 0/1 i ako bi se koristila frakcija grubog peska 0/4

Granulometrijski sastav finog peska 0/1:

$m_{a1} = 70 \%$; frakcija 0/0,5

$m_{a2} = 30 \%$; frakcija 0,5/1

$m_{a3} = 0 \%$; frakcija 1/5

Granulometrijski sastav grubog peska 0/4:

$m_{a1} = 25 \%$; frakcija 0/0,5

$m_{a2} = 35 \%$; frakcija 0,5/1

$m_{a3} = 40 \%$; frakcija 1/5

koristiti Fere-ovu (Ferét) formula za potrebnu količinu vode:

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23m_{a1} + 0,09m_{a2} + 0,03m_{a3}$$

Za proračun čvrstoće maltera pri pritisku koristiti empirijski izraz u funkciji vodocementnog faktora:

$$f_m = 127,84e^{-2,196\omega}$$

gde je :

$$\omega = m_v/m_c$$

Rešenje zadatka:

➤ Proračun recepture maltera sa finim peskom:

$$m_a = 3 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c = 3 \frac{1460}{1250} m_c = 3,504 \cdot m_c$$

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 \cdot 0,7 \cdot 3 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,09 \cdot 0,3 \cdot 3 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c =$$

$$= 0,235 m_c + 0,564 m_c + 0,095 m_c = 0,894 m_c$$

Za traženu zapreminsku masu svežeg maltera:

$$m_c + m_a + m_v = 2120 \text{ kg/m}^3$$

Uvrštanjem prethodno izraženih članova se može izračunati masa cementa:

$$m_c + 3,504 \cdot m_c + 0,894 m_c = 2120 \text{ kg/m}^3$$

$$5,398 m_c = 2120 \text{ kg/m}^3$$

$$m_c = 392,77 \text{ kg/m}^3$$

Ostale komponente maltera su:

$$m_a = 3,504 \cdot m_c = 3,504 \cdot 392,77 \text{ kg/m}^3 = 1376,25 \text{ kg/m}^3$$

$$m_v = 0,894 m_c = 0,894 \cdot 392,77 \text{ kg/m}^3 = 351,14 \text{ kg/m}^3$$

Kontrola:

$$m_c + m_a + m_v \stackrel{?}{=} 2120 \text{ kg/m}^3$$

$$392,77 \text{ kg/m}^3 + 1376,25 \text{ kg/m}^3 + 351,14 \text{ kg/m}^3 = 2120,14 \text{ kg/m}^3$$

vodocementni faktor u malteru sa finim peskom:

$$\omega = m_v/m_c = 351,14/392,77 = 0,894$$

čvrstoća maltera pri pritisku u funkciji vodocementnog faktora:

$$f_m = 127,84 e^{-2,196 \omega} = 127,84 e^{-1,963} = 17,95 \text{ MPa}$$

➤ Proračun recepture maltera sa grubim peskom:

$$m_a = 3 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c = 3 \frac{1460}{1250} m_c = 3,504 \cdot m_c$$

$$m_v = 0,235 m_c + 0,23 \cdot 0,25 \cdot 3 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,09 \cdot 0,35 \cdot 3 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c + 0,03 \cdot 0,4 \cdot 3 \frac{\gamma_a}{\gamma_c} m_c =$$

$$= 0,235 m_c + 0,201 m_c + 0,110 m_c + 0,042 m_c = 0,588 m_c$$

Za traženu zapreminsku masu svežeg maltera:

$$m_c + m_a + m_v = 2120 \text{ kg/m}^3$$

Uvrštanjem prethodno izraženih članova se može izračunati masa cementa:

$$m_c + 3,504 \cdot m_c + 0,588 m_c = 2120 \text{ kg/m}^3$$

$$5,092 m_c = 2120 \text{ kg/m}^3$$

$$m_c = 416,34 \text{ kg/m}^3$$

Ostale komponente maltera su:

$$m_a = 3,504 \cdot m_c = 3,504 \cdot 416,34 \text{ kg/m}^3 = 1458,85 \text{ kg/m}^3$$

$$m_v = 0,588 m_c = 0,588 \cdot 416,34 \text{ kg/m}^3 = 244,81 \text{ kg/m}^3$$

Kontrola:

$$m_c + m_a + m_v \stackrel{?}{=} 2120 \text{ kg/m}^3$$

$$416,34 \text{ kg/m}^3 + 1458,85 \text{ kg/m}^3 + 244,81 \text{ kg/m}^3 = 2120,00 \text{ kg/m}^3$$

vodocementni faktor u malteru sa finim peskom:

$$\omega = m_v / m_c = 244,81 / 416,34 = 0,588$$

čvrstoća maltera pri pritisku u funkciji vodocementnog faktora:

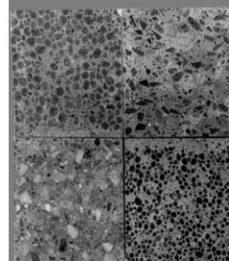
$$f_m = 127.84 e^{-2.196\omega} = 127.84 e^{-1.291} = 35,16 \text{ MPa}$$

Uporedna analiza:

$$\frac{35,16}{17,95} = 1,959$$

dakle malter sa grubim peskom ima otprilike 2x veću čvrstoćom od maltera sa finim peskom.

V.
B
E
T
O
N
I



V. BETONI

1. Isprojektovati betonsku mešavinu 1 m³ betona klase C25/30, ako su zadani sledeći elementi:

- agregat: rečni frakcije 0/4;
drobljeni agregat 4/8, 8/16 ,
- zastupljenost agregata usvojiti prema izrazu EMPA
- sa izmerenim vlažnostima agregata : $H_{(0-4)} = 8,7 \%$; $H_{(4-8)} = 2,8 \%$; $H_{(8-16)} = 1,5 \%$
- sa zapreminskom masom zrna agregata :
- rečni: $\gamma_{sa1} = 2,62 \text{ g/cm}^3$
- drobljeni (daci): $\gamma_{sa2} = 2,68 \text{ g/cm}^3$
- konzistencija svežeg betona: plastična
- cement klase čvrstoće 32,5 N
- specifična masa cementa:
 $\gamma_{sc} = 2925 \text{ kg/m}^3$
- poroznost svežeg betona:
 $V_p = 2,2 \%$
- aditivi:
- ubrzivač u količini 3,0 % u odnosu na masu cementa ;
- $\gamma_{s,ub} = 1005 \text{ kg/m}^3$
- i zaptivač u količini 0,5 % u odnosu na masu cementa ;
- $\gamma_{s,zp} = 1080 \text{ kg/m}^3$

Rešenje zadatka:

Zapremina betona za 1 m³ svežeg, ugrađenog betona se sastoji od:

$$V_{b,sv} = V_a + V_c + V_v + V_d + V_p = 1 \text{ m}^3$$

gde:

$V_{b,sv}$ - zapremina svežeg, ugrađenog betona

V_a - zapremina agregata

V_c - zapremina veziva (cement)

V_v - zapremina vode

V_d - zapremina dodataka (aditiva)

V_p - zapremina pora (uvučeni vazduh)

- količina vode:

Potrebna količina vode se može izračunati pomoću Fere-ove formule:

$$m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}}$$

gde je:

$D_{\max}$ = najveća nazivna mera frakcije agregata

K_o = koeficijent iz Tabele V-1

Napomena: pod „rečnim“ agregatom su obuhvaćeni agregati sa zaobljenim zrnima, a pod „drobljenim“ agregatom se podrazumevaju agregati koji imaju uglasta zrna.

Konzistencija	Rečni pesak i rečni šljunak	Rečni pesak i drobljeni kamen	Drobljen kamen(i krupan i sitan agregat)
Kruta	≤ 330	≤ 350	≤ 400
Slabo plastična	330 – 350	350 - 375	400 – 430
Plastična	350 – 370	375 – 405	430 – 460
Tečna	≥ 370	≥ 405	≥ 460

Tabela V-1. Vrednosti K_o prema Fere-u

Uvrštavajući potrebne podatke:

$$m_v = \frac{K_o}{\sqrt[5]{D_{\max}}} = \frac{390}{\sqrt[5]{16}} = 224,0 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina cementa:

Cement se određuje u zavisnosti od tražene klase čvrstoće betona. Za traženu klasu čvrstoće betona C25/30, usvajamo projektovanu 28-dnevnu čvrstoću pri pritisku:

$$f_c = 30 \text{ MPa} + 8 \text{ MPa} = 38 \text{ MPa}$$

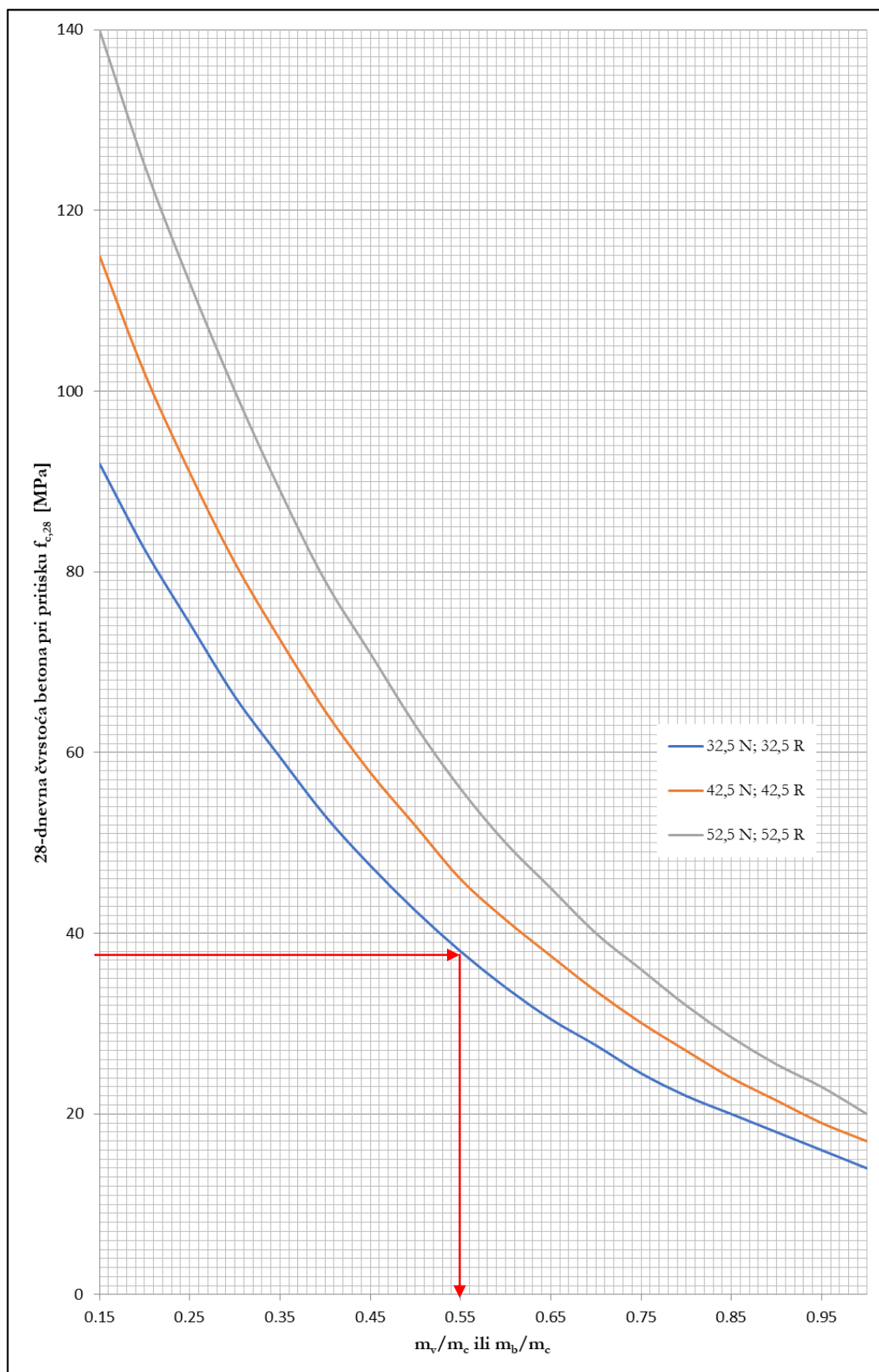
Za traženu 28-dnevnu čvrstoću, na osnovu Slike V-1. može se očitati potreban vodocementni faktor:

$$m_v/m_c = 0,55$$

i na osnovu nje, potrebna količina cementa je:

$$m_c = m_v/0,55 = 224/0,55$$

$$m_c = 407,3 \text{ kg/1 m}^3$$



Slika V-1. Odnos vodocementnog faktora i 28-dnevne čvrstoće betona za različite klase čvrstoće cementa

- količina aditiva:

Aditivi se uvek određuju u funkciji količine cementa (ili ukupne količine veziva, ako je tako navedeno u Tehničkom listu proizvođača aditiva):

$$m_d = m_c \cdot k \text{ (\%)}$$

gde je „k“ odnos količine dodatka

Prema tome, količina hemijskih aditiva:

Ubrzivač:

$$m_{d1} = 3/100 \cdot m_c = 0,03 \cdot 407,3 \text{ kg/1 m}^3 = 12,22 \text{ kg/1 m}^3$$

Zaptivač:

$$m_{d2} = 0,5/100 \cdot m_c = 0,005 \cdot 407,3 \text{ kg/1 m}^3 = 2,04 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina agregata:

Količina agregata se može odrediti na osnovu prethodne jednačine, kada su već ostale komponente poznate:

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - (V_c + V_v + V_d + V_p)$$

zapremine komponentnih materijala se mogu izraziti u funkciji dobijenih količina u masama, ako su zapreminske mase (gustine) poznate:

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - \left(\frac{m_c}{\gamma_c} + \frac{m_v}{\gamma_v} + \frac{m_{d1}}{\gamma_{d1}} + \frac{m_{d2}}{\gamma_{d2}} + V_p \right)$$

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - \left(\frac{407,3}{2925} + \frac{224}{1000} + \frac{12,22}{1005} + \frac{2,04}{1085} + \frac{2,2}{100} \right)$$

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - (0,139 + 0,224 + 0,0122 + 0,0019 + 0,022)$$

$$V_a = 0,601 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

Granulometrijski sastav agregata po frakcijama se određuje prema izrazu EMPA - e:

$$y_d = 50 \cdot \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right) \text{ (\%)}$$

Za zadate glavne frakcije potrebno je izračunati % prolaza za:

$$y_4 = 50 \cdot \left(\frac{4}{16} + \sqrt{\frac{4}{16}} \right) = 37,5 \%$$

$$y_8 = 50 \cdot \left(\frac{8}{16} + \sqrt{\frac{8}{16}} \right) = 60,35 \%$$

$$y_{16} = 50 \cdot \left(\frac{16}{16} + \sqrt{\frac{16}{16}} \right) = 100 \%$$

Na ovaj način definisan sastav agregata biće:

$$\Delta y_{0/4} = y_4 - y_0 = 37,5\% - 0 = 37,5 \%$$

$$\Delta y_{4/8} = y_8 - y_4 = 60,35\% - 37,5\% = 22,85 \%$$

$$\Delta y_{8/16} = y_{16} - y_8 = 100\% - 60,35\% = 39,65 \%$$

Zapreminski sastav agregata biće:

$$V_{0/4} = 37,5/100 \cdot 0,601 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,225 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

$$V_{4/8} = 22,85 / 100 \cdot 0,601 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,137 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

$$V_{8/16} = 39,65 / 100 \cdot 0,601 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,238 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

Izračunato po masama agregata:

$$m_{0/4} = V_{0/4} \cdot \gamma_{a1} = 0,225 \text{ m}^3 \cdot 2620 \text{ kg/m}^3 = 589,5 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{4/8} = V_{4/8} \cdot \gamma_{a2} = 0,137 \text{ m}^3 \cdot 2680 \text{ kg/m}^3 = 366,3 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{8/16} = V_{8/16} \cdot \gamma_{a2} = 0,238 \text{ m}^3 \cdot 2680 \text{ kg/m}^3 = 637,8 \text{ kg/1 m}^3$$

Zapreminska masa 1 m³ betonske mešavine u svežem, ugrađenom stanju je:

$$\begin{aligned} m_c + m_v + m_{0/4} + m_{4/8} + m_{8/16} + m_{d1} + m_{d2} = & 407,3 \text{ kg/1 m}^3 + 224,0 \text{ kg/1 m}^3 + \\ & + 589,5 \text{ kg/1 m}^3 + 366,3 \text{ kg/1 m}^3 + 637,8 \text{ kg/1 m}^3 + 12,22 \text{ kg/1 m}^3 + 2,04 \text{ kg/1 m}^3 = 2259,2 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Međutim, pošto su zadate vlažnosti frakcija agregata, potrebno je korigovati količine agregata, tj. povećati količinu vlažnog agregata, kako bi se dozirala potrebna (projektovana) količina agregata od svake frakcije. Korigovane količine agregata (m_a^*) se mogu izračunati prema izrazu:

$$m_{a1}^* = \frac{m_{a1}}{\left(1 - \frac{H_{a1}}{100}\right)}$$

Za zadate frakcije i vlažnosti korigovane mase frakcije su:

$$m_{0/4}^* = \frac{m_{0/4}}{\left(1 - \frac{H_{0/4}}{100}\right)} = \frac{589,5}{1 - \frac{8,7}{100}} = 645,67 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{4/8}^* = \frac{m_{4/8}}{\left(1 - \frac{H_{4/8}}{100}\right)} = \frac{386,3}{1 - \frac{2,8}{100}} = 397,43 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{8/16}^* = \frac{m_{8/16}}{\left(1 - \frac{H_{8/16}}{100}\right)} = \frac{637,8}{1 - \frac{1,5}{100}} = 647,51 \text{ kg/1 m}^3$$

pošto je sa vlažnim frakcijama agregata već dozirana određena količina vode, potrebno je izračunati, koju količinu vode je potrebno još dodati:

$$\begin{aligned} m_v^* &= m_v - (m_{0/4}^* - m_{0/4}) - (m_{4/8}^* - m_{4/8}) - (m_{8/16}^* - m_{8/16}) = 224 \text{ kg/m}^3 - (645,67 \text{ kg/m}^3 - \\ &589,5 \text{ kg/m}^3) - (397,43 \text{ kg/m}^3 - 386,3 \text{ kg/1 m}^3) - (647,51 \text{ kg/m}^3 - 637,8 \text{ kg/1 m}^3) = 146,99 \text{ kg/1 m}^3 \end{aligned}$$

Kontrola: ukupna masa svih komponenata koji se doziraju treba da bude jednaka sa projektovanom zapreminskom masom svežeg betona:

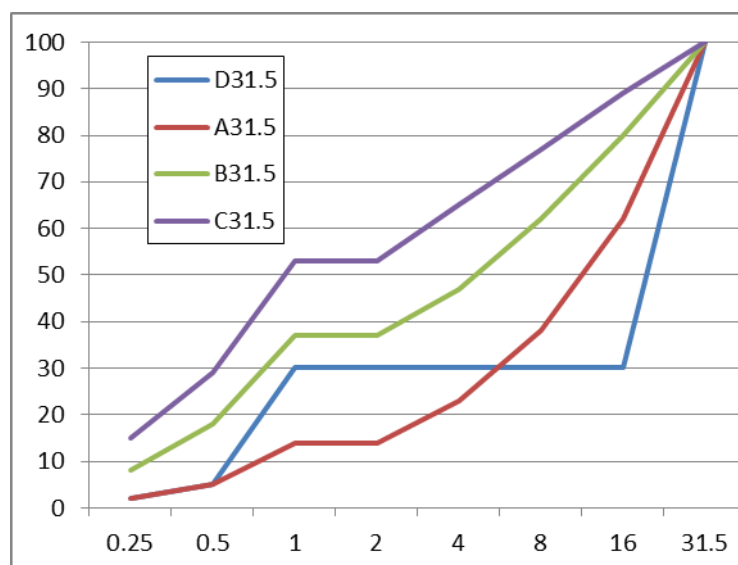
$$\begin{aligned} &407,3 \text{ kg/1 m}^3 + 146,99 \text{ kg/1 m}^3 + 645,67 \text{ kg/1 m}^3 + 397,43 \text{ kg/1 m}^3 + 647,51 \text{ kg/1 m}^3 + 12,22 \text{ kg/1 m}^3 \\ &+ 2,04 \text{ kg/1 m}^3 = 2259,2 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

2. U narednoj tabeli (Tabela V-2) prikazani su ostaci a_i izraženi u gramima na pojedinim sitima, dobijeni kao rezultat prosejavanja agregata – reciklata (reciklirani beton) :

Otvori sita d_i [mm]	Ostatak na siti a_i [g]
31.5	-
16	1523.60
8	4420.00
4	917.80
2	649.20
1	114.20
0.5	152.40
0.25	69.00
0.125	31.60
0.063	25.00
DNO	36.00

Tabela V-2. Rezultat prosejavanja recikliranog betona

- Na osnovu prikazanih rezultata prosejavanja nacrtati granulometrijsku krivu ispitanog agregata u pogodnoj razmeri.
- Proveriti, da li je granulometrijski sastav agregata od recikliranog betona nakon drobljenja odgovara zahtevima standarda SRPS EN 206 (Slika V-2) , tj. da li se može koristiti za izradu betona?
- Ukoliko ne, poboljšati dodavanjem potrebnu količinu odgovarajuće frakcije rečnog agregata.
- Ukoliko raspolažemo sa 1830 m^3 ovog agregata vlažnosti 3,5%, a imajući u vidu da je izmerena zapreminska masa u nasutom stanju $\gamma_z = 1550 \text{ kg/m}^3$, koliko trebamo još naručiti dodatne frakcije?



Slika V-2. Referentne granulometrijske krive prema standardu SRPS EN 206 za $D_{max}=31.5$

Rešenje zadatka:

- a) Kako bi nacrtali granulometrijsku krivu, prvo je potrebno izračunati prolaz kroz sito (y_d):

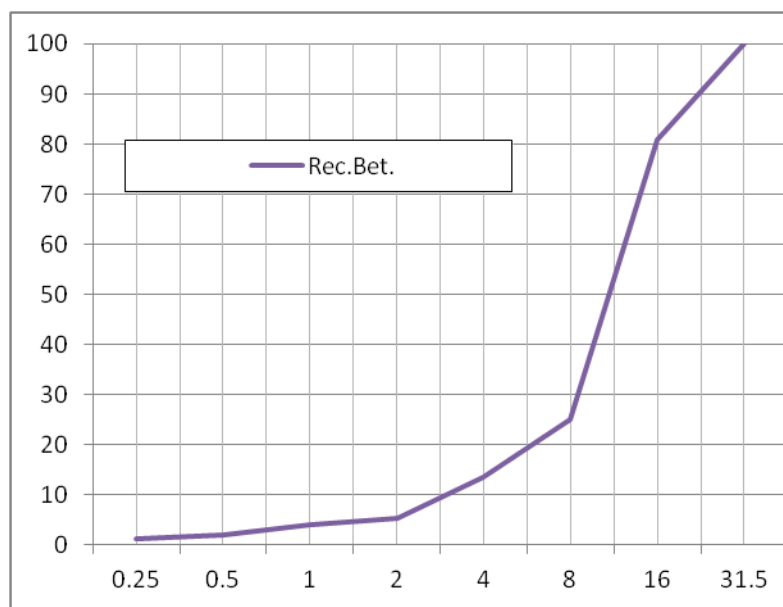
$$y_d = \frac{100}{A_{uk}} \cdot \sum_{i=0}^n a_i [\%]$$

koje su tabelarno date u narednoj tabeli:

d [mm]	A [g]	y_d [%]
31.5	-	-
16	1523.60	100.00
8	4420.00	80.81
4	917.80	25.13
2	649.20	13.57
1	114.20	5.39
0.5	152.40	3.96
0.25	69.00	2.04
0.125	31.60	1.17
0.063	25.00	0.77
DNO	36.00	0.45
	7938.80	

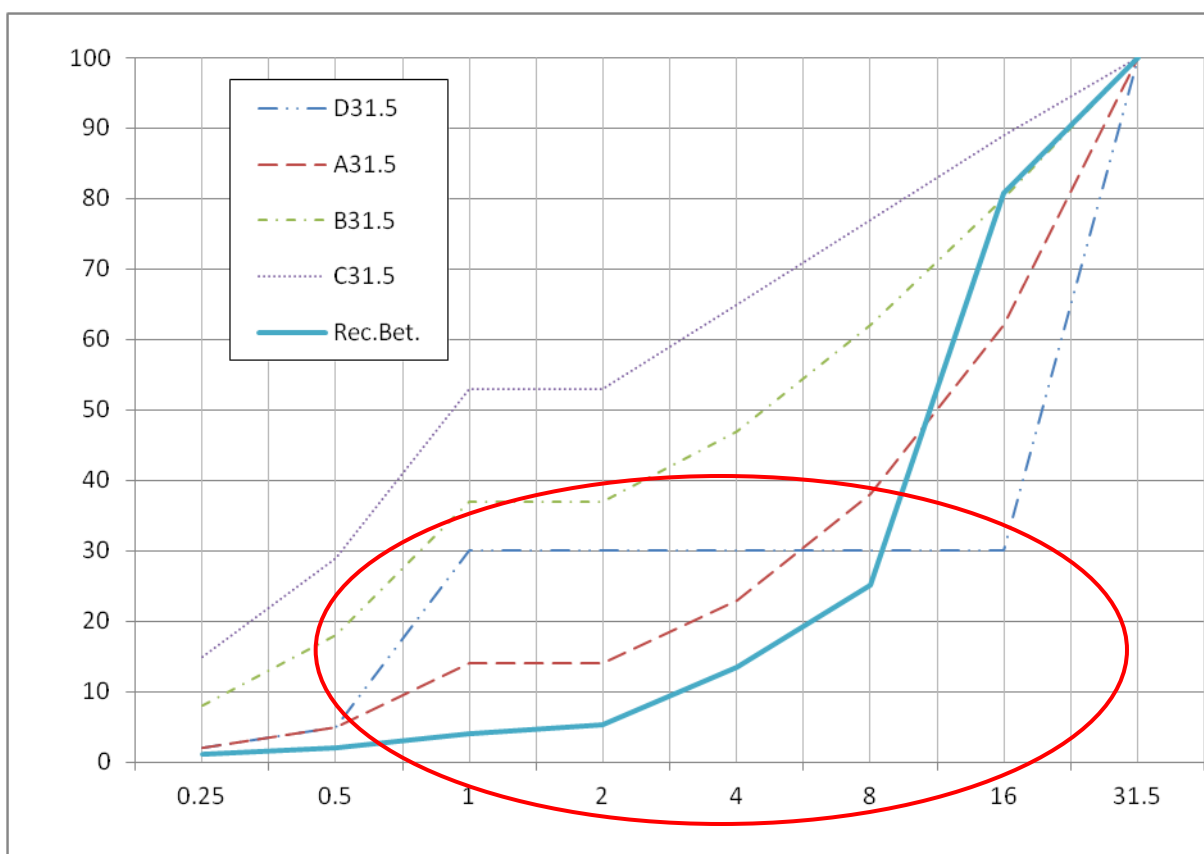
Tabela V-3. Procentualno učešće pojedinih frakcija recikliranog betona

Na osnovu koje se može nacrtati granulometrijska kriva:



Slika V-3. Granulometrijski sastav recikliranog betona

- b) kako bi se utvrdilo da li granulometrijski sastav agregata zadovoljava zahteve standarda SRPS EN 206, potrebno je nacrtati i referentne granulometrijske krive A, B, C i D ovog standarda:



Slika V-4. Referentne granulometrijske krive prema standarda SRPS EN 206

Kao što je na Slici V-4 prikazano, granulometrijski sastav recikliranog betona NE odgovara zahtevima sa aspekta granulometrijskog sastava za pravljenje betona.

- c) Prilikom razmatranja poboljšanja granulometrijskog sastava mešavine agregata, uvek treba nastojati da se dodaje što manje vrsta agregata (frakcija) i da se dodaje što manja količina dodatnog agregata (frakcije).

Imajući u vidu gore prikazan sastav recikliranog agregata, jasno je da nema dovoljno sitne frakcije u mešavini agregata. Stoga će se prvo dodati frakcija 0/4, tako da ukupno ima zrna manja od 4 mm između 23% i 47% (Krive A i B). Ipak potrebno je proveriti i da li će to imati povoljan uticaj na granulometrijski sastav kao celinu.

Ako se postavi uslov da u mešavini recyklata (oznaka R.B.) i dodatne frakcije 0/4 ukupno imamo zrna manja od 4 mm 30%, onda možemo napisati:

$$X_{rb} \cdot 13,57 + X_{0/4} \cdot 100 = 30 \text{ [\%]}$$

pošto je:

$$X_{rb} + X_{0/4} = 1,00$$

sledi:

$$X_{rb} = 1,00 - X_{0/4}$$

uvrštanjem u prethodnu jednačinu se dobije:

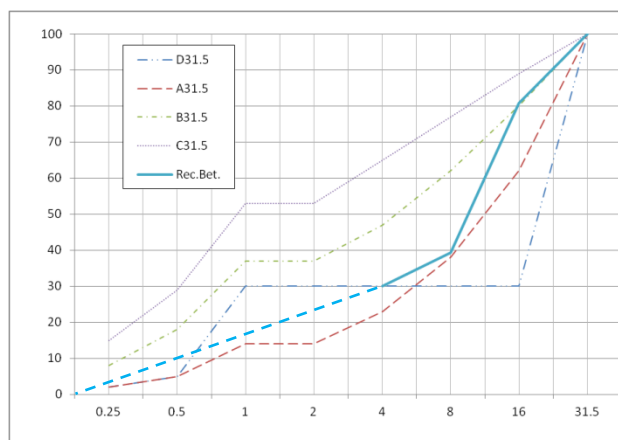
$$(1,00 - X_{0/4}) \cdot 13,57 + X_{0/4} \cdot 100 = 30 [\%]$$

$$13,57 - 13,57X_{0/4} + X_{0/4} \cdot 100 = 30 [\%]$$

$$86,43 X_{0/4} = 16,43$$

$$X_{0/4} = 0,1901 \sim 19\%$$

Dodavanja frakcije 0/4 od 19% u ukupnoj mešavini agregata, granulometrijska kriva se nalazi unutar referentne krive „A“ i „B“ praktično na celom delu (Slika V-5.):



Slika V-5. Konačna granulometrijske kriva agregata (81% Rec.bet. i 19% frakcija 0/4)

- d) Ukoliko raspolažemo sa 1830 m^3 ovog agregata vlažnosti 3,5%, a imajući u vidu da je izmerena zapreminska masa u nasutom stanju $\gamma_z = 1550 \text{ kg/m}^3$, to znači da imamo:

$$m_{rb} = 1830 \text{ m}^3 \cdot 1550 \text{ kg/m}^3 = 2836500 \text{ kg ili } 2836,5 \text{ t vlažnog recikliranog betona}$$

$$\text{ili } m_{rb,d} = 2836,5 \cdot (1 - 0,035) = 2737,2 \text{ t suvog recikliranog betona}$$

Da bi imali agregat adekvatnog sastava za proizvodnju betona potrebno je još :

$$m_{0/4,d} = 2737,2 \cdot 19/81 = 642,06 \text{ t suve frakcije rečnog agregata 0/4 kako bi doziranjem u odnosu:}$$

Reciklirani beton 0/31,5	81%
Rečni pesak 0/4	19%

agregat u betonu imao odgovarajući granulometrijski sastav.

3. Isprojektovati betonsku mešavinu 1 m³ betona klase C30/37, ako su zadani sledeći elementi:

- agregat: rečni frakcije 0/4;
rečni 0-4;
reciklirani beton 4-8, 16-31,5 ,
- reciklirani beton nakon 60 minuta ima upijanje: $w_{60}=6\%$ (obe frakcije)
- zastupljenost agregata usvojiti prema Fulerovom izrazu
- sa izmerenim vlažnostima agregata : $H_{(0-4)} = 8,7\%$; $H_{(4-8)} = 2,2\%$; $H_{(16-31,5)} = 3,5\%$
- sa specifičnom masom agregata :
rečni $\gamma_{sa1}=2,62 \text{ g/cm}^3$
reciklirani beton $\gamma_{sa2}=2,30 \text{ g/cm}^3$
- konzistencija betona: tečna
- cement klase: 42,5 R
 $\gamma_{sc}=3025 \text{ kg/m}^3$ -specifična masa cementa
- poroznost svežeg betona: $V_p=4,5\%$
- voda: $\gamma_v=1000 \text{ kg/m}^3$ -gustina vode
- aditivi: aerant u količini 0,1 % u odnosu na masu cementa ;
 $\gamma_{s,aerant}=985 \text{ kg/m}^3$
- i plastifikator u količini 0,5 % u odnosu na masu cementa ;
 $\gamma_{s,plastif}=1080 \text{ kg/m}^3$

Rešenje zadatka:

Zapremina betona za 1 m³ svežeg, ugrađenog betona se sastoji od:

$$V_{b,sv} = V_a + V_c + V_v + V_{d1} + V_{d2} + V_p = 1 \text{ m}^3$$

gde:

$V_{b,sv}$ - zapremina svežeg, ugrađenog betona

V_a - zapremina agregata

V_c - zapremina veziva (cement)

V_v - zapremina vode

V_{d1} - zapremina dodataka (aditiva)

V_{d2} - zapremina dodataka (aditiva)

V_p - zapremina pora (uvučeni vazduh)

- količina vode:

Potrebna količina vode se može izračunati pomoću Fere-ove formule:

$$m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}}$$

gde je:

D_{max} = najveća nazivna mera frakcije agregata

K_0 = koeficijent iz Tabele IV-1

Napomena: reciklirani beton je agregat, gde su zrna uglasta, oštra, stoga se mogu tretirati kao drobljeni agregat kod određivanja koeficijenta K_0

Uvrštavajući zadate podatke:

$$m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}} = \frac{390}{\sqrt[5]{31,5}} = 195,6 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina cementa:

Cement se određuje u zavisnosti od tražene klase čvrstoće betona. Za traženu klasu čvrstoće betona C30/37, usvajamo projektovanu 28-dnevnu čvrstoću pri pritisku:

$$f_c = 37 \text{ MPa} + 8 \text{ MPa} = 45 \text{ MPa}$$

Za traženu 28-dnevnu čvrstoću, na osnovu Slike IV-1. može se očitati potreban vodocementni faktor:

$$m_v/m_c = 0,56$$

i na osnovu nje, potrebna količina cementa je:

$$m_c = m_v/0,56 = 195,6/0,56$$

$$m_c = 349,3 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina aditiva:

Aerant:

$$m_{d1} = 0,1/100 \cdot m_c = 0,001 \cdot 349,3 \text{ kg/1 m}^3 = 0,35 \text{ kg/1 m}^3$$

Plastifikator:

$$m_{d2} = 0,5/100 \cdot m_c = 0,005 \cdot 349,3 \text{ kg/1 m}^3 = 1,75 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina agregata:

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - (V_c + V_v + V_{d1} + V_{d2} + V_p)$$

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - \left(\frac{m_c}{\gamma_c} + \frac{m_v}{\gamma_v} + \frac{m_{d1}}{\gamma_{d1}} + \frac{m_{d2}}{\gamma_{d2}} + V_p \right)$$

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - \left(\frac{349,3}{3025} + \frac{195,6}{1000} + \frac{0,35}{985} + \frac{1,75}{1080} + \frac{4,5}{100} \right)$$

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - (0,115 + 0,196 + 0,0004 + 0,0016 + 0,045)$$

$$V_a = 0,642 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

Granulometrijski sastav agregata po frakcijama se određuje prema izrazu Fulera:

$$y_d = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}} \text{ (%)}$$

Za zadate glavne frakcije potrebno je izračunati % prolaza za:

$$y_4 = 100 \cdot \sqrt{\frac{4}{31,5}} = 35,63 \text{ \%}$$

$$y_8 = 100 \cdot \sqrt{\frac{8}{31,5}} = 50,39 \text{ \%}$$

$$y_{16} = 100 \cdot \sqrt{\frac{16}{31,5}} = 71,26 \text{ \%}$$

$$y_{31,5} = 100 \cdot \sqrt{\frac{31,5}{31,5}} = 100 \text{ \%}$$

Na osnovu ovoga sastav agregata bi trebalo da se sastoji od:

$$\Delta y_{0/4} = y_4 - y_0 = 35,63\% - 0 = 35,63\%$$

$$\Delta y_{4/8} = y_8 - y_4 = 50,39 \% - 35,63\% = 14,76 \text{ \%}$$

$$\Delta y_{8/16} = y_{16} - y_8 = 71,26 \% - 50,39 \% = 20,87 \text{ \%}$$

$$\Delta y_{16/31,5} = y_{31,5} - y_{16} = 100 \% - 71,26 \% = 28,74 \text{ \%}$$

Međutim frakcija 8/16 se ne koristi u mešavini, pošto se radi o diskontinualnoj granulometrijskoj krivi. U ovom slučaju sastav agregata je potrebno korigovati na način da se 20,87% raspodeli na frakcije koje se koriste:

$$\Delta y_{0/4}^* = 35,63\% + \frac{35,63\%}{79,13\%} 20,87 = 35,63\% + 9,40\% = 45,03\%$$

$$\Delta y_{4/8}^* = 14,76\% + \frac{14,76\%}{79,13\%} 20,87 = 14,76\% + 3,89\% = 18,60\%$$

$$\Delta y_{16/31,5}^* = 28,74\% + \frac{28,74\%}{79,13\%} 20,87 = 28,79\% + 7,58\% = 36,37\%$$

Kontrola:

$$45,03\% + 18,60\% + 36,37\% = 100\%$$

Zapreminski sastav agregata biće:

$$V_{0/4} = 45,03/100 \cdot 0,642 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,289 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

$$V_{4/8} = 18,60/100 \cdot 0,642 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,119 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

$$V_{16/31,5} = 36,37/100 \cdot 0,642 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,233 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

Izračunato po masama agregata:

$$m_{0/4} = V_{0/4} \cdot \gamma_{a1} = 0,289 \text{ m}^3 \cdot 2620 \text{ kg/m}^3 = 757,18 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{4/8} = V_{0/4} \cdot \gamma_{a2} = 0,119 \text{ m}^3 \cdot 2300 \text{ kg/m}^3 = 273,7 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{8/16} = V_{0/4} \cdot \gamma_{a2} = 0,238 \text{ m}^3 \cdot 2300 \text{ kg/m}^3 = 537,04 \text{ kg/1 m}^3$$

Zapreminska masa 1 m³ betonske mešavine u svežem, ugrađenom stanju je:

$$m_c + m_v + m_{0/4} + m_{4/8} + m_{16/31,5} + m_{d1} + m_{d2} = 349,3 \text{ kg/1 m}^3 + 195,6 \text{ kg/1 m}^3 + \\ + 757,18 \text{ kg/1 m}^3 + 273,7 \text{ kg/1 m}^3 + 537,04 \text{ kg/1 m}^3 + 0,35 \text{ kg/1 m}^3 + 1,75 \text{ kg/1 m}^3 = 2114,92 \text{ kg/m}^3$$

Međutim, pošto su zadate vlažnosti frakcija agregata, potrebno je korigovati količine agregata, tj. povećati količinu vlažnog agregata, kako bi se dozirala potrebna (projektovana) količina agregata od svake frakcije. Korigovane količine agregata (m_a^*) se mogu izračunati prema izrazu:

$$m_{a1}^* = \frac{m_{a1}}{\left(1 - \frac{H_{a1}}{100}\right)}$$

Za zadate frakcije i vlažnosti korigovane mase frakcije su:

$$m_{0/4}^* = \frac{m_{0/4}}{\left(1 - \frac{H_{0/4}}{100}\right)} = \frac{757,18}{1 - \frac{8,7}{100}} = 829,33 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{4/8}^* = \frac{m_{4/8}}{\left(1 - \frac{H_{4/8}}{100}\right)} = \frac{273,7}{1 - \frac{2,2}{100}} = 279,86 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{16/31,5}^* = \frac{m_{16/31,5}}{\left(1 - \frac{H_{16/31,5}}{100}\right)} = \frac{537,04}{1 - \frac{3,5}{100}} = 556,52 \text{ kg/1 m}^3$$

pošto je sa vlažnim frakcijama agregata već dozirana određena količina vode, potrebno je izračunati, koju količinu vode bi bilo potrebno još dodati:

$$m_v^* = m_v - (m_{0/4}^* - m_{0/4}) - (m_{4/8}^* - m_{4/8}) - (m_{16/31,5}^* - m_{16/31,5}) = 195,6 \text{ kg/m}^3 - (829,33 \text{ kg/m}^3 - 757,18 \text{ kg/m}^3) - (279,86 \text{ kg/m}^3 - 273,7 \text{ kg/1 m}^3) - (556,52 \text{ kg/m}^3 - 537,04 \text{ kg/1 m}^3) = 97,81 \text{ kg/1 m}^3$$

Kontrola:

$$349,3 \text{ kg/1 m}^3 + 97,81 \text{ kg/1 m}^3 + 829,33 \text{ kg/1 m}^3 + 279,86 \text{ kg/1 m}^3 + 556,52 \text{ kg/1 m}^3 + 0,35 \text{ kg/1 m}^3 + 1,75 \text{ kg/1 m}^3 = 2114,92 \text{ kg/m}^3$$

Korekcija vode zbog upijanja agregata:

$$\begin{aligned} m_{**v} &= m_v^* + \left[\left(\frac{m_{(4/8)} \cdot w_{60}}{100} - (m_{(4/8)}^* - m_{(4/8)}) \right) + \left(\frac{m_{(16/31,5)} \cdot w_{60}}{100} - (m_{(16/31,5)}^* - m_{(16/31,5)}) \right) \right] = \\ &= 97,81 + \left[\left(\frac{273,7 \cdot 6}{100} - (279,86 - 273,7) \right) + \left(\frac{537,04 \cdot 24}{100} - (556,52 - 537,04) \right) \right] = \\ &= 97,81 + 10,26 + 12,74 = 120,81 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

4. Isprojektovati betonsku mešavinu 1 m³ betona, ako su zadani sledeći elementi:

- agregat: rečni 0-2;
Lytag (laki agregat) 4-8,8-16 ,
- laki agregat nakon 60 minuta ima upijanje: $w_{60}=24\%$ (obe frakcije)
- zastupljenost agregata usvojiti prema: EMPA
- vodovezivni faktor usvojiti 0,4
- sa izmerenim vlažnostima agregata : $H_{(0-2)} = 8,7 \%$; $H_{(4-8)} = 14,2 \%$; $H_{(8-16)} = 12,5 \%$
- sa specifičnom masom agregata :
- rečni $\gamma_{sa1}=2,61 \text{ g/cm}^3$
- Lytag $\gamma_{sa2}=1,37 \text{ g/cm}^3$
- konzistencija betona: plastična
- cement klase 42,5 R $\gamma_{sc}=3085 \text{ kg/m}^3$ -specifična masa cementa
- 30% cementa zameniti sa letećim pepelom, čija k-vrednost je 0,4 i
- $\gamma_{sfa}=2565 \text{ kg/m}^3$ -specifična masa pepela
- poroznost svežeg betona: $V_p=1,2 \%$
- voda: $\gamma_v=1000 \text{ kg/m}^3$ -specifična masa vode
- aditivi: ubrzivač u količini 1,5 % u odnosu na masu cementa ;
- $\gamma_{s, ubrzivač}=1025 \text{ kg/m}^3$
- i superplastifikator u količini 0,7 % u odnosu na masu cementa ;
- $\gamma_{s,superplastifikator}=1085 \text{ kg/m}^3$

Takođe imajući u vidu zadate vrednosti globalnog potencijala zagrevanja (Global Warming Potential – GWP) komponentnih materijala (Tabela V-4), izračunati i prikazati pomoću stubičnog dijagrama sastav karbonskog otiska dobijene mešavine.

Materijal	Globalni potencijal zagrevanja (kg CO ₂ e / kg)
Cement	0,950
Agregat rečni	0,02
Agregat laki	0,300
Leteći pepeo	0,027
Aditivi	2
Voda	0,0004

Tabela V- 4. Vrednosti globalnog potencijala zagrevanja komponentnih materijala

Rešenje zadatka:

Zapreminska učešća: zapremina agregata V_a
zapremina cementa V_c
zapremina letećeg pepela V_{lp}
zapremina vode V_v
zapremina dodataka (aditiva) V_d
zapremina pora (uvučeni ili zaostali vazduh) V_p

$$1 \text{ m}^3 = V_a + V_c + V_v + V_{lp} + V_{d1} + V_{d2} + V_p$$

$$V_{b,sv} = 1,0 = \frac{m_a}{\gamma_{sa}} + \frac{m_c}{\gamma_{sc}} + \frac{m_{lp}}{\gamma_{slp}} + \frac{m_v}{\gamma_{sv}} + \frac{m_{d1}}{\gamma_{sd1}} + \frac{m_{d2}}{\gamma_{sd2}} + V_p$$

ODREĐIVANJE MASE VODE:

Masa vode se određuje u odnosu na zahtevanu konzistenciju odnosno u odnosu na vrstu agregata i maksimalnu veličinu zrna agregata (otvoru sita), prema FERE-ovoj formuli:

$$m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}} = \frac{360}{\sqrt[5]{16}} = 206,77 \text{ kg/m}^3$$

Kako je zadana konzistencija plastična, agregat Lytag takođe ima zaobljena zrna kao i rečni agregat (rečni pesak i šljunak), a maksimalni otvor sita (frakcija) 16,0 mm dobijamo sledeće vrednosti:

- K_0 -očitavamo (350-370) , odabiremo 360

- Masa vode : $m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}} = \frac{360}{\sqrt[5]{16}} = 206,77 \text{ kg/m}^3$

ODREĐIVANJE VEZIVA (CEMENT+PEPEO)

Zadat je vodovezivni faktor:

$$\frac{m_v}{m_B} = \frac{m_v}{m_c + 0,4 \cdot m_{lp}} = 0,40 \quad ; \quad \frac{206,77}{0,82 m_B} = 0,4$$

$$m_B = \frac{206,77}{0,4} = 516,93 \text{ kg/m}^3 - \text{računska vrednost (fiktivno)}$$

$$m_{Br} = \frac{516,93}{0,82} = 630,40 \text{ kg/m}^3 - \text{stvarna vrednost (realne količine)}$$

CEMENT:

$$m_c = 0,7 \cdot m_{Br} = 0,7 \cdot 630,40 \text{ kg/m}^3 = 441,28 \text{ kg/m}^3$$

LETEĆI PEPEO: $\gamma_{sc} = 3085,0 \text{ kg/m}^3 - \text{specifična masa cementa}$

$$m_{lp} = 0,3 \cdot m_{Br} = 0,3 \cdot 630,40 \text{ kg/m}^3 = 189,12 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{sp} = 2565 \text{ kg/m}^3 - \text{specifična masa pepela}$$

ODREĐIVANJE DODATAKA (ADITIVA)

Masa dodataka se uvek dozira (određuje) procentualno u odnosu na masu veziva (cement)

$$m_d = m_c \cdot k \text{ (\%)}$$

Ubrzivač:

$$m_{d1} = m_c \cdot k_1 \text{ (\%)} = \frac{1,5}{100} \cdot 441,28 = 6,62 \text{ kg/m}^3$$

Superplastifikator:

$$m_{d2} = m_c \cdot k_2 \text{ (\%)} = \frac{0,7}{100} \cdot 441,28 = 3,09 \text{ kg/m}^3$$

γ_{sd} - specifična masa dodatka (aditiva) koju možemo izmeriti ako nam nije poznata iz obrasca:

Ubrzivač:

$$V_{d1} = \frac{m_d}{\gamma_{sd}} = \frac{6,62}{1025} = 0,0065 \text{ m}^3$$

Superplastifikator:

$$V_{d2} = \frac{m_d}{\gamma_{sd}} = \frac{3,09}{1085} = 0,0028 \text{ m}^3$$

ODREĐIVANJE MASE AGREGATA

Masa agregata ostaje kao jedina nepoznata i nju određujemo iz formule:

$$V_{b,sv} = 1,0 = \frac{m_a}{\gamma_{sc}} + \frac{441,28}{3085} + \frac{206,77}{1000} + \frac{189,12}{2565} + \frac{6,62}{1025} + \frac{3,09}{1085} + V_p$$

$$V_p = 1,5 \%$$

Iz praktičnih razloga prvi član $\frac{m_a}{\gamma_s}$ izračunavamo kao V_a
i onda ga posle rastavljamo $m_a = V_a \cdot \gamma_{sa}$:

$$V_{b,sv} = 1,0 = V_a - \left(\frac{441,28}{3085} + \frac{206,77}{1000} + \frac{189,12}{2565} + \frac{6,62}{1025} + \frac{3,09}{1085} + 0,015 \right)$$

$$V_a = 1,0 - (0,143 + 0,207 + 0,074 + 0,0065 + 0,0028 + 0,015) = 0,5520 \text{ m}^3$$

$V_a = 55,2 \%$ - učešće agregata u zapremini betona

Kako imamo dve zadane vrste agregata :

$$V_{a0/2} (0/2) = \text{rečni pesak sa } \gamma_{sa1} = 2610,0 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{a4/8} \text{ i } V_{a8/16} (4/8 ; 8/16) = \text{laki agregat (Lytag) sa } \gamma_{sa2} = 1370,0 \text{ kg/m}^3$$

Imamo zadane izmerene vlažnosti agregata:

$$H_{a1} = 8,7 \% (0/2) \quad H_a = \frac{m_{ov} - m_o}{m_o} \times 100 ; m_{ov} - \text{masa vlažnog agregata}$$

$$H_{a2} = 14,2 \% (4/8) \quad m_o - \text{masa potpuno suvog agregata}$$

$$H_{a3} = 12,5 \% (8/16)$$

Granulometrijski sastav odnosno učešće pojedinih frakcija je zadato da se odredi prema prema EMPA :

$$y_d = 50 \cdot \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right) (\%)$$

; d - pojedina frakcija (otvor sita) mm; D - maksimalna frakcija (otvor sita) mm

$$D_{max} = 16 \text{ mm}$$

procentualno učešće pojedine frakcije:

$$y_0 = 50 \cdot \left(\frac{0}{16} + \sqrt{\frac{0}{16}} \right) = 0\%$$

$$y_2 = 50 \cdot \left(\frac{2}{16} + \sqrt{\frac{2}{16}} \right) = 23,93\%$$

$$y_4 = 50 \cdot \left(\frac{4}{16} + \sqrt{\frac{4}{16}} \right) = 37,5\%$$

$$y_8 = 50 \cdot \left(\frac{8}{16} + \sqrt{\frac{8}{16}} \right) = 60,36\%$$

$$y_{16} = 50 \cdot \left(\frac{16}{16} + \sqrt{\frac{16}{16}} \right) = 100\%$$

$$\Delta y_{(0/2)} + \Delta y_{(4/8)} + \Delta y_{(8/16)} = 23,93 + 22,86 + 39,64 = 86,43\%$$

ostatak od 13,57% delimo na frakcije koje koristimo

$$\Delta y_{(0/2)}^* = 23,93 + \frac{13,57}{86,43} \cdot 23,93 = 27,69\%$$

$$\Delta y_{(4/8)}^* = 22,86 + \frac{13,57}{86,43} \cdot 22,86 = 26,45\%$$

$$\Delta y_{(8/16)}^* = 39,64 + \frac{13,57}{86,43} \cdot 39,64 = 45,81\%$$

$$V_{a0/2} = V_a \cdot \Delta y_{(0/2)}^* \cdot \frac{1}{100} = 0,552 \text{ m}^3 \cdot \frac{27,69}{100} = 0,153 \text{ m}^3$$

$$V_{a4/8} = V_a \cdot \Delta y_{(4/8)}^* \cdot \frac{1}{100} = 0,552 \text{ m}^3 \cdot \frac{26,45}{100} = 0,146 \text{ m}^3$$

$$V_{a8/16} = V_a \cdot \Delta y_{(8/16)}^* \cdot \frac{1}{100} = 0,552 \text{ m}^3 \cdot \frac{45,81}{100} = 0,253 \text{ m}^3$$

$$\text{kontrola } \Sigma = 0,552 \text{ m}^3$$

$$m_{(0/2)} = V_{a0/2} \cdot \gamma_{s,a1} = 0,153 \cdot 2610 = 399,33 \text{ kg}$$

$$m_{(4/8)} = V_{a4/8} \cdot \gamma_{s,a2} = 0,146 \cdot 1370 = 200,02 \text{ kg}$$

$$m_{(8/16)} = V_{a8/16} \cdot \gamma_{s,a2} = 0,253 \cdot 1370 = 346,61 \text{ kg}$$

Ukupna masa agregata uz pretpostavku da je agregat putpuno suv:

$$m_{(0/2)} + m_{(4/8)} + m_{(8/16)} = 399,33 + 200,02 + 346,61 = 945,96 \text{ kg/m}^3$$

Korekcija agregata zbog vlažnosti:

$$m^{*(0/2)} = \frac{m_{(0/2)}}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = 399,33 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{8,7}{100}\right)} = 437,38 \text{ kg/m}^3$$

$$m^{*(4/8)} = \frac{m_{(4/8)}}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = 200,02 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{14,2}{100}\right)} = 233,12 \text{ kg/m}^3$$

$$m^{*(8/16)} = \frac{m_{(8/16)}}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = 346,61 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{12,5}{100}\right)} = 396,13 \text{ kg/m}^3$$

korigovana ukupna masa agregata: 1066,63 kg/m³

Isto tako, prilikom doziranja u mešalicu moramo korigovati (smanjiti) i masu vode za onu količinu (masu) vode koja se nalazi unutar agregata.

Korekcija vode zbog vlažnosti agregata:

$$\begin{aligned} m^{*}_v &= m_v - [(m^{*(0/4)} - m_{(0/4)}) + (m^{*(4/8)} - m_{(4/8)}) + (m^{*(8/16)} - m_{(8/16)})] = \\ &= 206,77 - [(437,38 - 399,33) + (233,12 - 200,02) + (396,13 - 346,61)] = 86,10 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Korekcija vode zbog upijanja agregata:

$$\begin{aligned} m^{**}_v &= m^{*}_v + \left[\left(\frac{m_{(4/8)} \cdot w_{60}}{100} - (m^{*(4/8)} - m_{(4/8)}) \right) \left(\frac{m_{(8/16)} \cdot w_{60}}{100} - (m^{*(8/16)} - m_{(8/16)}) \right) \right] = \\ &= 86,10 + \left[\left(\frac{200,02 \cdot 24}{100} - (233,12 - 200,02) \right) + \left(\frac{346,61 \cdot 24}{100} - (396,13 - 346,61) \right) \right] = \\ &= 86,10 + 14,90 + 33,67 = 169,23 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dakle, ukupna masa vode koju doziramo u mešalicu kod spravljanja betona iznosi 169,23 kg/m³.

Ukupni globalni potencijal zagrevanja komponentnih mešavina u usvojenoj mešavini se može dobiti množenjem količina sa jediničnim koeficijentom GWP-a:

cement : 441,28 kg · 0,95 kg CO₂e / kg = 419,216 kg CO₂e

rečni agregat : 399,33 kg · 0,02 kg CO₂e / kg = 7,987 kg CO₂e

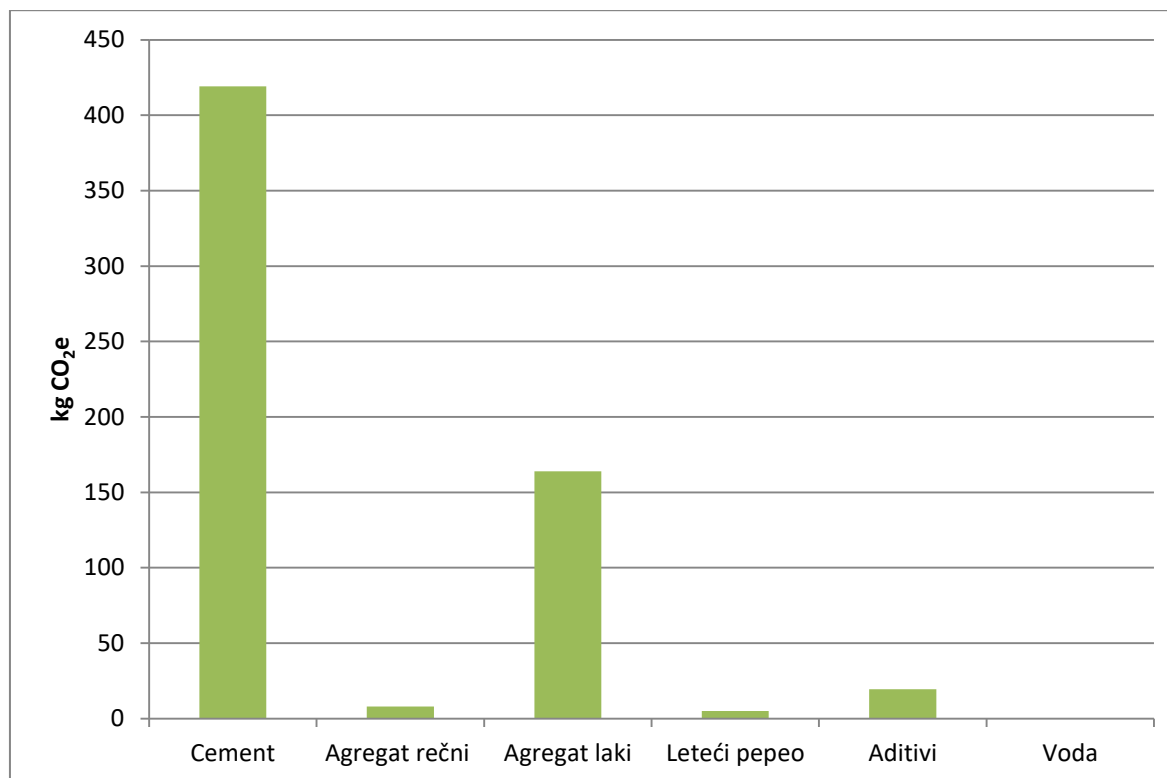
laki agregat : 546,6 kg · 0,300 kg CO₂e / kg = 163,98 kg CO₂e

leteći pepeo : 189,12 kg · 0,027 kg CO₂e / kg = 5,11 kg CO₂e

hemijski aditivi : 9,71 kg · 2,0 kg CO₂e / kg = 19,42 kg CO₂e

voda : 206,77 kg · 0,0004 kg CO₂e / kg = 0,0827 kg CO₂e

Rezultati su prikazani na stubičnom dijagramu (Slika V-6)



Slika V-6. Globalni potencijal zagrevanja betona po komponentnim materijalima

5. Isprojektovati betonsku mešavinu 1 m³ mikroarmiranog betona klase C25/30 za izradu ferobetona (industrijski pod), ako su zadani sledeći elementi:

- agregat: rečni frakcije 0/4;
rečni agregat 4/8, 8/16 ,
- zastupljenost agregata usvojiti SRPS EN 206 - refentna kriva „A“
- sa izmerenim vlažnostima agregata : $H_{(0-4)} = 3,7 \%$; $H_{(4-8)} = 1,8 \%$; $H_{(8-16)} = 1,2 \%$
- sa zapreminskom masom zrna agregata :
- rečni: $\gamma_{sa1} = 2620 \text{ kg/m}^3$
- konzistencija svežeg betona: plastična
- cement klase čvrstoće 42,5 N
- specifična masa cementa:
 $\gamma_{sc} = 3100 \text{ kg/m}^3$
- poroznost svežeg betona:
 $V_p = 2,5 \%$
- aditivi:
- platifikator u količini 0,7 % u odnosu na masu cementa ;
- $\gamma_{s,pl} = 1070 \text{ kg/m}^3$

Predvideti čeličnu mikroarmaturu u količini 0,5% V/V (zapreminska zastupljenost mikroarmature u jediničnoj zapremini svežeg betona).

$\gamma_{sf}=7850 \text{ kg/m}^3$ – specifična masa čeličnih vlakana

Takođe predvideti kontrolu „in situ” provere: da li došlo do ravnomerne raspodele mikroarmature (da bi se isključila opasnost od stvaranja „gnezda” u betonu.

Rešenje zadatka:

Zapremina betona za 1 m^3 svežeg, ugrađenog betona se sastoji od:

$$V_{b,sv} = V_a + V_c + V_v + V_d + V_f + V_p = 1 \text{ m}^3$$

gde:

$V_{b,sv}$ - zapremina svežeg, ugrađenog betona

V_a - zapremina agregata

V_c - zapremina veziva (cement)

V_v - zapremina vode

V_d - zapremina dodataka (aditiva)

V_{sf} - zapremina čeličnih vlakana

V_p - zapremina pora (uvučeni vazduh)

- količina mikoarmature – čeličnih vlakana:

Kada se želi obezbediti veća duktilnost betonskoj konstrukciji, vrlo često se koriste čelična ili sintetička makrovlakna (Slika V-7).



Slika V-7. Čelična vlakna sa kukicama – jedna od najčešće korišćene mikroarmature

Kod mikroarmature je specifično, da se predviđena količina u betonu definiše zapreminskim učešćem u betonskoj mešavini. tako je zapravo zadata zapremina vlakana u svežem betonu:

$$V_{sf} = 0,5 \% = 0,005 \text{ m}^3$$

Pomoću zadate gustine čeličnih vlakana može se izračunati i količina koja će se dozirati na 1 m³ betona:

$$m_{sf} = \gamma_{ssf} V_{sf} = 7850 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,005 \text{ m}^3 = 39,25 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina vode:

Potrebna količina vode će se izračunati pomoću Fere-ove formule:

$$m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}}$$

Napomena: mikroarmirani beton, pogotovo sa čeličnim vlaknima ima značajno drugačiju konzistenciju zbog prisustva vlakana u betonu. Konzistencija svežeg mikroarmiranog betona se ne može kontrolisati standardnim metodama za beton (rasprostiranje, sleganje, itd...). Potrebno je predvideti malo veću količinu vode i dodatnog cementa zbog adekvatnog izmešanja ovog betona i ugradnje.

$$m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}} = \frac{370}{\sqrt[5]{16}} = 212,5 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina cementa:

Napomena: čelična vlakna ne povećavaju čvrstoću betona pri pritisku, samo njegovu čvrstoću pri zatezanju/savijanju. Ponekad čak moguće je i da se smanji čvrstoća betona zbog čeličnih vlakana, ali ne mnogo (5-10%). Cement se određuje u zavisnosti od tražene klase čvrstoće betona. Za traženu klasu čvrstoće betona C25/30, usvajamo projektovanu 28-dnevnu čvrstoću pri pritisku:

$$f_c = 30 \text{ MPa} + 8 \text{ MPa} = 38 \text{ MPa}$$

Za traženu 28-dnevnu čvrstoću i klasu cementa 42,5 N, na osnovu Slike IV-1. može se očitati potreban vodocementni faktor:

$$m_v/m_c = 0,55$$

i na osnovu nje, potrebna količina cementa je:

$$m_c = m_v/0,55 = 212,5/0,55$$

$$m_c = 386,4 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina aditiva:

Plastifikator:

$$m_{d2} = 0,7/100 \cdot m_c = 0,007 \cdot 386,4 \text{ kg/1 m}^3 = 2,70 \text{ kg/1 m}^3$$

- količina agregata:

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - (V_c + V_v + V_{d1} + V_{sf} + V_p)$$

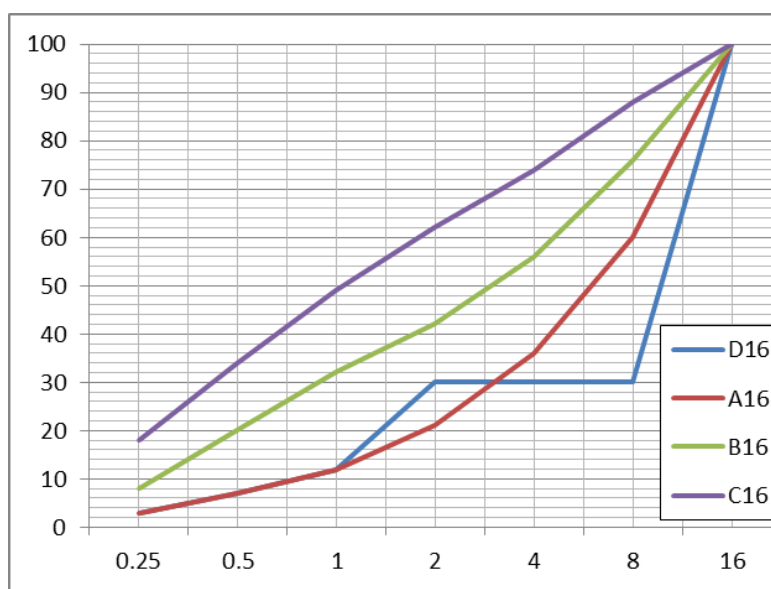
$$V_a = 1 \text{ m}^3 - \left(\frac{m_c}{\gamma_c} + \frac{m_v}{\gamma_v} + \frac{m_{d1}}{\gamma_{d1}} + \frac{m_{sf}}{\gamma_{ssf}} + V_p \right)$$

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - \left(\frac{386,4}{3100} + \frac{212,5}{1000} + \frac{39,25}{7850} + \frac{2,70}{1070} + \frac{2,5}{100} \right)$$

$$V_a = 1 \text{ m}^3 - (0,125 + 0,2125 + 0,005 + 0,0025 + 0,025)$$

$$V_a = 0,630 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

Granulometrijski sastav agregata po frakcijama se usvaja prema standardu SRPS EN 206 - referentna kriva „A“:



Slika V-8. Referentne granulometrijske krive prema standardu SRPS EN 206 za $D_{max}=16 \text{ mm}$

Za zadate glavne frakcije sastav agregata na osnovu gornje krive bi trebalo da se sastoji od:

$$\Delta y_{0/4} = y_4 - y_0 = 35,63\% - 0 = 36,00\%$$

$$\Delta y_{4/8} = y_8 - y_4 = 50,39 \% - 35,63\% = 24,00 \%$$

$$\Delta y_{8/16} = y_{16} - y_8 = 71,26 \% - 50,39 \% = 40,00 \%$$

Zapreminski sastav agregata biće:

$$V_{0/4} = 36/100 \cdot 0,63 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,227 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

$$V_{4/8} = 24/100 \cdot 0,63 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,151 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

$$V_{16/31,5} = 40/100 \cdot 0,63 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3 = 0,252 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

Izračunato po masama agregata:

$$m_{0/4} = V_{0/4} \cdot \gamma_{a1} = 0,227 \text{ m}^3 \cdot 2620 \text{ kg/m}^3 = 594,74 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{4/8} = V_{4/8} \cdot \gamma_{a1} = 0,151 \text{ m}^3 \cdot 2620 \text{ kg/m}^3 = 395,62 \text{ kg/1 m}^3$$

$$m_{8/16} = V_{0/4} \cdot \gamma_{a1} = 0,252 \text{ m}^3 \cdot 2620 \text{ kg/m}^3 = 660,24 \text{ kg/1 m}^3$$

$$\text{ukupna masa agregata: } 1650,6 \text{ kg/m}^3$$

Korekcija agregata zbog vlažnosti:

$$m^{*(0/4)} = \frac{m_{(0/4)}}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = 594,74 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{3,7}{100}\right)} = 617,59 \text{ kg/m}^3$$

$$m^{*(4/8)} = \frac{m_{(4/8)}}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = 395,62 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{1,8}{100}\right)} = 402,87 \text{ kg/m}^3$$

$$m^{*(8/16)} = \frac{m_{(8/16)}}{\left(1 - \frac{H_a}{100}\right)} = 660,24 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{1,2}{100}\right)} = \underline{\underline{668,26 \text{ kg/m}^3}}$$

$$\text{korigovana ukupna masa agregata: } 1688,72 \text{ kg/m}^3$$

Količina vode koja će se još dozirati:

$$\begin{aligned} m_v^* &= m_v - (m_{0/4}^* - m_{0/4}) - (m_{4/8}^* - m_{4/8}) - (m_{16/31,5}^* - m_{16/31,5}) = \\ &= 212,5 \text{ kg/m}^3 - (1688,72 - 1650,6) = 174,38 \text{ kg/1 m}^3 \end{aligned}$$

Zapreminska masa 1 m³ betonske mešavine u svežem, ugrađenom stanju je:

$$\begin{aligned} m_c + m_v + m_{0/4} + m_{4/8} + m_{16/31,5} + m_{dl} + m_{sf} &= 386,4 \text{ kg/1 m}^3 + 212,5 \text{ kg/1 m}^3 + \\ &+ 594,74 \text{ kg/1 m}^3 + 395,62 \text{ kg/1 m}^3 + 660,24 \text{ kg/1 m}^3 + 2,7 \text{ kg/1 m}^3 + 39,25 \text{ kg/1 m}^3 = 2291,46 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- „in situ” kontrola svežeg mikroarmiranog betona:

Proveru, da li došlo do ravnomerne raspodele mikroarmature tokom mešanja, obavezno uraditi barem prvog dana, kod prve isporuke mikroarmiranog betona. Kako bi se isključila opasnost od stvaranja „gnezda” u betonu potrebno je:

- 1) uzeti uzorak svežeg betona određene zapremine (2 l) ili tačno izmerene mase (za otprilike istu količinu, samo tačno izmerimu masu uzorka svežeg betona.

za 2l svežeg, ugrađenog betona, njegova masa je:

$$M_{sv} = 2 \cdot 2,292 \text{ kg} = 4,584 \text{ kg} .$$

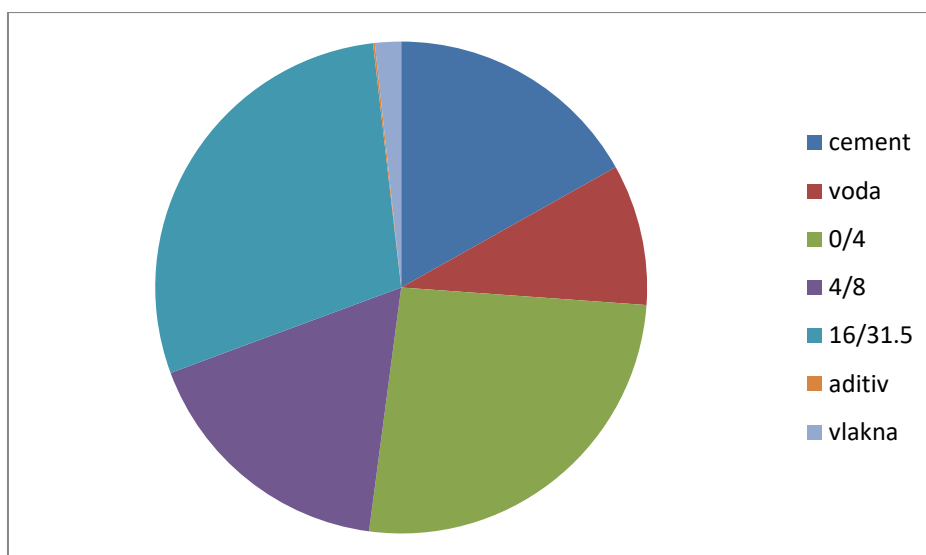
- 2) izmereni uzorak svežeg mikroarmiranog betona stavimo u veću posudu (barem 15-20l kapaciteta) i dodamo još barem 10 l vode.
- 3) dobro izmešamo, da se beton razredi i sa jakim neodijumskim magnetom izvadimo čelična vlakna. Naizmenično mešamo beton u vodi i vadimo magnetom čelična vlakna, sve dok ih ima.
- 4) Za ovu mešavinu mora biti ispunjen uslov:

$$39,25 \text{ kg} / 2291,46 \text{ kg} = \underline{17 \pm 1,7 \text{ g}} \text{ čeličnih vlakana po 1 kg svežeg betona ili}$$

$$\underline{39,25 \pm 4 \text{ g}} \text{ čeličnih vlakana po 1 l svežeg betona}$$

Ukoliko se dobije količina van ovih intervala mikroarmirani beton se **ne sme** ugraditi, jer imamo grupisanje vlakana ili gnezda vlakana u svežem betonu.

Naosnovu izračunatih količina možemo napraviti kružni dijagram komponeneta betona:



Slika V-9. Sastav usvojene recepture betona

6. U dole prikazanoj tabeli (Tabela V-5) navedeni su rezultati ispitivanja čvrstoće pri pritisku 24 kontrolna betonska uzorka (kocke standardnih dimenzija 15x15x15cm). Na osnovu izmerenih sila loma pri starosti od 28 dana, potrebno je izračunati pojedinačne čvrstoće uzoraka pri pritisku. Nakon toga potrebno je obraditi rezultate ispitivanja i oceniti klasu čvrstoće prema standardima SRPS EN 206 i SRPS U.M1.206. Radi se o kontinuiranoj proizvodnji betona. Za prethodni period, standardna devijacija rezultata fabrike betona, za istu klasu betona je $\sigma = 3,02$ MPa.

R.b.	F [kN]
1.	937
2.	954
3.	901
4.	1047
5.	981
6.	922
7.	1025
8.	945

R.b.	F [kN]
9.	984
10.	967
11.	912
12.	974
13.	1008
14.	1034
15.	988
16.	967

R.b.	F [kN]
17.	920
18.	1037
19.	981
20.	967
21.	977
22.	908
23.	1025
24.	1011

Tabela V- 5. Rezultati ispitivanja čvrstoće pri pritisku kontrolnih uzoraka betona

Rešenje zadatka:

Prvo je potrebno izračunati čvrstoće pri pritisku:

$$f_{c1} = 937 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 4,164 \text{ kN/cm}^2 = 41,64 \text{ MPa}$$

$$f_{c2} = 954 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 42,40 \text{ MPa}$$

$$f_{c3} = 901 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 40,04 \text{ MPa}$$

$$f_{c4} = 1047 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 46,53 \text{ MPa}$$

$$f_{c5} = 981 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 43,60 \text{ MPa}$$

$$f_{c6} = 922 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 40,98 \text{ MPa}$$

$$f_{c7} = 1025 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 45,56 \text{ MPa}$$

$$f_{c8} = 945 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 42,00 \text{ MPa}$$

$$f_{c9} = 984 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 43,73 \text{ MPa}$$

$$f_{c10} = 967 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 42,98 \text{ MPa}$$

$$f_{c11} = 912 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 40,53 \text{ MPa}$$

$$f_{c12} = 974 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 43,29 \text{ MPa}$$

$$f_{c13} = 1008 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 44,80 \text{ MPa}$$

$$f_{c14} = 1034 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 45,96 \text{ MPa}$$

$$f_{c15} = 988 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 43,91 \text{ MPa}$$

$$f_{c16} = 967 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 42,98 \text{ MPa}$$

$$f_{c17} = 920 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 40,89 \text{ MPa}$$

$$f_{c18} = 1037 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 46,09 \text{ MPa}$$

$$f_{c19} = 981 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 43,60 \text{ MPa}$$

$$f_{c20} = 967 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 42,98 \text{ MPa}$$

$$f_{c21} = 977 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 43,42 \text{ MPa}$$

$$f_{c22} = 908 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 40,36 \text{ MPa}$$

$$f_{c23} = 1025 \text{ kN} / 15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 45,56 \text{ MPa}$$

$$f_{c24} = 1011 \text{ kN}/15 \cdot 15 \text{ cm}^2 = 44,93 \text{ MPa}$$

Prosečna čvrstoća pri pritisku uzoraka je:

$$f_{cm} = (41,64 + 42,4 + 40,04 + 46,53 + 43,6 + 40,98 + 45,56 + 42,00 + 43,73 + 42,98 + 40,53 + 43,29 + 44,80 + 45,96 + 43,91 + 42,98 + 40,89 + 46,09 + 43,6 + 42,98 + 43,42 + 40,36 + 45,56 + 44,93) / 24 = 43,28 \text{ MPa}$$

A najmanja čvrstoća pri pritisku je:

$$f_{ci} = 40,04 \text{ MPa}$$

Prema SRPS EN 206, standardu za beton, za kontinuiranu proizvodnju (postoji standardna devijacija rezultata ispitivanja čvrstoće betona pri pritisku, za prethodni period) kriterijumi za određivanje karakteristične čvrstoće pri pritisku su:

$$f_{ck} \leq f_{cm} - 1,48 \sigma$$

$$f_{ck} \leq f_{ci} + 4$$

Kada uvrstimo rezultate ispitivanja i σ za prethodni period, dobijese:

$$f_{ck} \leq f_{cm} - 1,48 \sigma = 43,28 \text{ MPa} - 1,48 \cdot 3,02 \text{ MPa} = 38,81 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} \leq f_{ci} + 4 = 40,04 \text{ MPa} + 4 = 44,04 \text{ MPa}$$

Najviša klasa koja zadovoljava oba uslova je C30/37:

$$f_{ck} = 38,81 \text{ MPa} \geq 37 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 44,04 \text{ MPa} \geq 37 \text{ MPa}$$

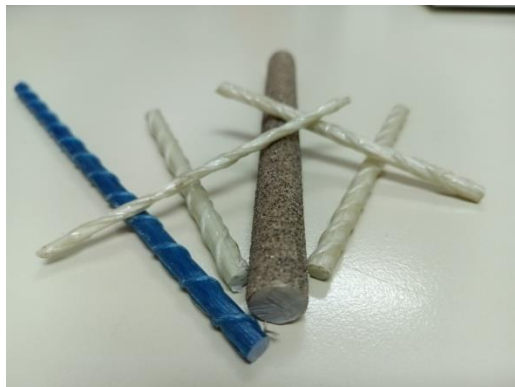
dakle klasa čvrstoće ovog betona je C30/37

VI. M E T A L I I N E M E T A L N A A R M A T U R A



VI. METALI I NEMETALNA ARMATURA

1. Na priloženoj skici (Slika VI-1) je prikazan uzorak nemetalne armature, tkzv.kompozitne armature. Predmetna kompozitna armatura se sastoji od S-staklenim vlaknima ojačanog polimera. Uzorci kompozitne armature su ispitani putem zatezanja sve do kidanja u 3 temperaturna režima na 20°C, na 200°C i na 400°C.



Slika VI-1. Kompozitna armatura

Rezultati ispitivanja su data u narednim tabelama (Tabela VI-1., Tabela VI-2. i Tabela VI-3.)

R.b.	20 stepeni	
	δ [10^{-3} mm]	Z [kN]
1	0.00	0.00
2	0.05	2.26
3	0.06	4.52
4	0.08	5.65
5	0.10	6.79
6	0.14	9.05
7	0.19	11.31
8	0.20	12.44
9	0.30	16.96
10	0.42	22.62
11	0.54	28.27
12	0.67	33.93
13	0.81	39.58
14	0.94	45.24
15	1.08	50.89
16	1.21	56.55
17	1.36	62.20
18	1.49	67.85
19	1.63	73.51
20	1.78	79.16
21	1.91	84.82
22	2.06	90.47
23	2.24	97.26
24	2.28	90.47
25	2.29	22.62

Tabela VI-1. Rezultati ispitivanja kompozitne armature pri temperaturi sredine od 20 °C

R.b.	200 stepeni	
	δ [10^{-3} mm]	Z [kN]
1	0.00	0.00
2	0.07	2.26
3	0.13	4.52
4	0.17	5.65
5	0.20	6.79
6	0.27	9.05
7	0.34	11.31
8	0.37	12.44
9	0.52	16.96
10	0.69	22.62
11	0.84	28.27
12	1.02	33.93
13	1.21	39.58
14	1.44	45.24
15	1.64	50.89
16	1.87	56.55
17	2.06	62.20
18	2.25	67.85
19	2.44	73.51
20	2.63	79.16
21	2.76	80.86
22	2.83	62.20
23	2.87	21.49

Tabela VI -2. Rezultati ispitivanja kompozitne armature pri temperaturi sredine od 200 °C

R.b.	400 stepeni	
	δ [10^{-3} mm]	Z [kN]
1	0	0.00
2	0.115	5.65
3	0.235	12.44
4	0.26	8.48
5	0.27	5.32
6	0.31	4.52
7	0.375	3.73
8	0.405	3.73
9	0.485	2.83

Tabela VI -3. Rezultati ispitivanja kompozitne armature pri temperaturi sredine od 400 °C

Tokom ispitivanja je merena sila zatezanja Z , koja izražena u kN. Pored sile merena je i promena na mernoj bazi $L_0=50$ mm, koja se nalazila na sredini uzorka tokom ispitivanja. Prikazani rezultati promene (izduženja) merne baze su dati 10^{-3} mm.

- Potrebno je odrediti prečnik šipke kompozitne armature
- Potrebno je odrediti veličinu izduženja ϵ i odgovarajuće napone σ , za sve temperature
- Koja je bila čvrstoća zatezanja pri ispitivanju (u sva 3 slučaja),
- Nacrtati dijagrame $\sigma - \epsilon$
- Kako se ponaša kompozitna armatura na povišenim temperaturama?

Zadato je još:

$m_1 = 37321$ mg – masa uzorka kompozitne armature, dužine $l = 150$ mm, na vazduhu

$m_2 = 20357$ mg – masa uzorka kompozitne armature, dužine $l = 150$ mm, uronjeno u vodu

$\rho = 1,0$ mg/mm³ - gustina materijala u koje se kompozitna armatura uranja (vode)

Rešenje zadatka:

a) Kod kompozitne armature prvo treba da se utvrdi nazivni prečnik armature. Za to je potrebno izmeriti masu uzorka kompozitne armaturene šipke u vodi i na vazduhu. Nakon što su ti podaci poznati nazivni prečnik d se može izračunati pomoću izraza:

$$d = \sqrt{\frac{4(m_1 - m_2)}{\pi \rho l}} = \sqrt{\frac{4(37321 - 20357)}{3,1415 \cdot 1 \cdot 150}} = 12 \text{ mm}$$

Za prečnik šipke od 12 mm, površina poprečnog preseka je:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 113,09 \text{ mm}^2$$

b) Veličinu izduženja ϵ se može izračunati:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Npr. za poslednju izmerenu vrednost na 20 °C :

$$\epsilon = \frac{2,29 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,0000458$$

za iste uslove odgovarajući napon se može izračunati:

$$\sigma = \frac{22620 \text{ N}}{113,09} = 200,0 \text{ N/mm}^2$$

c) $f_{z20} = 860 \text{ MPa}$

$f_{z200} = 715 \text{ MPa}$

$f_{z400} = 110 \text{ MPa}$

R.b.	20 stepeni	
	ε [‰]	σ [MPa]
1	0	0
2	1	20
3	1.25	40
4	1.55	50
5	1.9	60
6	2.8	80
7	3.75	100
8	4	110
9	5.9	150
10	8.3	200
11	10.85	250
12	13.4	300
13	16.15	350
14	18.8	400
15	21.6	450
16	24.2	500
17	27.1	550
18	29.85	600
19	32.6	650
20	35.5	700
21	38.15	750
22	41.15	800
23	44.8	860
24	45.5	800
25	45.8	200

Tabela VI-4. Relativna izduženja ε i odgovarajući naponi σ pri ispitivanju na temperaturi 20 °C

VI. METALI I NEMETALNA ARMATURA

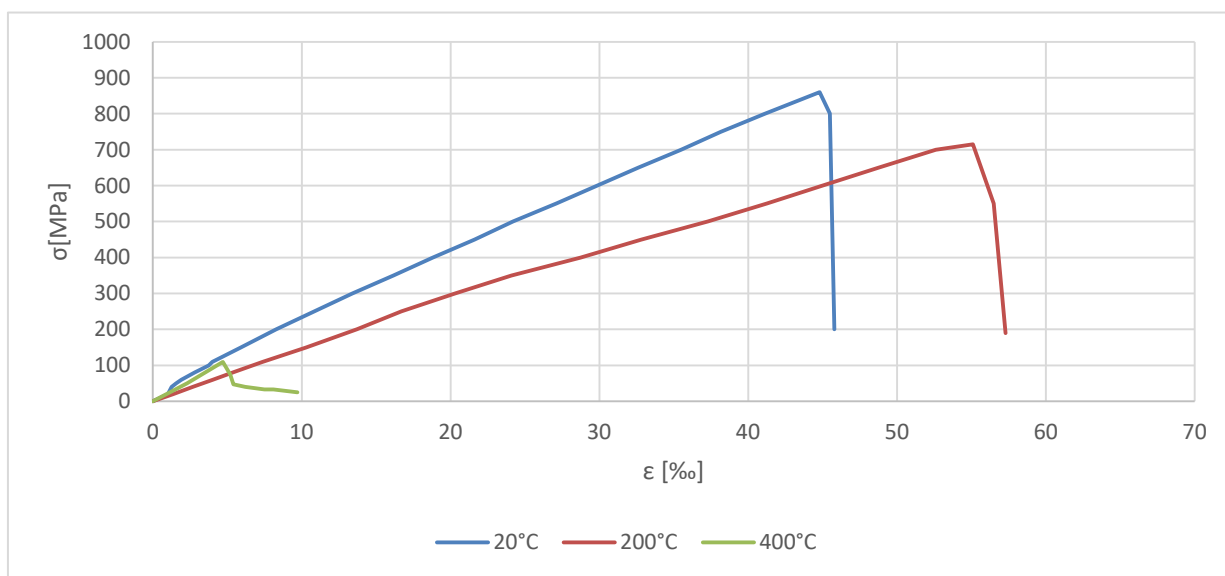
R.b.	200 stepeni	
	ϵ [‰]	σ [MPa]
1	0	0
2	1.34	20
3	2.68	40
4	3.35	50
5	4.02	60
6	5.36	80
7	6.7	100
8	7.37	110
9	10.3	150
10	13.7	200
11	16.7	250
12	20.3	300
13	24.1	350
14	28.75	400
15	32.8	450
16	37.3	500
17	41.25	550
18	45	600
19	48.75	650
20	52.6	700
21	55.1	715
22	56.5	550
23	57.3	190

Tabela VI-5. Relativna izduženja ϵ i odgovarajući naponi σ pri ispitivanju na temperaturi 200 °C

R.b.	400 stepeni	
	ϵ [‰]	σ [MPa]
1	0	0
2	2.3	50
3	4.7	110
4	5.2	75
5	5.4	47
6	6.2	40
7	7.5	33
8	8.1	33
9	9.7	25

Tabela VI-6. Relativna izduženja ϵ i odgovarajući naponi σ pri ispitivanju na temperaturi 400 °C

d) Radni dijagrami kompozitne armature pri različitim temperaturama ispitivanja su prikazani na Slici VI-2



Slika VI-2. σ - ε dijagrami kompozitne armature pri različitim temperaturama

e) Na osnovu radnih dijagrama može se zaključiti da kompozitna armatura nije postojana na visokim temperaturama. Iako ima brojne prednosti u pogledu trajnosti, već na 200 °C počinju da opada njegova čvrstoća, a na 400 °C je ona praktično više neupotrebljiva u konstruktivnom smislu, pa je njena primena i visokogradnji ograničena.

2. U datoj tabeli (Tabela VI-7) prikazani su rezultati ispitivanja čelične epruvete Ø20mm. Baza merenja iznosi $l_0=2,5\text{cm}$.

Potrebno je:

- nacrtati radni (R-e) dijagram čelika na osnovu priloženih vrednosti
- izračunati modul elastičnosti materijala na delu radnog dijagrama gde važi praktično linearna zavisnost između napona i deformacija
- izračunati suženi prečnik epruvete (pri kidanju) ukoliko kontrakcija poprečnog preseka iznosi 48%

	P (kN)	Δl (10^{-2} mm)
1.	16.2	0.62
2.	32.4	1.24
3.	48.6	1.86
4.	64.8	2.48
5.	68.4	2.72
6.	72.0	3.26
7.	76.4	5.08
8.	79.2	7.86
9.	88.5	15.9
10.	110.4	25.6
11.	115.7	39.6
12.	112.0	44.8

Tabela VI -7. Podaci o ispitivanju čelika

Rešenje zadatka:

Za prečnik šipke od 20 mm, površina poprečnog preseka je:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 314,15 \text{ mm}^2$$

b) Veličina deformacije e se može izračunati:

$$e = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta l}{25}$$

odgovarajući napon se može izračunati pomoću izraza :

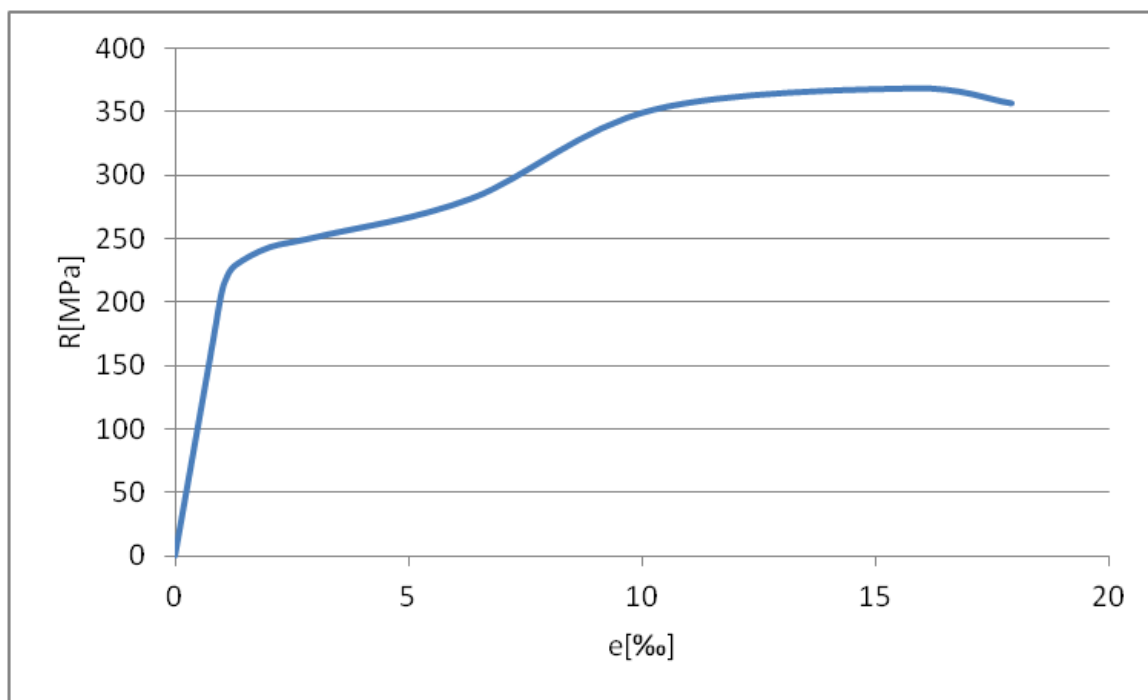
$$R = \frac{P}{A} = \frac{P}{314,15}$$

Rezultati ispitivanja su prikazani tabelarno ispod:

R[MPa]	ϵ ‰
51.57	0.25
103.15	0.50
154.72	0.74
206.29	0.99
217.75	1.09
229.21	1.30
243.22	2.03
252.13	3.14
281.74	6.36
351.46	10.24
368.33	15.84
356.55	17.92

Tabela VI-8. Rezultati ispitivanja čelika

Na osnovu koje se može konstruisati radni dijagram čelika:



Slika VI-3. Radni dijagram čelika

Na osnovu radnog dijagrama se može videti da sve do tačke 4 je linearna zavisnost između napona i dilatacija, pa se na osnovu toga može izračunati:

$$E = \frac{Re}{e} = \frac{206,29 \text{ MPa}}{0,00099} = 208373,7 \text{ MPa} = 208,4 \text{ GPa}$$

c) Koeficijent kontrakcije poprečnog preseka iznosi 48%:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0}$$

$$48/100 = \frac{314,15 - S_u}{314,15}$$

$$S_u = 163,34 \text{ mm}^2$$

suženi poluprečnik na mestu prekida je:

$$r_u = \sqrt{\frac{163,34}{3,1415}} = 7,21 \text{ mm}$$

suženi prečnik na mestu kontrakcije je:

$$d_u = 2 \cdot 7,21 = 14,42 \text{ mm}^2$$

3. U priloženoj tabeli - Tabela VI-5 prikazani su rezultati ispitivanja obrađene čelične epruvete od šupljeg profila nelegiranog konstrukcionog čelika kvaliteta S460NH. Na obrađenom delu epruvete površina poprečnog preseka je $S_0 = 8 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} = 80 \text{ mm}^2$, a baza merenja L_0 odgovara standardnoj dužini (zaokruženo na mm).

A u Tabeli VI-6 su dati rezultati ispitivanja obrađene čelične epruvete od šupljeg profila hladnooblikovanog konstrukcionog čelika kvaliteta S700MC. Na obrađenom delu epruvete površina poprečnog preseka je $S_0 = 4 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} = 40 \text{ mm}^2$, a dužina baze merenja $L_0 = 50 \text{ mm}$.

Potrebno je:

- nacrtati radni (R-e) dijagram čelika na osnovu priloženih vrednosti
- izračunati modul elastičnosti materijala na delu radnog dijagrama, gde važi praktično linearna zavisnost između napona i deformacija
- odrediti napon tečenja (R_e ili R_p), čvrstoću pri zatezanju R_m , napon pri lomu f_t
- plastično izduženje pri maksimalnom naponu, ukupno izduženje pri maksimalnom naponu
- procentualno izduženje pri lomu, procentualno ukupno izduženje nakon loma

VI. METALI I NEMETALNA ARMATURA

P (kN)	Δl (mm)
0	0
16	0.047
28.8	0.085
41.6	0.125
40.64	0.1275
39.76	0.15
39.76	0.615
39.44	0.625
41.6	0.64
48	1.25
51.6	1.875
54	2.5
55.52	3.33
56.64	4.1665
56.8	6.25
56.64	7.5
56	8.125
52	9.1665
46.4	9.85

Tabela VI -9. Rezultati ispitivanja čelika kvaliteta S460NH

P (kN)	Δl (mm)
0	0
8	0.05
16	0.1
24	0.15
32	0.3
33.2	0.425
33.8	0.6
34.4	1.75
34.8	2.5
34.92	3.75
35	5
34.4	6.25
32.8	7.5
30.8	8.75
28.08	10
24	11

Tabela VI -10. Rezultati ispitivanja čelika kvaliteta S700MC

Rešenje zadatka:

Čelik kvaliteta S460NH

a) Za obrađene čelične epruvete od šupljeg profila nelegiranog konstrukcionog čelika, a baza merenja L_0 je:

$$L_0 = k \cdot \sqrt{S_0}$$

u opštem slučaju vrednost k je:

$$k = 5,65$$

pa dužina baze merenja u ovom slučaju:

$$L_0 = k \cdot \sqrt{S_0} = 5,65 \sqrt{80 \text{ mm}^2} = 50,53 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Veličina deformacije (izduženja) e se može izračunati:

$$e = \frac{\Delta l}{L_0} = \frac{\Delta l}{50}$$

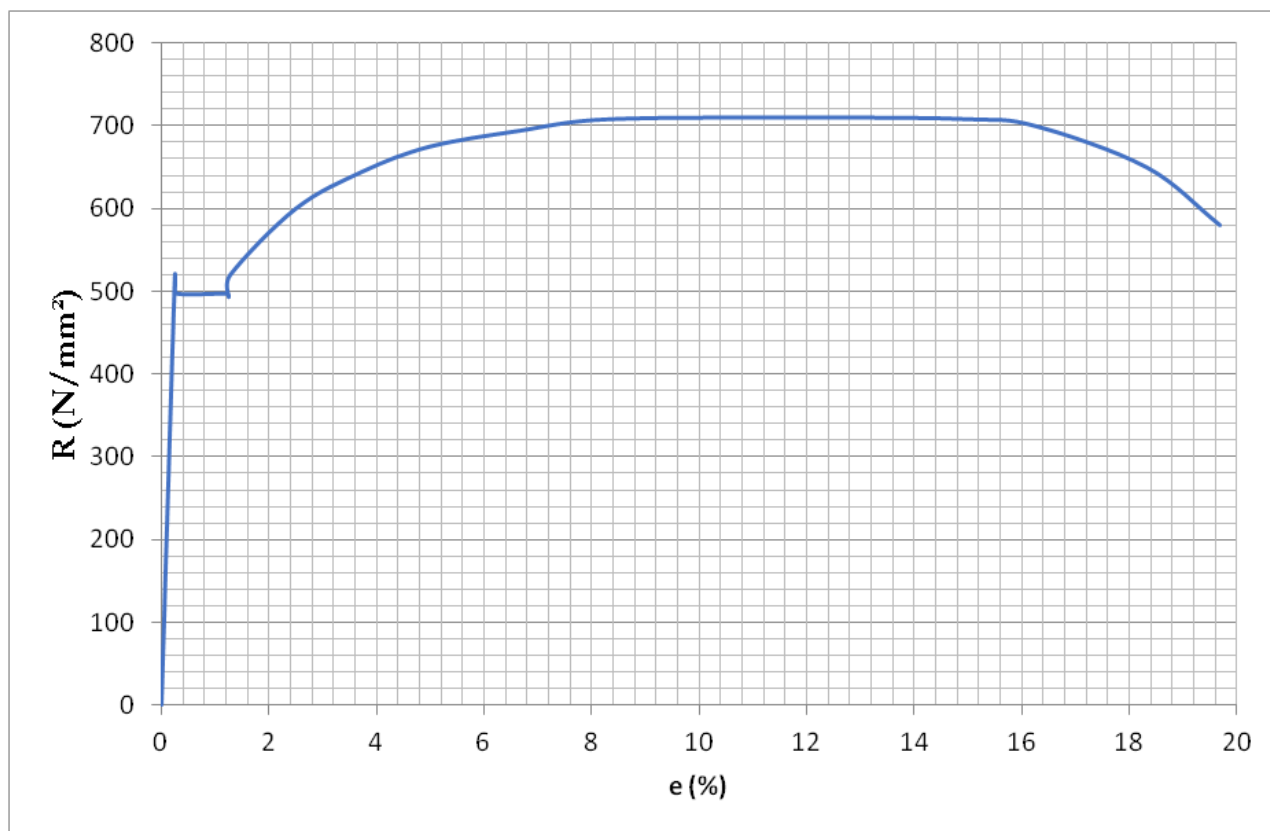
odgovarajući naponi se mogu izračunati pomoću izraza :

$$R = \frac{P}{S_0} = \frac{P}{80 \text{ mm}^2}$$

Rezultati ispitivanja su prikazani tabelarno ispod:

ϵ (%)	R (N/mm ²)
0	0
0.094	200
0.17	360
0.25	520
0.255	508
0.3	497
1.23	497
1.25	493
1.28	520
2.5	600
3.75	645
5	675
6.66	694
8.333	708
12.5	710
15	708
16.25	700
18.333	650
19.7	580

Tabela VI-11. Rezultati ispitivanja predmetnog čelika S460NH



Slika VI-4. Radni dijagram čelika kvaliteta S460NH

b) Na osnovu radnog dijagrama se može videti da sve do tačke 4 je linearna zavisnost između napona i dilatacija, pa se na osnovu toga može izračunati:

$$E = \frac{Re}{e} = \frac{520 \text{ MPa}}{0,0025} = 208000,0 \text{ MPa} = 208 \text{ GPa}$$

c) Napon tečenja ili gornji napon tečenja (R_e) kod ovog čelika, kvaliteta S460NH je izražen i može se izračunati:

$$R_e = \frac{P_e}{S_0} = \frac{41,6 \text{ kN}}{80 \text{ mm}^2} = 520 \text{ MPa}$$

čvrstoću pri zatezanju R_m je najveći napon na radnom dijagramu :

$$R_m = \frac{P_m}{S_0} = \frac{56,8 \text{ kN}}{80 \text{ mm}^2} = 710 \text{ MPa}$$

napon pri lomu f_f je napon pri samom kraju ispitivanja, kada dolazi prekida čelične epruvete:

$$f_f = \frac{P_f}{S_0} = \frac{46,4 \text{ kN}}{80 \text{ mm}^2} = 580 \text{ MPa}$$

d) ukupno izduženje pri maksimalnom naponu:

$$A_{gt} = \frac{6,25 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,125 = 12,5 \%$$

plastično izduženje pri maksimalnom naponu se može izračunati, ako od ukupnog izduženja pri maksimalnom naponu oduzme pripadajuće elastično izduženje pri maksimalnom naponu:

$$A_g = A_{gt} - \frac{R_m}{E} = 0,125 - \frac{710 \text{ MPa}}{208000 \text{ MPa}} = 0,125 - 0,0034 = 0,1216 = 12,16 \%$$

e) procentualno, ukupno izduženje pri lomu:

$$A_t = \frac{9,85 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,197 = 19,7 \%$$

procentualno ukupno izduženje nakon loma se može izračunati, ako od ukupnog izduženja pri lomu (kidanju) oduzme pripadajuće elastično izduženje pri lomu (kidanju):

$$A = A_t - \frac{P_f}{E} = 0,197 - \frac{580 \text{ MPa}}{208000 \text{ MPa}} = 0,197 - 0,0028 = 0,1942 = 19,42 \%$$

Čelik kvaliteta S700MC:

a) Veličina deformacije (izduženja) e se može izračunati:

$$e = \frac{\Delta l}{L_0} = \frac{\Delta l}{50}$$

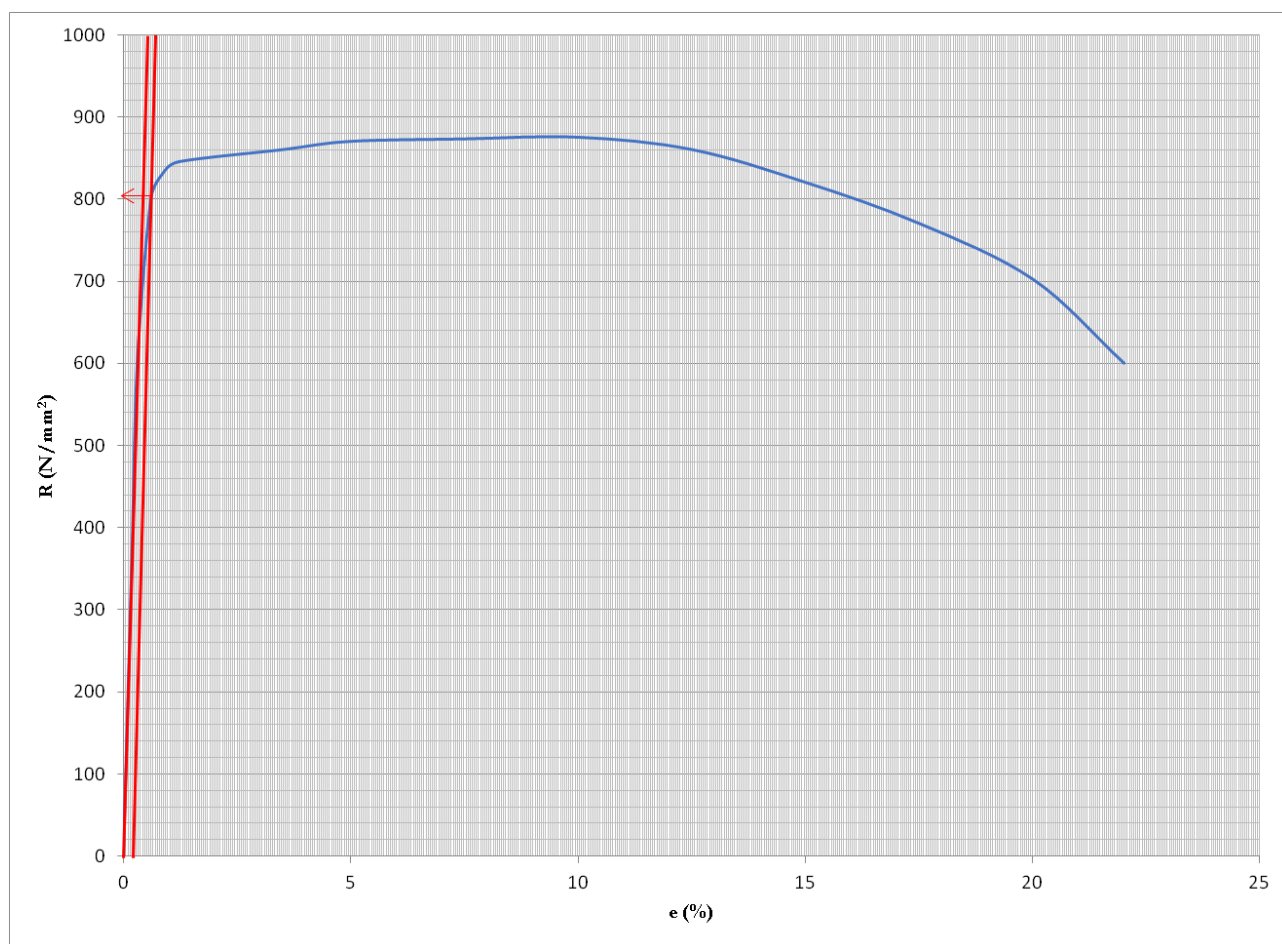
odgovarajući naponi se mogu izračunati pomoću izraza :

$$R = \frac{P}{S_0} = \frac{P}{40 \text{ mm}^2}$$

Rezultati ispitivanja su prikazani tabelarno ispod:

R.b.	e (%)	R (N/mm ²)
1	0	0
2	0.10	200
3	0.20	400
4	0.30	600
5	0.60	800
6	0.85	830
7	1.20	845
8	3.50	860
9	5.00	870
10	7.50	873
11	10.00	875
12	12.50	860
13	15.00	820
14	17.50	770
15	20.00	702
16	22.00	600

Tabela VI-12. Rezultati ispitivanja predmetnog čelika S700MC



Slika VI-5. Radni dijagram čelika kvaliteta S700MC

b) Na osnovu radnog dijagrama (Slika VI-5) i rezultata u Tabeli VI-7 se može videti da sve do tačke 4 je linearna zavisnost između napona i dilatacija, pa se na osnovu toga može izračunati:

$$E = \frac{Re}{e} = \frac{600 \text{ MPa}}{0,003} = 200000,0 \text{ MPa} = 200 \text{ GPa}$$

c) Napon tečenja ili gornji napon tečenja (R_{σ}) kod ovog čelika, kvaliteta S700MC nije izražen i ne može se utvrditi jednostavnim očitavanjem sa radnog dijagrama pošto nema lokalnog maksimuma. Kod tipova čelika, kada napon tečenja nije moguće odrediti na bazi dijagrama, određuje se tkzv.konvencionalni napon tečenja R_p , koji se definiše pomoću plastične deformacije, najčešće pri 0,2% zaostale deformacije čelika.

Utvrđivanje konvencionalnog napona tečenja je prikazano na Slici VI-5:

- Prvo se povuče nagib na početni deo radnog dijagrama.
- Konstruiše se paralelna linija sa početnim nagibom, kroz tačku $(R; e) = (0; 0,2\%)$.
- Tačka, gde ova linija preseca radni dijagram predmetnog čelika, utvrđuje intenzitet konvencionalnog napona tečenja R_p

U ovom slučaju sa dijagrama je očitana vrednost:

$$R_p = 805 \text{ MPa}$$

čvrstoću pri zatezanju R_m je najveći napon na radnom dijagramu :

$$R_m = \frac{P_m}{S_0} = \frac{35 \text{ kN}}{40 \text{ mm}^2} = 875 \text{ MPa}$$

napon pri lomu f_f je napon pri samom kraju ispitivanja, kada dolazi prekida čelične epruvete:

$$f_f = \frac{P_f}{S_0} = \frac{24 \text{ kN}}{40 \text{ mm}^2} = 600 \text{ MPa}$$

d) ukupno izduženje pri maksimalnom naponu:

$$A_{gt} = \frac{5,00 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,10 = 10,0 \%$$

plastično izduženje pri maksimalnom naponu se može izračunati, ako od ukupnog izduženja pri maksimalnom naponu oduzme pripadajuće elastično izduženje pri maksimalnom naponu:

$$A_g = A_{gt} - \frac{R_m}{E} = 0,100 - \frac{875 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,100 - 0,0044 = 0,0956 = 9,56 \%$$

e) procentualno, ukupno izduženje pri lomu:

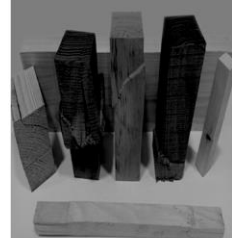
$$A_t = \frac{11,00 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,22 = 22,0 \%$$

procentualno ukupno izduženje nakon loma se može izračunati, ako od ukupnog izduženja pri lomu (kidanju) oduzme pripadajuće elastično izduženje pri lomu (kidanju):

$$A = A_t - \frac{P_f}{E} = 0,220 - \frac{600 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0,220 - 0,003 = 0,217 = 21,7 \%$$

VII.

D
R
V
O



VII. DRVO

1. U datoj tabeli (Tabela VII-1) su prikazani rezultati ispitivanja pri jednoaksijalnom pritisku, prizmatičnog uzorka od tvrdog drveta dimenzije poprečnog preseka 40mm x 40 mm, visine 240 mm – u pravcu vlakana:

R.b.	P_{II} [N]	Δl [10^{-2} mm]
1.	0	0
2.	7200	1.5
3.	16800	3.5
4.	24000	5
5.	32000	6.75
6.	40000	8.6
7.	48000	10.75
8.	57120	13.5
9.	57120	15.5
10.	52000	20
11.	43200	25
12.	38880	30
13.	36800	35
14.	35200	40

Tabela VII-1. Rezultati ispitivanja uzorka drveta pri jednoaksijalnom pritisku

Veličine Δl označavaju promenu dužine merne baze $l_0 = 50$ mm, na srednjem delu uzorka, gde je poprečni presek pravougaonog oblika i istih dimenzija kao po celoj visini. P_{II} – je sila aplicirana na gornjoj i donjoj površini uzorka drveta. Apsolutna vlažnost uzoraka je $H=14\%$.

- izračunati napone i odgovarajuće dilatacije na osnovu zadatih rezultata izmerenih sila i izduženja. Napone izraziti u MPa, a dilatacije u %.
- na osnovu datih rezultata ispitivanja nacrtati radni dijagram u odgovarajućoj razmeri i definisati područja linearnog i nelinearnog ponašanja ispitivanog drveta
- Izračunati vrednost modula elastičnosti za standardnu vlažnost od 12 %
- Izračunati vrednost modula elastičnosti pri vlažnost od 18 %
- Izračunati vrednost čvrstoće drveta pri pritisku za vlažnost od 8 %

Rešenje zadatka:

- Proračun napona i dilatacija pri vlažnosti od 14%:

Površina pritisnutog poprečnog preseka je:

$$A = 40\text{mm} \cdot 40\text{mm} = 1600\text{mm}^2$$

Odgovarajući napon pri pritisku (pri vlažnosti drveta od 14%) se može izračunati prema:

$$\sigma_{c,14} = \frac{P_{\parallel}}{A}$$

za $P_{\parallel} = 7200 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{7200 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 4,5 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 16800 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{16800 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 10,5 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 24000 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{24000 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 15,0 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 32000 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{32000 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 20,0 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 40000 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{40000 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 25,0 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 48000 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{48000 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 30,0 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 57120 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{57120 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 35,7 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 57120 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{57120 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 35,7 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 52000 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{52000 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 32,5 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 43200 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{43200 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 27,0 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 38880 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{38880 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 24,3 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 36800 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{36800 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 23,0 \text{ MPa}$

za $P_{\parallel} = 35200 \text{ N}$: napon pri pritisku je: $\sigma_{c,14} = \frac{35200 \text{ N}}{1600 \text{ mm}^2} = 22,0 \text{ MPa}$

Odgovarajuća dilatacija, merena na zadatoj mernoj bazi $l_0=50 \text{ mm}$ (pri vlažnosti drveta od 14%), se može izračunati prema:

$$\varepsilon_{c,14} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

za izduženje $\Delta l = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,3 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,7 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 1,0 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 6,75 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{6,75 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 1,35 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 8,6 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{8,6 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 1,72 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 10,75 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{10,75 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 2,15 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 13,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{13,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 2,70 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 15,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{15,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 3,1 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 20,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{20,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 4,0 \text{ ‰}$

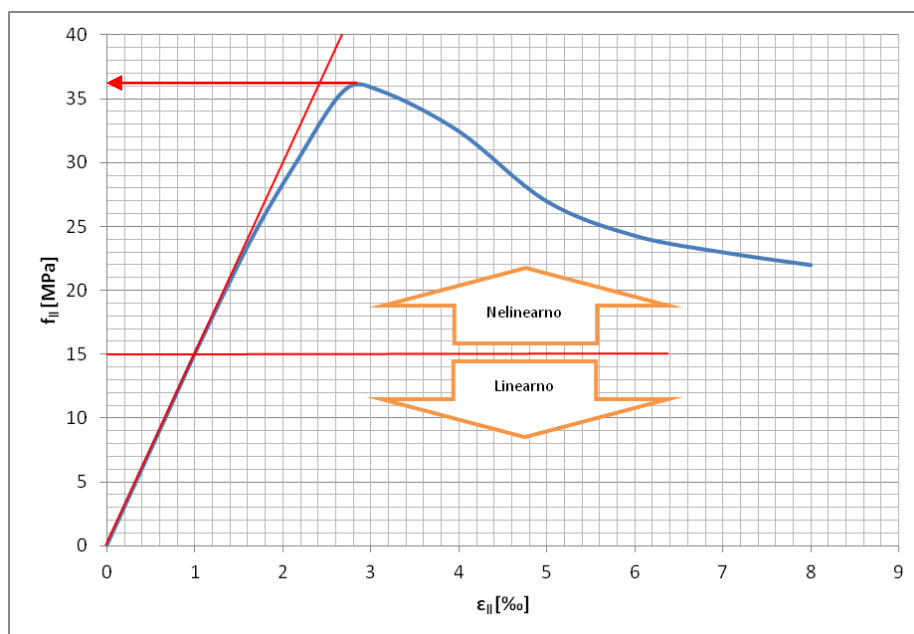
za izduženje $\Delta l = 25,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{25,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 5,0 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 30,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{30,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 6,0 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 35,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{35,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 7,0 \text{ ‰}$

za izduženje $\Delta l = 40,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$: dilatacija je: $\varepsilon_{c,14} = \frac{40,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 8,0 \text{ ‰}$

b) Radni dijagram ispitanog uzorka drveta :



Slika VII-1. Radni dijagram ispitanog uzorka drveta pri jednoaksijalnom pritisku

c) Proračun vrednosti modula elastičnosti za standardnu vlažnost drveta od 12 % :

Izraz za modul elastičnosti za standardnu vlažnost drveta od 12 % :

$$E_{\parallel,12} = E_{\parallel,H} (1 + 0,01 (H-12))$$

, gde je :

$E_{\parallel,H}$ – modul elastičnosti drveta pri vlažnosti H

Na osnovu Slike VII-1 se može videti da do tačke četiri (napona 15 MPa) odnos između napona i dilatacija je linearan (~40% čvrstoće drveta) i iznosi:

$$E_{\parallel,14} = \frac{\Delta\sigma_4}{\Delta\varepsilon_4} = \frac{15 \text{ MPa}}{1 \text{ ‰}} = 15000 \text{ MPa} = 15 \text{ GPa}$$

Pa je vrednost modula elastičnosti za standardnu vlažnost drveta od 12 % :

$$E_{\parallel,12} = E_{\parallel,14} (1 + 0,01 (14-12))$$

$$E_{\parallel,12} = E_{\parallel,14} \cdot 1,02 = 15,3 \text{ GPa}$$

d) Proračun vrednosti modula elastičnosti pri vlažnost od 18 %

Na osnovu izraza za modul elastičnosti za standardnu vlažnost drveta od 12 % :

$$E_{\parallel,12} = E_{\parallel,H} (1 + 0,01 (H-12))$$

može se dobiti:

$$E_{\parallel,12} = E_{\parallel,18} (1 + 0,01 (18-12))$$

kada je vrednost modula elastičnosti već poznat za standardnu vrednost:

$$15,3 \text{ MPa} = E_{\parallel,18} (1 + 0,01 (18-12))$$

$$E_{\parallel,18} = \frac{15,3 \text{ MPa}}{1,06} = 14,43 \text{ MPa}$$

e) Proračun čvrstoće drveta pri pritisku za vlažnost od 8 % :

Prvo je potrebno izračunati pritisnu čvrstoću drveta pri vlažnosti od 14%. Maksimalna vrednost se može očitati sa radnog dijagrama (Slika VII-1) :

$$f_{c,14} = 36,2 \text{ MPa}$$

Za standardnu vlažnost drveta od 12 %, izraz za čvrstoću pri pritisku je :

$$f_{ll,12} = f_{ll,H} (1 + 0,03 (H-12))$$

U ovom slučaju:

$$f_{ll,12} = f_{ll,14} (1 + 0,03 (14-12))$$

$$f_{ll,12} = 36,2 \text{ MPa} (1 + 0,03 (14-12))$$

$$f_{ll,12} = 38,37 \text{ MPa}$$

na osnovu koje se može izračunati čvrstoća i pri vlažnosti od 8 % :

$$f_{ll,12} = f_{ll,8} (1 + 0,03 (H-12))$$

$$f_{ll,8} = \frac{38,37 \text{ MPa}}{1-0,03*4} = 43,60 \text{ MPa}$$

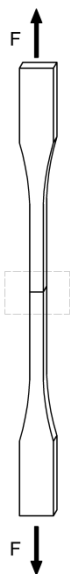
2. U datoj tabeli (Tabela VII-2.) su prikazani dimenzije i mase uzoraka od drveta, koje imaju vlažnost H (%) :

R.b.	Širina a (mm)	Visina b (mm)	Dužina l (mm)	Masa (g)
1.	20,5	24,5	40,8	10,01
2.	21,8	25,4	39,7	10,41
3.	20,8	24,1	41,2	10,11

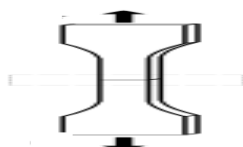
Tabela VII-2. Dimenzije i mase uzoraka drveta vlažnosti H (%)

Pri istoj vlažnosti H (%), izvršeno je ispitivanje jednoaksijalne čvrstoće pri zatezanju – paralelno vlaknima, na 3 uzorka dužina 200 mm i debljine 8 mm, sa promenljivom širinom kao što je prikazano na Slici VII-2. (u srenjem delu širine 10 mm). Izmerene su sile pri lomu (kidanju) : 5380 N, 5510 N i 5270 N.

Slično, na uzorcima iste vlažnosti H (%), izvršeno je ispitivanje jednoaksijalne čvrstoće pri zatezanju – upravno na pravac pružanja vlakana, na 3 uzorka dužina 200 mm i debljine 15 mm, sa promenljivom širinom kao što je prikazano na Slici VII-3. (u srenjem delu širine 80 mm). Izmerene su sile pri lomu (kidanju) : 3620 N, 3550 N i 4010 N.



Slika VII-2. Slika ispitanog uzorka drveta pri jednoaksijalnom zatezanju – paralelno vlaknima



Slika VII-3. Slika ispitanog uzorka drveta pri jednoaksijalnom zatezanju – upravno na pravac vlakana

Od istog drveta, 3 uzorka su isušena do konstantne mase i njihove dimenzije i mase su prikazane u Tabeli VII-3. :

R.b.	Širina a(mm)	Visina b (mm)	Dužina l (mm)	Masa (g)
1.	20,1	23,7	39,5	7,95
2.	20,4	23,5	39,2	8,02
3.	19,8	23,1	38,9	7,55

Tabela VII-3. Dimenzije i mase potpuno suvih uzoraka drveta

Potrebno je odrediti apsolutnu vlažnost H (%) i zapreminske mase datog drveta u suvom stanju (ρ) i pri vlažnosti H .

Takođe pri istoj apsolutnoj vlažnosti H potrebno je izračunati:

- čvrstoću pri zatezanju ispitanog drveta u smeru vlakana pri vlažnosti od H (%) - $f_{\parallel t, H}$
- čvrstoću na pritisak ispitanog drveta upravno na vlakna pri vlažnosti od H (%) - $f_{\perp t, H}$
- zapreminsku masu ispitanog drveta pri vlažnosti od 8 (%) - γ_8
- odnos čvrstoće drveta pri zatezanju upravno na vlakna / čvrstoće drveta pri zatezanju u pravcu vlakana

Rešenje zadatka :

Pošto je reč o različitim uzorcima u suvom i u vlažnom stanju, potrebno je prvo izračunati njihovu zapreminsku masu γ :

$$\gamma = \frac{m}{V}$$

gde je :

$$V = a \cdot b \cdot l \text{ - zapremina uzorka}$$

Rezultati vlažnih uzoraka predmetnog drveta su dati u Tabeli VII-4 :

R.b.	Širina a(mm)	Visina b (mm)	Dužina l (mm)	Masa (g)	V (mm ³)	$\gamma_H (\frac{g}{cm^3})$
1.	20,5	24,5	40,8	10,01	20491,8	0,488
2.	21,8	25,4	39,7	10,41	21982,7	0,474
3.	20,8	24,1	41,2	10,11	20652,7	0,490

Tabela VII-4. Zapreminska masa uzoraka drveta vlažnosti H (%)

Prosečna zapreminska masa drveta vlažnosti H (%) je :

$$\gamma_{Hsr} = \frac{0,488+0,474+0,490}{3} = 0,484 \frac{g}{cm^3} = 484 \text{ kg/m}^3$$

Rezultati suvih uzoraka predmetnog drveta su dati u Tabeli VII-5 :

R.b.	Širina a(mm)	Visina b (mm)	Dužina l (mm)	Masa (g)	V (mm ³)	$\gamma_0 (\frac{g}{cm^3})$
1.	20,1	23,7	39,5	7,95	18816,6	0,422
2.	20,4	23,5	39,2	8,02	18792,5	0,427
3.	19,8	23,1	38,9	7,55	17792,1	0,424

Tabela VII-5. Zapreminska masa uzoraka drveta vlažnosti H (%)

Prosečna zapreminska masa drveta vlažnosti H (%) je :

$$\gamma_{0sr} = \frac{0,422+0,427+0,424}{3} = 0,425 \frac{g}{cm^3} = 425 \text{ kg/m}^3$$

Vlažnost H predmetnog drveta je :

$$H = \frac{\gamma_H - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot 100 (\%) = \frac{484 - 425}{425} = 13,88 \%$$

Čvrstoća pri zatezanju ispitanog drveta u smeru vlakana pri vlažnosti od H (%) :

$$f_{\parallel t, H} = \frac{F}{A}$$

Prosečna vrednost sile loma (kidanja) pri ispitivanju čvrstoće pri zatezanju :

$$F_{\parallel t, H, sr} = \frac{5380 \text{ N} + 5510 \text{ N} + 5270 \text{ N}}{3} = 5387 \text{ N}$$

Čvrstoća pri zatezanju ispitanog drveta u smeru vlakana pri vlažnosti od H (%) :

$$f_{\parallel t, H} = \frac{F_{\parallel t, H, sr}}{A} = \frac{5387 \text{ N}}{8 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}} = 67,34 \text{ N/mm}^2 \text{ ili } 67,34 \text{ MPa}$$

Čvrstoća na pritisak ispitanog drveta upravno na vlakna, pri vlažnosti od H (%) :

$$f_{\perp t, H} = \frac{F}{A}$$

Prosečna vrednost sile loma (kidanja) pri ispitivanju čvrstoće pri zatezanju :

$$F_{\perp t, H, sr} = \frac{3620 \text{ N} + 3550 \text{ N} + 4010 \text{ N}}{3} = 3727 \text{ N}$$

Čvrstoću pri zatezanju ispitanog drveta u smeru vlakana pri vlažnosti od H (%) :

$$f_{\perp t, H} = \frac{F_{\perp t, H, sr}}{A} = \frac{3727 \text{ N}}{80 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm}} = 3,10 \text{ N/mm}^2 \text{ ili } 3,10 \text{ MPa}$$

Zapreminska masa ispitanog drveta pri vlažnosti od 8 (%) - γ_8 , se može izračunati, ako se prvo izračuna za standardnu vlažnost 12 % :

$$\gamma_{12} = \gamma_H (1 - 0,005 (H - 12))$$

Za izračunate prosečne vrednosti :

$$\gamma_{12} = 484 (1 - 0,005 (13,88 - 12)) = 479,45 \text{ kg/m}^3$$

Pa je se zapreminska masa ispitanog drveta pri vlažnosti od 8 (%) može izračunati pomoću izraza :

$$\gamma_{12} = \gamma_8 (1 - 0,005 (8 - 12))$$

Kada se uvrste vrednosti :

$$479,45 \text{ kg/m}^3 = \gamma_8 (1 - 0,005 (8 - 12))$$

$$\gamma_8 = 479,45 \text{ kg/m}^3 / 1,02 = 470,05 \text{ kg/m}^3$$

Odnos čvrstoće drveta pri zatezanju upravno na vlakna / čvrstoće drveta pri zatezanju u pravcu vlakana :

$$f_{\perp t,H} / f_{\parallel t,H} = 3,10 \text{ MPa} / 67,34 \text{ MPa} = 0,046$$

tj. $1/0,046 = 21,72 \approx 22$ puta je manja čvrstoće pri zatezanju upravno na vlakna, u poređenju sa čvrstoćom pri zatezanju u pravcu vlakana.

L I T E R A T U R A

LITERATURA

1. Balázs GY.: Épitőanyag Praktikum, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
2. Balázs GY.: Épitőanyagok Praktikum és kémia, Tankönyvkiadó, Budapest, 1984.
3. Kekanović M., Ljiljana K., Čeh A.: Tehnologija betona i maltera, Građevinski fakultet u Subotici, Subotica, 2023.
4. Muravljev M.: Građevinski materijali, Građevinska knjiga, Beograd, 2007.
5. Muravljev M., Jeftić D.: Građevinski materijali2, Akademski Misao, Beograd, 2014.
6. M.Muravljev: Građevinski materijali – zbirka rešenih ispitnih zadataka, Grosknjiga, Beograd, 1994.
7. M.Muravljev, S.Živković: Građevinski materijali – zbirka rešenih zadataka, Građevinska knjiga 2011.
8. Savić A., Radević A., Aškrić M.: Građevinski materijali 1 - zbirka rešenih ispitnih zadataka, Akademski Misao, Beograd, 2023.
9. SRPS EN 1996-1-1 Evrokod 6 – Projektovanje zidanih konstrukcija – Deo 1-1: Opšta pravila za armirane i nearmirane zidane konstrukcije, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2016)
10. SRPS EN 1992-1-1 Evrokod 2 — Projektovanje betonskih konstrukcija — Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2015)
11. SRPS EN 1992-2 Evrokod 2 — Projektovanje betonskih konstrukcija — Betonski mostovi — Pravila projektovanja i konstruisanja, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2014)
12. SRPS EN 1992-3 Evrokod 2 — Projektovanje betonskih konstrukcija — Deo 3: Konstrukcije rezervoara i silosa, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2017)
13. SRPS EN 1995-1-1: Evrokod 5 — Projektovanje drvenih konstrukcija — Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Institut za standardizaciju Srbije, Beograd, 2012.
14. SRPS EN 206 Beton – Specifikacija, performanse, proizvodnja i usaglašenost, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2021)
15. SRPS EN 12620 Agregati za beton, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2010)
16. SRPS EN 13139 Agregati za malter, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2007)
17. SRPS CEN/TR 15125 Sastav, priprema i upotreba cementnih i/ili krečnih maltera za unutrašnja oblaganja, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2008)
18. SRPS EN 459-1 Građevinski kreč — Deo 1: Definicije, specifikacije i kriterijumi usaglašenosti, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2016)
19. SRPS EN 459-2 Građevinski kreč – Deo 2: Metode ispitivanja, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2021)
20. SRPS EN 197-1 Cement — Deo 1: Sastav, specifikacije i kriterijumi usaglašenosti za obične cemente, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2013)
21. SRPS EN 196-1 Metode ispitivanja cementa – Deo 1: Određivanje čvrstoće, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2017)
22. SRPS EN 196-2 Metode ispitivanja cementa — Deo 2: Hemijske analize cementa, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2015)
23. SRPS EN 196-3 Metode ispitivanja cementa – Deo 3: Određivanje vremena vezivanja i stalnosti zapremine, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2017)
24. SRPS EN 12350-2 Ispitivanje svežeg betona – Deo 2: Ispitivanje sleganja, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
25. SRPS EN 12350-5 Ispitivanje svežeg betona – Deo 5: Ispitivanje rasprostiranja pomoću potresne table, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)

26. SRPS EN 12350-6 Ispitivanje svežeg betona – Deo 6: Zapreminska masa, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
27. SRPS EN 998-1 Specifikacija maltera za zidane konstrukcije – Deo 1: Malter za oblaganje spoljašnjih i unutrašnjih površina, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2017)
28. SRPS EN 998-2 Specifikacija maltera za zidane konstrukcije – Deo 2: Malter za zidanje, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2017)
29. SRPS EN 1015-1 Metode ispitivanja maltera za zidanje - Deo 1: Određivanje granulometrijskog sastava čestica (prosejavanjem), Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2008)
30. SRPS EN 1015-6 Metode ispitivanja maltera za zidanje - Deo 6: Određivanje zapreminske mase svežeg maltera, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2008)
31. SRPS EN 1015-7 Metode ispitivanja maltera za zidanje - Deo 7: Određivanje sadržaja vazduha u svežem malteru, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2008)
32. SRPS EN 1015-9 Metode ispitivanja maltera za zidanje - Deo 9: Određivanje vremena ugradivosti i vremena korekcije svežeg maltera, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2008)
33. SRPS EN 1015-11 Metode ispitivanja maltera za zidanje – Deo 11: Određivanje čvrstoće pri savijanju i čvrstoće pri pritisku očvrslog maltera, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
34. SRPS EN 12390-1 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 1: Oblik, dimenzije i ostali zahtevi za uzorke i kalupe, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2021)
35. SRPS EN 12390-2 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 2: Izrada i negovanje uzoraka za ispitivanje čvrstoće, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
36. SRPS EN 12390-3 Ispitivanje očvrslog betona - Deo 3: Čvrstoća pri pritisku uzoraka za ispitivanje, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
37. SRPS EN 12390-5 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 5: Čvrstoća pri savijanju uzoraka za ispitivanje, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
38. SRPS EN 12390-6 Ispitivanje očvrslog betona - Deo 6: Čvrstoća pri cepanju zatezanjem uzoraka za ispitivanje, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2012)
39. SRPS EN 12390-7 Ispitivanje očvrslog betona - Deo 7: Zapreminska masa očvrslog betona, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
40. SRPS EN 12390-13 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 13: Određivanje sekantnog modula elastičnosti pri pritisku, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2021)
41. SRPS EN 12390-16 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 16: Određivanje skupljanja betona, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
42. SRPS EN 12390-17 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 17: Određivanje tečenja pritisnutog betona, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2019)
43. SRPS EN 12390-18 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 18: Određivanje koeficijenta migracije hlorida, Institut za standardizaciju Srbije ISS, Beograd (2021)
44. Zakić D., Savić A., Radević A., Aškračić M.: Praktikum za vežbe i repetitorijum iz Građevinskih materijala 1, Akademska Misao, Beograd, 2023.
45. Zakić D., Savić A., Radević A., Aškračić M.: Praktikum za vežbe i repetitorijum iz Građevinskih materijala 2, Akademska Misao, Beograd, 2024.