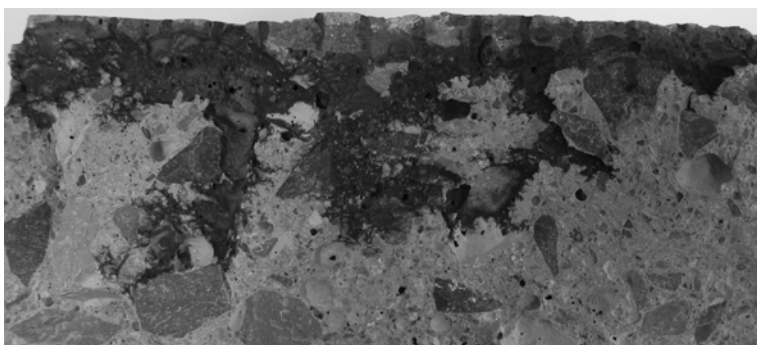




Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

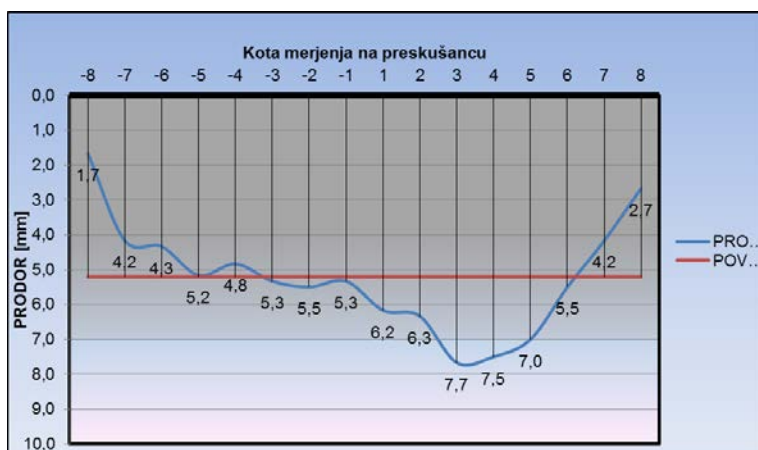
GRADIVA VAJE 2013/2014



IME IN PRIIMEK: _____

SKUPINA: _____

ODDANO: _____



PREGLEDAL: _____

OCENA: _____

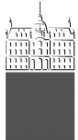
DATUM: _____

Globina prodora kloridov v beton: eksperiment (zgoraj) analiza (spodaj)

ROKO ŽARNIČ

VLATKO BOSILJKOV

VIOLETA BOKAN BOSILJKOV



VAJA 1 - PREIZKUŠANJE IN DOLOČANJE OSNOVNIH LASTNOSTI KAMNIN IN NARAVNIH AGREGATOV

1. UVOD

Naravni kamen je tradicionalni gradbeni material. Najpogosteje se uporablja na dva osnovna načina:

- Večji ali manjši kosi različne stopnje obdelave so namenjeni za zidanje, obloge pri vodnih zgradbah, oblaganje zidov, tlakovanje in podobno.
- V obliki naravno ali umetno zdrobljenega materiala - agregata se uporablja za nasipavanje, kot material za izdelavo železniških prog in konstrukcij cest, ulic in letališč. Služi pa tudi kot agregat za izdelavo različnih vrst betonov.

Razen splošnih postopkov za ugotavljanje lastnosti agregatov in kamnin, je preskušanje le teh zelo odvisno od namena njihove uporabe. Osnovne preiskave agregatov so: vzorčenje, zmanjševanje laboratorijskih vzorcev, določanje mineraloško-petrografske sestave, preskusi kemičnih lastnosti, določanje zrnivosti z metodo sejanja, določanje ploščatosti zrn in indeksa oblike zrn, določanje odstotka lomljenih površin zrn grobega agregata, ocena količnika sipkosti, ugotavljanje finih delcev, določanje odpornosti proti obrabi, določanje odpornosti proti drobljenju, določanje prostorninske mase in votlin v nasutem stanju, določanje vode s sušenjem, določanje prostorninske mase zrn in vpijanja vode, določanje kapilarnega dviga vode ter določanje odpornosti proti zmrzovanju/tajanju. Preiskave so praviloma standardizirane v slovenskih standardih SIST EN.

2. KRATEK UVOD V GEOLOGIJO

2.1 KAJ JE GEOLOGIJA?

Beseda je grškega izvora: GEOS=Zemlja LOGOS=Znanost → ZNANOST O ZEMLJI

Področja geologije:

- Petrologija, mineralogija in kristalografija (nastanek in lastnosti kamnin)
- Fizikalna geologija (procesi na površju Zemlje)
- Tektonika (prelomi, narivanje, potresi....)
- Stratigrafija
- Paleontologija (fosili)
- Geomehanika
- Inženirska geologija (sanacija plazov, popotresna obnova)
- Rudišča
- Tehnična mineralogija (keramike)

2.2 KAKO NASTANEJO KAMNINE? KAJ SO MINERALI? OD KOD SUROVINE ZA OPEKO, STEKLO, BETON, JEKLO.....?

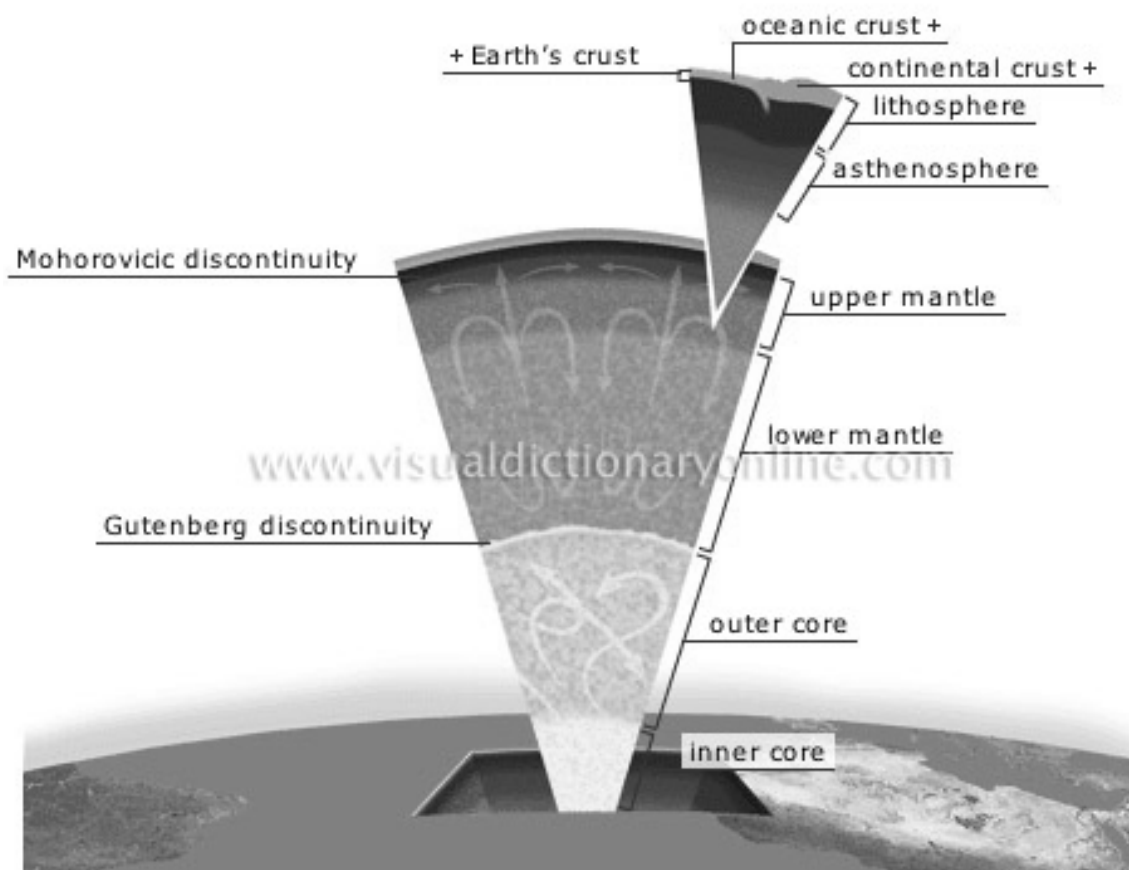
Veliko različnih materialov, ki jih uporabljamo v vsakodnevem življenju, je »naravnega« izvora (*npr. plastika je bolj ali manj povezana z nafto, steklo nastane s predelavo kremenovih surovin, porcelanasta skodelica za kavo je iz kaolinitne gline.....*).

2.2.1 ZGRADBA ZEMLJE IN NEKAJ O ZEMLJI

Notranjost Zemlje sestoji iz 5 različnih ovojev. Prvi ovoj je JEDRO. NOTRANJE JEDRO (Ni, Fe) je v trdnem agregatnem stanju. Notranjemu jedru sledi ZUNANJE JEDRO (S, Cu, Zn, Ag, Sn). Ločnica med Zemljinim jedrom in plaščem je Gutenbergova diskontinuiteta. SPODNJI PLAŠČ je sestavljen iz magme, ki kemično ustreza peridotitu. Sledi ATENOSFERA, ki je prehodna plast med spodnjim jedrom in litosfero. Atenosfera je v plastičnem agregatnem stanju. Na stiku med plaščem in litosfero je Mohorovičičeva diskontinuiteta. V LITOSFERO uvrščamo Zemljino skorjo in zgornji del Zemljinega plašča. ZEMLJINA SKORJA se deli na dva dela KONTINENTALNO IN OCEANSKO SKORJO.

Zemlja ima poleg notranjih še zunanje ovoje: Hidrosfero, pedosfero, atmosfero, biosfero.

TEKTONIKA PLOŠČ



Slika 1: Notranji Zemljini ovoji.

Tektonika plošč → → → → »Potovanje plošč po površju Zemlje«

Vzrok za potovanje so konvekcijski tokovi v atenosferi. Teorija o tektoniki litosferskih plošč obravnava litosfero kot sistem razkosanih delov, ki plavajo na atenosferi (*kot ledena gora na morju*). Litosferske plošče se pomikajo od con raztezanja proti conam stiskanja.



ZA VSE JE POTREBNA ENERGIJA

Ločimo: ENDOGENO (notranjo) Zemljino energijo in EKSOGENO (zunanjo) energijo. Obe energiji vplivata na procese na Zemljinem površju (*npr. potresi, izbruhi vulkanov, plimovanje morja, tok rek....*)

ŠE NEKAJ O ZEMLJI

Zemlja ima obliko elipsoida oz. geoida. Obseg ekvatorja je 40.076 km, masa Zemlje je $5,976 \times 10^{24}$ kg, gostota Zemlje znaša okoli $5,5 \text{ g/cm}^3$. Zemlja ima zaradi svoje mase gravitacijsko polje.

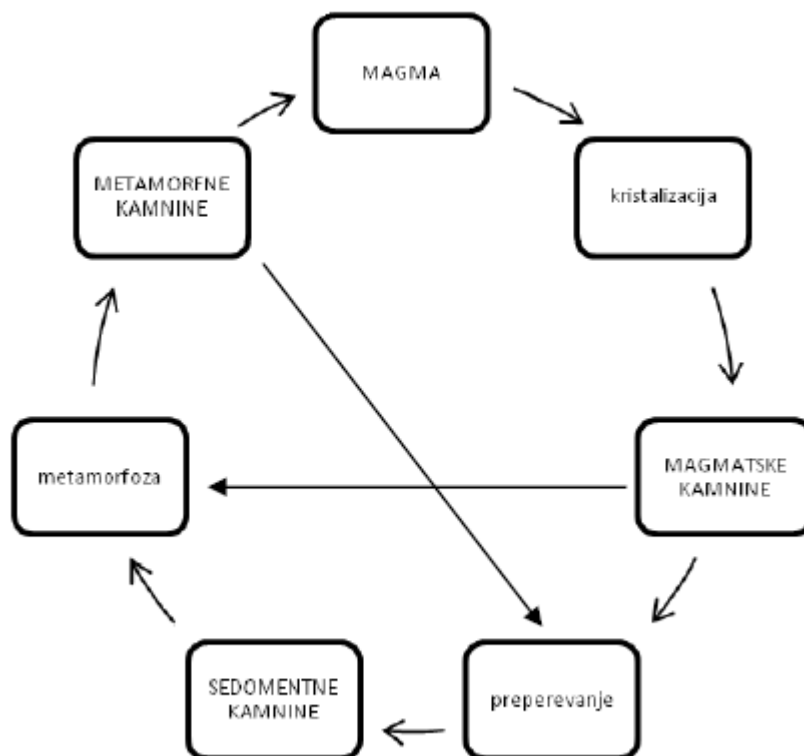
2.2.2 KAMNINE

Osnovni gradniki kamnin so minerali. Mineral je bolj ali manj homogena »snov« z urejeno notranjo strukturo in znano kemično sestavo. Poznamo več tisoč mineralov, ki so razdeljeni v 8 skupin:

- SAMORODNE PRVINE (Cu, Ag, grafit (C), diamant (C)....)
- SULFIDI (galenit (PbS), cinabarit (HgS), pirit (FeS), halkopirit (CuFe₂S), sfalerit (ZnS))
- HALIDI (halit (NaCl), fluorit (CaF₂))
- OKSIDI (kremen (SiO₂), kalcedon (SiO₂), opal (SiO₂xnH₂O), hematit (Fe₂O₃), špinel (MgAl₂O₄), rubin (Al₂O₃), korund (Al₂O₃))
- KARBONATI (kalcit (CaCO₃), aragonit (CaCO₃), dolomit (CaMg(CO₃)₂))
- SULFATI (sadra (CaSO₄ xH₂O), anhidrit (CaSO₄))
- FOSFATI
- SILIKATI (olivin (Fe, Mg(SiO₂)), pirokseni, amfiboli, sljude (muskovit, biotit), glinenci: *kalcijevi* (albit, ologoklaz) in *plagioklazi* (anortit))

Vsak mineral ima lastnosti, po katerih je prepoznaven. Prepoznamo ga po kristalnem sistemu, v katerem kristali, razkolnosti, barvi, barvi črte, ki jo pušča, dvojčenju, specifični teži, trdoti. Trdoto lahko določamo s pomočjo vtiskanja kroglice ali prizme (absolutna trdota) ali Moshove trdotne lestvice (lojevec, sadra, kalcit, fluorit, apatit, ortoklaz, kremen, topaz, korund, diamant).

Največ mineralov prihaja iz skupine silikati. Ti minerali so tudi najpogostejši gradniki kamnin. Kamnine lahko nastanejo na več načinov: **MAGMATSKKE KAMNINE** nastanejo z ohlajanjem magme. **SEDIMENTNE KAMNINE** nastanejo s sedimentacijo usedlin (sedimentov). **METAMORFNE KAMNINE** nastanejo s preobrazbo (metamorfozo) magmatskih ali sedimentnih kamnin.



Slika 2: Kamninski cikel

2.2.3 DELITEV KAMNIN

glede na uporabo

Kamnine se v gradbeništvu uporabljajo kot:

- NARAVNI KAMEN (za obloge fasad, tlakovanje.....)
- TEHNIČNI KAMEN (lomljenec v različnih frakcijah)
- MINERALNI AGREGAT (tehnični kamen zdrobljen v manjše frakcije)

glede na nastanek

- MAGMATSKES KAMNINE
- SEDIMENTNE KAMNINE
- METAMORFNE KAMNINE

MAGMATSKES KAMNINE

Nastanejo z ohlajanjem magme. Delimo jih po načinu nastanka in mineralni sestavi.

po nastanku ločimo:

- GLOBOČINE
- PREDORNINE
- ŽILNINE



po mineralni sestavi ločimo:

Granitska, sienitska, granodioritska, dioritska, gaberska in peridotitska skupina

Kamnine svetle, kisle

Kamnine temne, bazične

SKUPINA	GRANITSKA	SIENITSKA	GRANODIORITSKA	DIORITSKA	GABERSKA	PERIDOTITSKA
GLOBOČINE	granit	sienit	granodiorit	diorit, tonalit	gabro, čizlakit	peridotit
PREDORNINE	kremenov porfir, keratofir, riolit, plovec	porfir, keratofir	andezit	bazalt		
ŽILNINE	pegmatit					

Predstavniki:

GRANIT

Barva: Pisan, rožnat, bel

Uporaba: Naravni kamen

Nahajališča: Uvoz iz tujine (Brazilija, Afrika, Skandinavske države)

GRANODIORIT (POHORSKI »TONALIT«) IN TONALIT

Barva: Siv

Uporaba: Naravni kamen, za tlakovanje, robnike...

Nahajališča: Pohorje, Črna na Koroškem

ČIZLAKIT

Barva: Zelen

Uporaba: Naravni kamen

Nahajališča: Pohorje (kamnolom Cezlak)

KERATOFIR

Barva: Zelen

Uporaba: Za asfalte, za tlakovanje

Nahajališča: Avstrija

PORFIR IN KREMENOV PORFIR

Barva: Rdeč, rožnat

Uporaba: Za tlakovanje

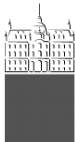
Nahajališča: Avstrija

SEDIMENTNE KAMNINE

Nastanejo s strjevanjem sedimenta ali s kemičnimi procesi v naravi.

po nastanku ločimo:

- Klastične ali mehanske sedimentne kamnine
- Kemične in biokemične sedimentne kamnine
- Piroklastične sedimentne kamnine



KLASTIČNE ALI MEHANSKE SEDIMENTNE KAMNINE

Nastale z vezavo sedimentov. Nadaljnja klasifikacija ločuje sedimentne kamnine med seboj glede na velikost zrn.

	>2 mm	0.05 – 2 mm	0.002 - 0.05 mm	<0.002 mm
NEVEZANE (SEDIMENTI)	prod, gruč	pesek	melj	glin
VEZANE	breča, konglomerat	peščenjak	meljavec	glinavec

KEMIČNE IN BIOKEMIČNE SEDIMENTNE KAMNINE

Kemični procesi, po večini obarjanje mineralov iz raztopine.

Apnenec, dolomit, kreda, lehnjak, siga.

PIROKLASTIČNE SEDIMENTNE KAMNINE

Vezava usedlin vulkanskega izvora.

Vulkanska breča, tuf.

Predstavniki:

PEŠČENJAK

Barva: Barva je odvisna od veziva in mineralov, ki se pojavijo

Uporaba: Naravni kamen

Nahajališča: Po vsej Sloveniji (predvsem vzhodna Slovenija)

APNEVEC

Barva: Barva je odvisna od primesi med sedimentacijo

Uporaba: Naravni kamen, tehnični kamen, mineralni agregat

Nahajališča: Po vsej Sloveniji, Hotavlje, Lesno Brdo

DOLOMIT

Barva: Svetlo siv

Uporaba: Tehnični kamen, mineralni agregat

Nahajališča: Po vsej Sloveniji

METAMORFNE KAMNINE

Metamorfoza (sprememba) magmatskih in sedimentnih kamnin.

GLEDE NA STOPNJO METAMORFOZE LOČIMO

- Skrilave metamorfne kamnine (nizka stopnja metamorfoze)
Filit, blestnik, gnajs
- Masivne metamorfne kamnine (visoka stopnja metamorfoze)
Marmor, kvarcit

Predstavniki:**MARMOR**

Barva: Bel

Uporaba: Naravni kamen

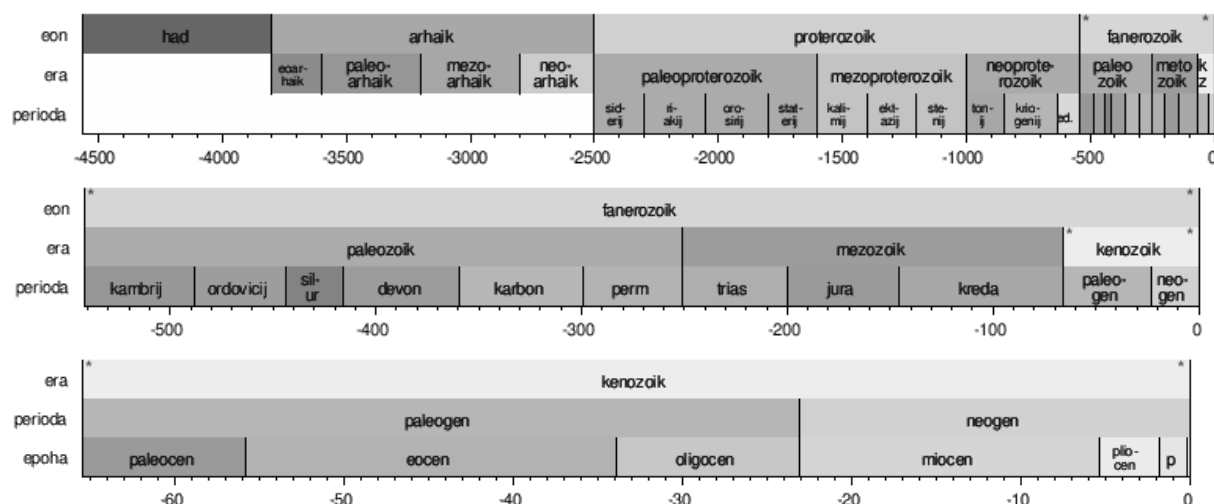
Nahajališča: Italija, na Pohorju opuščen Rimski kamnolom

KVARCIT

Barva: Steklast

Uporaba: steklarska industrija, ognjevarna gradiva

Nahajališča: Opuščeni kopi na Pohorju

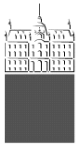
2.3 KAJ SE JE DOGAJALO PRED... X ... MILIJONI LET?

Slika 3: Geološke dobe

Kozmična era je čas od oblikovanja planeta Zemlja pa vse do prve litosfere. To je trajalo okoli 100 milijonov let. Starejši del Zemljine zgodovine imenujemo **predkambrij**. Sem spadata eonotema, arhaik in proterozoik. Sledi **paleozoik**. Sem spadajo: **karbon**, **ordovicij**, **silur**, **devon** in **perm**. Sledi srednji Zemeljski vek ali **mezozoik**. Sem spadajo obdobja: **trias**, **jura** in **kreda**. Sledi še mlajši Zemeljski vek **kenozoik**, ki vključuje **paleogen** in **neogen**.

Geologi določajo starost kamnin s pomočjo različnih metod. Za določanje relativne starosti uporabljajo paleontološke metode (vodilni fosili, mikropaleontološke metode...) in geološko stratigrafske metode (litološka...). Za določanje absolutne starosti pa se uporabljajo predvsem radiometrične metode (radioaktivni ogljik...).

V Sloveniji so kamnine pred obdobjem karbona zelo redke. Karbonske kamnine so predvsem temno sivi meljevci, glinavci in laporovci, nekaj je tudi črnih apnencev. Fosilni ostanki so pogosti v kamninah te starosti v oklici Javorniškega Rovta in Konjiške Gore. Prem (280-230 Ma) zaznamuje veliko izumiranje konec prema, kjer je izumrlo kar 90% takratnega življenja. V Sloveniji prevladujejo kamnine mezozojske starosti (250-60 Ma). To je bila doba začetka alpinske orogeneze in reptilov, v triasu in juri prevladujejo dinosavri, pojavijo se prvi sesalci in ptiči. V Terciarju (60-2 Ma) se zaključi alpinska orogeneza.



Sesalci in cvetnice se na kopnem močno razširijo. Kamnine so peščenjaki, konglomerati, laporovci, apnenci. V kvartarju prevladujejo kvartarne naplavine.

2.4 ŠE NEKAJ O GEOLOGIJI SLOVENIJE

Večino slovenskega ozemlja pokrivajo karbonatne kamnine (apnenci, dolomiti). V svetovnem merilu je ravno karbonatnih kamnin najmanj, okoli 5%, prevladujejo pa magmatske in metamorfne.

V Sloveniji magmatske in metamorfne kamnine najdemo na območju Pohorja ter v coni od Jezerskega preko Belih Vod nad Šoštanjem. Največ kamnin v Sloveniji je mezozojske starosti. Triasne kamnine predstavljajo predvsem apnenci in dolomit. Najdemo jih na območju Julijskih Alp, Kamniško-savinjskih Alp, vzhodnih Karavank, del Dolenjske (na geološki karti so kamnine triasne starosti označene z vijolično barvo). Kamnine jurske starosti (na geološki karti označene z modro barvo) najdemo na območju Krma, Nanosa, Julijskih Alp, Posočja. Prevladujejo apnenci, ki so delno ali pa v celoti dolomitizirani. Kamnine kredne starosti (na geološki karti označene z zeleno barvo) najdemo na zahodnem delu Slovenije in na Dolenjskem. Prevladujejo apnenci. Vzhodni del Slovenije pokrivajo predvsem klastične sedimentne kamnine, nekaj pa je tudi apnencev. Kamnine so predvsem kenozojske starosti (paleocen, eocen, pliocen, miocen).

Kamnine mezozojske starosti najdemo na območju Velenja. Na območju Velenja najdemo tudi več kot 160 m debelo plast premoga miocenske starosti. Premog v Posavskih gubah (Trbovlje, Hrastnik) je oligocenske starosti. Premog v Sloveniji v manjših količinah najdemo še na območju Kočevja in Kozine. Ostala rudna bogastva so še svinčeva (mineral galenit) in cinkova (mineral siderit) ruda v Mežici in dolini Tople. Železo najdemo v manjših količinah na območju Pokljuke. V Idriji pa imamo eno izmed večjih svetovnih nahajališč živega srebra (mineral cinabarit in samorodni Hg).

Slovenija nima in ni imela pravega vulkana. Piroklastične sedimentne kamnine (tufi) so posledica erupcijskih dogodkov v aniziju (trias) in oligocenu (kenozoik, paleogen).

Ozemlje Slovenije je prepleteno s prelomi in naravnimi conami. Večji prelomi so Idrijski prelom, Savski prelom, Labodski prelom, Lipiški prelom, Periadriatski linament, Raški prelom, Šoštanski prelom, Žužemberški prelom...

2.5 VELIKO MATERIALOV JE „NARAVNEGA“ IZVORA

S pravilno izbiro osnovnih surovin lahko prihranimo veliko energije in s tem tudi denarja. V nadaljevanju je predstavljenih nekaj surovin in njihova uporaba.

KREMENOVE SUROVINE

Kremenove surovine se uporabljajo v optični industriji, steklarstvu, za steklena vlakna, za ognjevarne materiale, v livarstvu (kot livarski pesek), za ferolegure na silicijevi osnovi (dodatki, ki izboljšajo lastnosti jekla), v industriji gradbenih materialov (silikatna opeka), za brusila in kot naravni kamen.

Kremenove surovine so: **Kremenov pesek**, katerega kvaliteto določa njegova čistost (kot primesi se pojavijo glineni minerali, sljude, glinenci, težki minerali) ter oblika in velikost zrn. **Diatomejske zemlje**, ki se uporabljajo predvsem kot polnila in izolacijski material. **Žilni kremen in kvarcit** (izredno čist). Žilni kremen se uporablja v industriji svetil, medtem ko se kvarcit uporablja predvsem za ognjevarna gradiva.



GLINE

Gline ločimo glede na uporabo na **opekarske**, **keramične** in **ognjevzdržne**. Od mineraloške sestave je odvisna uporabnost gline. Za opekarske gline je primerna **ilovica** (Illit, malo kaolinita in montmorillonita, veliko kremena in glinencev, sljude, klorit....). Po žganju je črepinja rdeča. Izdelki iz opekarske gline so opeke, strešniki, stropniki, bloki, glinopor, klinker ploščice, ... Surovine za keramične izdelke so **kaolin**, K-glinenci in kremen. Črepinja je po žganju bela. Vsi izdelki iz porcelana, gospodinjska keramika, sanitarna keramika, ploščice... Za ognjevzdržne materiale je pogoj, da so obstojni pri visokih temperaturah. Kakšno glino bomo uporabili za izdelavo ognjevzdržnih materialov je odvisno od proizvodne linije (kislá ognjevzdržna gradiva, bazična ognjevzdržna gradiva).

CEMENT

Mineralne surovine cementa: lapor je vir oksidov SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , apnenec je vir oksida CaO , fliš in gline so vir oksidov SiO_2 , Al_2O_3 , kremen pa je vir oksida SiO_2 . Produkt žganja mineralnih surovin je portland-cementni klinker.

3. METODE VZORČENJA AGREGATOV (SIST EN 932-1)

Standard podrobno opisuje metode vzorčenja agregatov iz obratov za proizvodnjo ali pripravo ter iz pošilk, vključno z deponijami. Namen vzorčenja je dobiti osnovni vzorec, ki je reprezentativen glede povprečnih lastnosti proizvedene, pripravljene ali dobavljene količine agregata. Opisane so tudi metode za zmanjševanje osnovnega vzorca.

Definicije:

Partija ali šarža – proizvedena količina, dobavljena količina ali del dobavljene količine (količina agregata v enem vagonu vlakovne kompozicije, na enem tovornjaku, ...) ali količina agregata na deponiji proizvedena istočasno in ob konstantnih pogojih. Pri kontinuirni proizvodnji je partija ali šarža količina agregata proizvedena v dogovorjenem časovnem intervalu.

Posamezni vzorec – količina agregata odvzetega iz partije z eno operacijo z opremo za vzorčenje.

Osnovni ali naključni vzorec - se sestoji iz večjega števila posameznih vzorcev agregata

Reprezentativni vzorec – osnovni vzorec sestavljen iz posameznih vzorcev, ki so bili odvzeti v skladu z načrtom vzorčenja, ki z veliko verjetnostjo zagotavlja da kvaliteta tega vzorca predstavlja kvaliteto partije.

Podvzorec – vzorec dobljen iz posameznega ali osnovnega vzorca s postopkom za zmanjševanje vzorca.

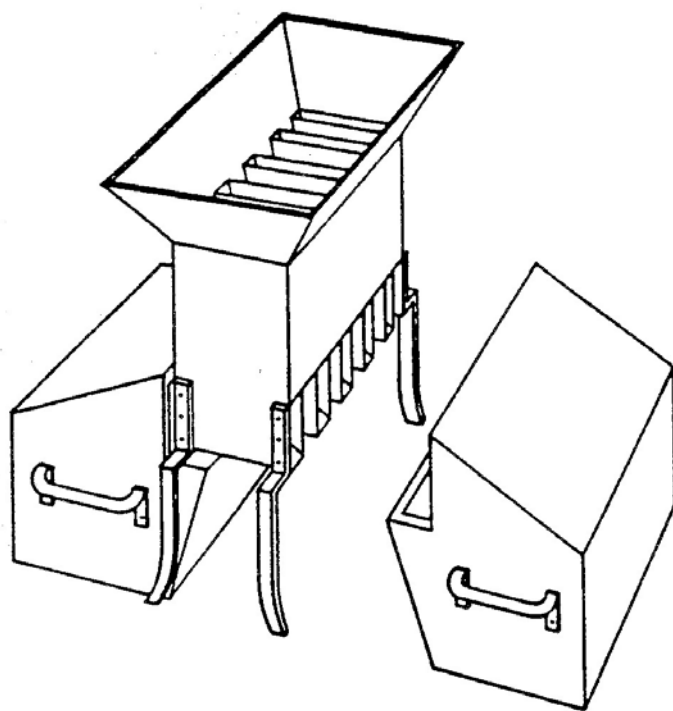
Laboratorijski vzorec – zmanjšan vzorec dobljen iz osnovnega vzorca in namenjen za laboratorijsko preskušanje.

Posamezni vzorci se odvzamejo naključno iz vseh delov partije, ki jo predstavlja osnovni vzorec. Velikost osnovnega vzorca se izračuna ob upoštevanju narave in števila preiskav, velikosti agregatnih zrn in prostorninske mase agregata. Število posameznih vzorcev za osnovni vzorec se določi na podlagi izkušenj z vzorčenjem podobnih agregatov iz podobnih obratov za proizvodnjo. Za izračun najmanjše mase osnovnega vzorca se priporoča uporaba naslednjega izraza:

$$M = 6 \cdot \sqrt{D} \cdot \rho_b$$

kjer je M – masa vzorca v kg, D – največje zrno v mm, ρ_b – prostorninska masa v nasutem stanju v kg/dm^3 , določena v skladu s SIST EN 1097-3.

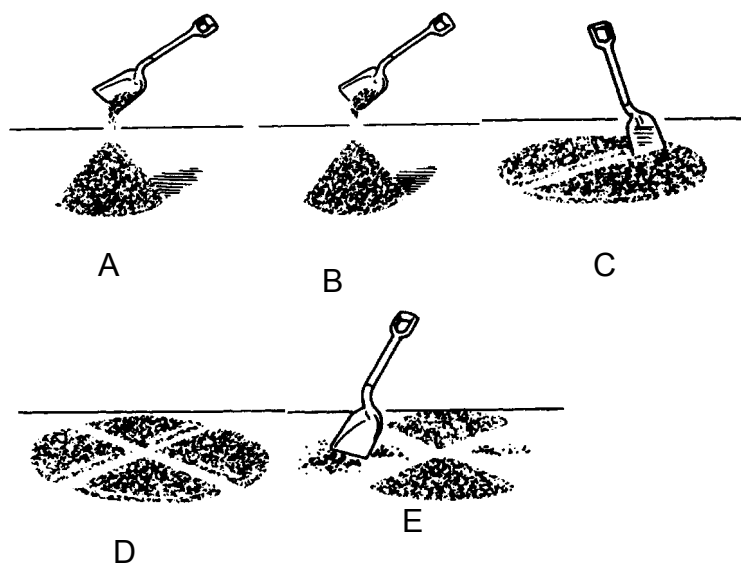
3.1 POSTOPEK ZMANJŠEVANJA VZORCA Z RAZDELILNO NAPRAVO



Slika 1: naprava za mehansko zmanjševanje vzorca

Osnovni vzorec se vsuje v eno od posod razdelilne naprave, dve prazni posodi pa se postavi na svoje mesto v razdelilni napravi. Agregat se vsuje preko daljše stranice posode v območje centralne linije razdelilne naprave in se razdeli na dva enako verjetna dela v posodi za prestrezanje. Zmanjševanje vzorca se nadaljuje tako, da se na svoje mesto v razdelilni napravi ponovno postavi dve prazni posodi, polovica osnovnega vzorca iz posode za prestrezanje uporabljene v prvem koraku pa se vsuje preko daljše stranice posode v območje centralne linije razdelilne naprave. Postopek se ponavlja, dokler se ne dobi zahtevana velikost laboratorijskega vzorca.

3.2 POSTOPEK ZMANJŠEVANJA VZORCA Z METODO ČETRRTINJENJA



Slika 2: metoda četrtrinjenja

Z metodo četrtrinjenja dobimo reprezentativni vzorec: posamezni, skupni in laboratorijski. Posamezne vzorce zberemo na enem mestu, jih popolnoma premešamo in oblikujemo kup na mestu **A** (Slika 1). Potem material premečemo na mesto **B** tako, da dodajamo polno lopato materiala na vrh kupa. Material, ki drsi z vrha kupa proti vznožju se mora čim bolj enakomerno razporediti, središče kupa pa se ne sme premakniti. Če se zrna agregata odkotalijo ali razmečejo okoli osnove jih

moramo vrniti k robu gomile. V tretji kup, ki ga oblikujemo iz premešanega vzorca, zabodemo ročaj lopate skozi os kupa. Ročaj premaknemo iz vertikalne v poševno - nagnjeno lego in ga premikamo tako, da opisuje stožec. Na ta način se kup splošči v približno pravilno obliko. Novo središče se mora ujemati s središčem izhodiščnega kupa. Zdaj lahko izvedemo zmanjševanje vzorca **C**. Sploščeno gomilo razdelimo na štiri enake dele **D**. Par diagonalnih četrtn z lopato namečemo v kup **E**, ostanek materiala pa se odstrani. Proces mešanja in četrtrinjenja, to je zmanjševanja vzorca, ponavljamo tako dolgo, dokler ne dobimo potrebno maso vzorca.

3.3 POSTOPEK ZMANJŠEVANJA LABORATORIJSKIH VZORCEV (SIST EN 932-2)

Postopek zmanjševanja laboratorijskih vzorcev je zasnovan tako, da so preskusni vzorci dobljeni z najmanjšim številom korakov ločevanja laboratorijskega vzorca na preskusne vzorce in da v največji možni meri preprečuje, da bi oseba, ki zmanjšuje vzorec, izvajala manjše prilagoditve preskusnega vzorca ali izbirala zrna, ki gredo v preskusni vzorec.

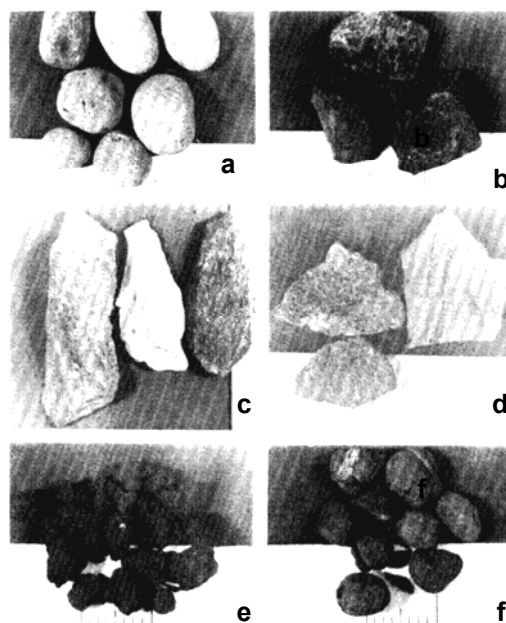
4. DEFINICIJA OBLIKE IN IZGLEDA POVRŠINE ZRN AGREGATA

Oblika in tekstura površine agregata vplivata na količino vode in/ali veziva (cement, bitumen,...), ki sta potrebna za izdelavo betona oziroma asfalta.

Preglednica 1: Oblika zrn

Razvrstitev	$l:d:b = 1$	$l:b 1.5$	$d:b 0.5$
Zaobljen	kroglast	podolgovat	ploščat
Nepolpolno zaobljen	kroglast	podolgovat	ploščat
Oglat	kockast	podolgovat	ploščat

Oblika zrna je določena z razmerji med dimenzijami zrna in s stopnjo ukrivljenosti. Z **l**, **b** in **d** označimo dolžino, širino in debelino zrna. Razvrstitev zrn po obliki je podana v preglednici 1. Na sliki 3 so podane nekatere karakteristične oblike zrn agregata: (a) zaobljeno in gladko zrno, (b) lomljenec, (c) podolgovato zrno, (d) ploščato zrno, (e) lahki agregat oglate oblike in hrapav, (f) lahki agregat zaobljene oblike in gladek.



Slika 3: Razvrstitev zrn po obliki

4.1 IZGLED POVRŠINE ZRNA

Pod izrazom izgled površine zrna razumemo vidno neobdelano oziroma po naravni poti obdelano površino zrna.

Preglednica 2:

Skupina	Izgled površine	Karakteristike	Primeri
1	steklasta	Praviloma školjkast prelom	Črni kremen, opal
2	gladka	Z vodo obrušena ali gladka zaradi preloma lističaste ali neznate kamnine.	Prodniki, roženec, nekateri apnenci
3	fino hrapava	Hrapav prelom drobnozrnate ali srednjezrnate kamnine, ki ne vsebuje nobenih vidnih kristalastih sestavin.	Bazalti, trahiti, porfiri, nekateri apnenci
4	peščeno hrapava	Prelom vsebuje več ali manj zaobljena zrna.	Peščenjaki
5	grobo hrapava	Površina vsebuje lahko vidne kristalaste sestavine.	Granit, gablo, gnajs
6	satasta in luknjičasta	Površina z vidnimi porami in votlinami.	Plovec, lehnjak, travertin

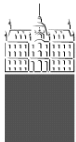


5. DOLOČANJE ZRNAVOSTI AGREGATA S SEJANJEM (SIST EN 933-1)

frakcija (mm)	sito (mm)	ostanek na situ		presejek skozi sito (%)	teža frakcije (g)	delež frakcije (%)
		(g)	(%)			
16/32	16.0					
8/16						
4/8	8.0					
2/4	4.0					
1/2	2.0					
0.5/1	1.0					
0.25/0.5	0.5					
0.125/0.25	0.25					
0/0.125	0.125					
	ostanek					
			100%			100%

Sejanje je najstarejši način določanja velikosti delcev. Sejalne površine so mreže z odprtinami določene velikosti. Delci, ki sestavljajo vzorec, se med sejanjem razvrstijo (ostanejo) na posameznih sitih. Za ustrezno razvrstitev delcev moramo zagotoviti transport delcev po sejalni površini, kar dosežemo z gibanjem sita (vibriranjem), in dovolj dolg čas sejanja.

Izbira sistema sit, v katerem je najvišje sito z največjo odprtino, najnižje pa sito z najmanjšo odprtino, je odvisna od narave vzorca in zahtevane natančnosti pri določitvi zrnave sestave agregata. Standardna sita imajo kvadratne odprtine, njihova velikost pa je določena z dolžino stranice odprtine. Preskusni vzorec dobimo iz laboratorijskega vzorca z eno od metod zmanjševanja vzorca. Najmanjša masa preskusnega vzorca je odvisna od največjega zrna agregata in je za zrno $D=32$ mm 10 kg, za $D=16$ mm 2,6 kg, za $D=8$ mm 0,6 kg in za $D \leq 4$ mm 0,2 kg. Vzorec agregata, ki se seje, mora biti suh.



Preskusni vzorec vsujemo na največje sito sistema sit in začnemo z vibriranjem. Po določenem času odstranimo največje sito in material, ki je ostal na njem še ročno presejemo. Pri tem uporabimo ustrezen pladenj, v katerem se nabira presejan material. Material s pladnja vsujemo na naslednje (manjše) sito in postopek ponovimo. Postopek ponovimo za vsako od sit v sistemu sit. Sejanje na posameznem situ je končano, ko se v eni minuti sejanja masa agregata na situ ne zmanjša za več kot 1%.

Definicije:

Separirani naravni agregat - material dobljen z ločitvijo (razdelitvijo) naravnega agregata na frakcije.

Lomljeni separirani agregat - material dobljen z drobljenjem naravnega kamna ali agregata in razdeljen na frakcije.

Mešani separirani agregat - mešanica naravnega separiranega in lomljenega separiranega agregata.

Nazivna velikost frakcije, zgornja in spodnja - velikost odprtin standardnih laboratorijskih sit med katerimi se nahajajo zrna frakcije agregata.

Frakcija agregata - mešanica zrn omejena s spodnjo nazivno velikostjo (d) in zgornjo nazivno velikostjo (D) zrna.

Skupna sestava agregata za beton - mešanica več frakcij agregata.

Največje zrno - velikost odprtine standardnega sita, ki prepušča vsa zrna agregata.

Nadmerna zrna - zrna frakcije agregata, ki ostanejo na situ odprtine zgornje nazivne velikosti (D) frakcije zrna.

Podmerna zrna - zrna frakcije agregata, ki grejo skozi sito odprtine spodnje nazivne velikosti (d) frakcije zrna.

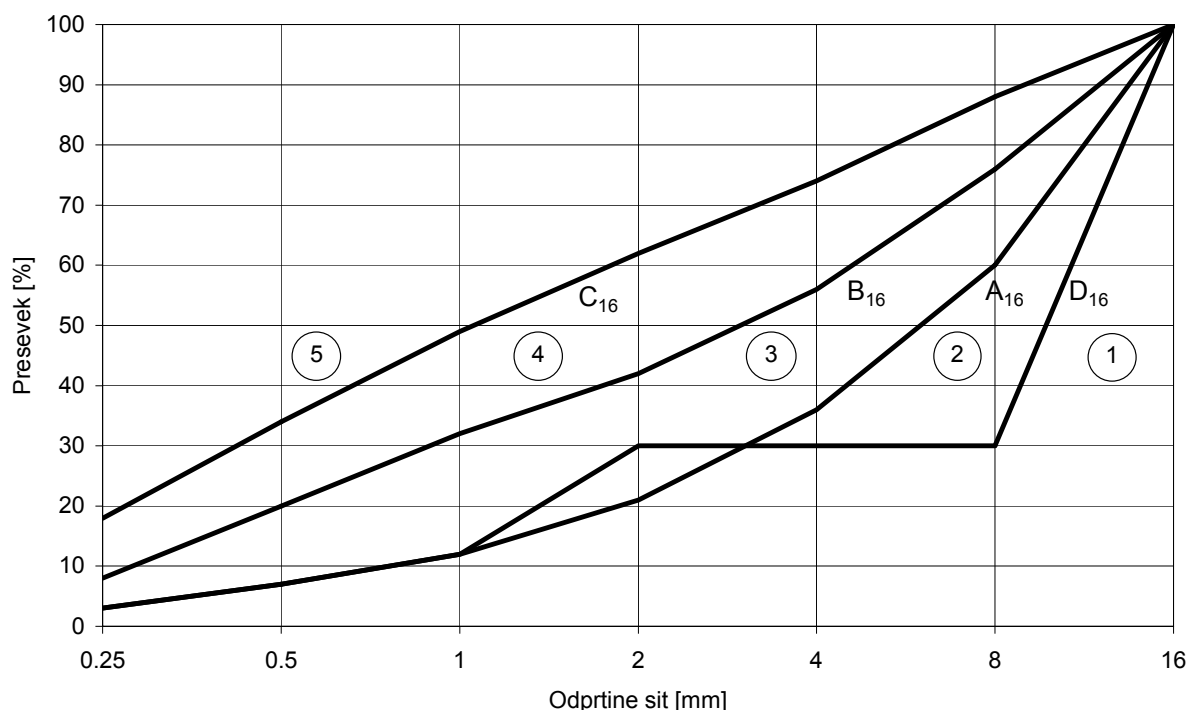
Droben agregat - zrna agregata, ki grejo skozi standardno laboratorijsko sito s kvadratnimi odprtinami 4 mm.

Grob agregat - zrna agregata ki ostanejo na standardnem laboratorijskem situ s kvadratnimi odprtinami 4 mm.

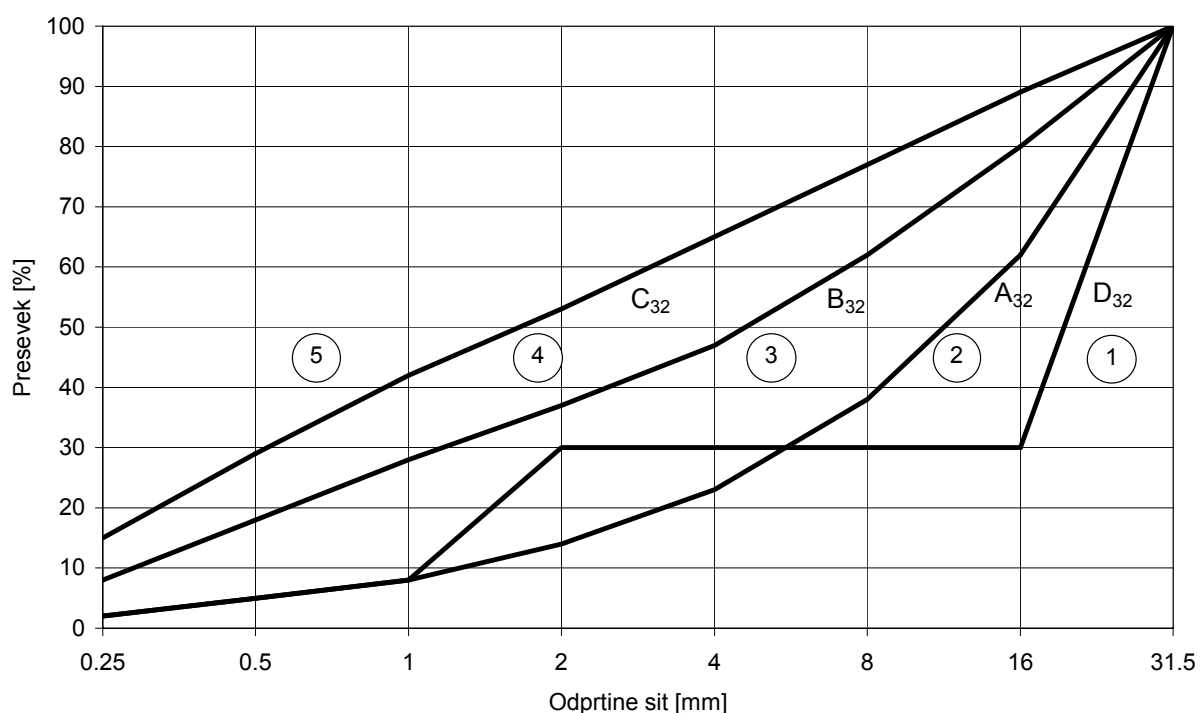
Polnilni agregat (kamena moka) – delci, ki gredo skozi sito 0,063 mm.



5.1 PRIPOROČENE MEJNE KRIVULJE ZRNAVOSTI ZA MEŠANICO AGREGATA 0/16



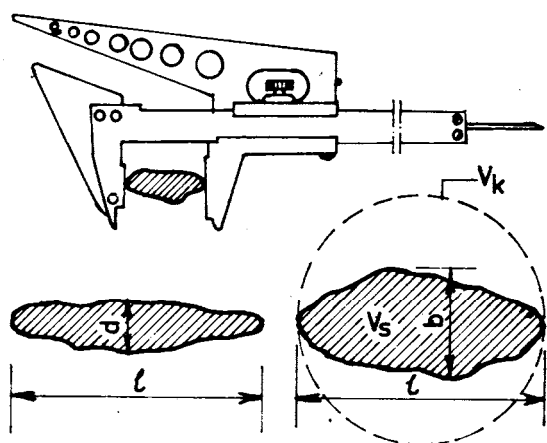
5.2 PRIPOROČENE MEJNE KRIVULJE ZRNAVOSTI ZA MEŠANICO AGREGATA 0/32



6. DOLOČANJE OBLIKE ZRN AGREGATA – MODUL OBLIKE (SIST EN 933-4)

Zrna kamnitega agregata razvrstimo na zrna ugodne (kockaste) in neugodne (nekockaste) oblike s pomočjo kljunastega merila. Zrna ugodne oblike so zrna, pri katerih je razmerje med največjo in najmanjšo dimenzijo manjše od 3 : 1, ostalo so zrna neugodne oblike. (Metoda je primerna le za zrna večja od 4 mm in se uporablja do velikosti zrna 63 mm.)

Z eno od metod zmanjševanja vzorca izločimo iz frakcije kamnitega agregata vzorec z maso najmanj 45 kg za D=63 mm, 6 kg za D=32 mm, 1 kg za D=16 mm ali 0,1 kg za D=8 mm (za vajo bomo izmerili le 20 zrn). Vzorec operemo in osušimo do stalne mase pri temperaturi $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$. Nato vzorec ohladimo in pri vsakem zrnju izmerimo njegovo največjo dimenzijo l in njegovo najmanjšo dimenzijo d . Določimo maso zrn neugodne oblike in maso zrn ugodne oblike.



ugodna oblika: $l:d \leq 3:1$

neugodna oblika: $l:d > 3:1$

Modul oblike (SI) v % izračunamo s pomočjo izraza:

$$SI = \frac{M_1}{M_1 + M_2} \times 100$$

Kjer je:

M_1 - masa zrn neugodne oblike v gramih

M_2 - masa zrn ugodne oblike v gramih.

Slika 4:

Preglednica 3:

Št. zrna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l										
d										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
l										
d										
$M_1 =$				$M_2 =$				$SI =$		

7. PROSTORNINSKA MASA IN DELEŽ VOTLIN V NASUTEM STANJU (SIST EN 1097-3)

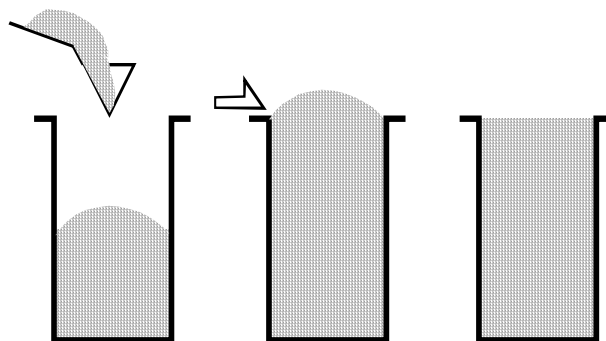
Princip metode: Maso suhega agregata, ki zapolnjuje predpisano posodo, določimo s tehtanjem in izračunamo ustrezno prostorninsko maso. Delež votlin izračunamo iz prostorninske mase agregata v nasutem stanju in prostorninske mase agregatnih zrn.

Postopek: Iz skupnega vzorca dobimo z eno od metod zmanjševanja vzorca tri laboratorijske vzorce. Agregat posušimo do stalne mase v sušilnici pri temperaturi $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$. Masa posameznega vzorca naj bo med 120% in 150% mase potrebne za zapolnitev posode. Posoda je v obliki cilindra iz nerjaveče kovine. Razmerje med notranjim premerom posode in notranjo višino naj bo med 0,5 in 0,8. Najmanjša prostornina posode je odvisna od največjega zrna agregata (preglednica 4). Posoda mora biti znotraj gladka in iz dovolj debele pločevine, da zadrži predpisano obliko med uporabo.

Najprej tehtamo maso prazne, suhe in čiste posode (m_1). Nato položimo posodo na horizontalno površino in jo prenapolnimo z agregatom. Pri tem skrbimo, da ne pride do tresenja posode in zbijanja agregata. Za polnjenje posode z agregatom uporabimo ustrezno lopatnico. Rob lopatnice ne sme biti nikoli več kot 50 mm nad robom posode. Ko je posoda prenapolnjena, odstranimo odvečni agregat z eno potezo s pomočjo kovinskega ravnila tako, da je površina agregata poravnana z zgornjim robom posode (slika 5). Posodo z vzorcem tehtamo (m_2).

Preglednica 4:

Velikost največjega zrna agregata (mm)	Prostornina v (dm^3)
do 4	1
do 16	5
do 31,5	10
do 63	20



Slika 5:

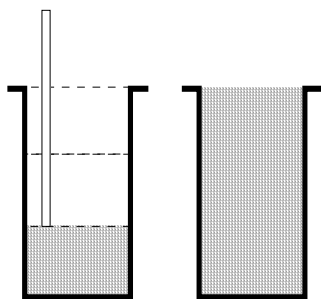
Prostorninsko maso agregata v nasutem stanju dobimo s pomočjo izraza:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \text{ kjer je } V - \text{prostornina posode.}$$

Določimo jo za vse tri vzorce in kot rezultat podamo povprečno vrednost.

7.1 PROSTORNINSKA MASA AGREGATA V ZBITEM STANJU

Prostorninska masa agregata v zbitem stanju nam omogoča, da ocenimo največjo možno prostornino preskušane agregata v betonu. Metode zbijanja agregata v posodi znane prostornine so različne: zbijanje lahko poteka ročno (s pomočjo standardne jeklene palice) ali na vibracijski mizi. Dobljen podatek o prostorninski masi agregata v zbitem stanju se uporablja na primer pri določenih postopkih projektiranja betonskih mešanic s posebnimi lastnostmi. V nadaljevanju je opisan postopek ročnega zbijanja, ki je bil standardiziran v bivšem slovenskem standardu (JUS-u).



Slika 6:

Posodo z obliko in dimenzijami iz točke 5 napolnimo z agregatom do 1/3 višine. To količino agregata zbijemo s 25. udarci z jekleno palico za zbijanje premera 1,6 cm in dolžine 60 cm, ki je na vrhu zaobljena. Potem z dodajanjem agregata napolnimo posodo do 2/3 višine in ponovno zbijemo material s 25. udarci tako, da palica prodira skozi agregat do prvega sloja. Na koncu posodo prenapolnimo, agregat zbijemo s 25. udarci in odstranimo odvečni agregat s pomočjo kovinskega ravnila. Stehemo maso agregata v zbitem stanju (m_2'). Prostorninsko maso agregata v zbitem stanju izračunamo s

pomočjo izraza: $\rho_b' = \frac{m_2' - m_1}{V}$ (kg/dm³)

7.2 DELEŽ VOTLIN V AGREGATU

Delež votlin je prostorninski delež votlin v posodi. Za agregat v nasutem stanju ga izračunamo s pomočjo izraza:

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p} \cdot 100,$$

za agregat v zbitem stanju pa s pomočjo izraza:

$$v' = \frac{\rho_p - \rho_b'}{\rho_p} \cdot 100,$$

kjer je ρ_p prostorninska masa zrn suhega agregata določena v skladu s SIST EN 1097-6.

Rezultati preiskave:

Prostornina posode= _____ dm³ Prostorninska masa zrn= _____ kg/dm³

Frakcija (mm)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	ρ_b (kg/dm ³)	v (%)
		m_2' (kg)	ρ_b' (kg/dm ³)	v' (%)



8. DOLOČANJE VLAŽNOSTI AGREGATA

8.1 DOLOČANJE VODE S SUŠENJEM V PREZRAČEVANEM SUŠILNIKU (SIST EN 1097-5)

Metoda omogoča določanje količine celotne proste vode v preskušanem vzorcu agregata. Voda se lahko nahaja na površini agregatnih zrn ali v dostopnih porah znotraj agregata. Vzorec agregata najprej stehtamo, potem pa ga sušimo v prezračevanem sušilniku pri temperaturi $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ do stalne mase. V vseh fazah rokovanja in priprave agregata pred začetkom preskusa je potrebno laboratorijski vzorec in iz njega izhajajoče preskusne vzorce zaščititi pred izgubo ali povečanjem vode v agregatu.

Količina vode v agregatu se določi kot razlika mas vlažnega in suhega agregata izražena v odstotkih glede na maso suhega agregata.

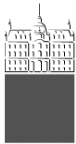
Razdelitev laboratorijskega vzorca na preskusne vzorce poteka s pomočjo ene od metod zmanjševanja vzorca agregata. Najmanjša masa preskusnega vzorca je odvisna od zgornje nazivne velikosti frakcije agregata (D), ki se preskuša. Če je $D \geq 1,0$ mm je najmanjša masa preskusnega vzorca (v kilogramih) $0,2D$ (velikost D v mm), če pa je $D < 1,0$ mm pa je najmanjša masa $0,2$ kg.

Rezultati preiskav:

Frakcija preskušanega agregata:	
Najmanjša masa preskusnega vzorca:	
Masa pladnja (M_2) v gramih:	
Masa vlažnega vzorca s pladnjem ($M_1 + M_2$) v gramih:	
Masa vlažnega vzorca (M_1) v gramih:	
Masa suhega vzorca s pladnjem ($M_3 + M_2$) v gramih:	
Masa suhega vzorca (M_3) v gramih:	
Delež vode v agregata (w) v %	

Izraz za izračun deleža vode v agregatu:

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \cdot 100$$



9. DOLOČANJE PROSTORNINSKE MASE ZRN IN VPIJANJA VODE (SIST EN 1097-6)

9.1 DEFINICIJE

Prostorninska masa zrn v sušilnici sušenega agregata – razmerje med maso vzorca agregata sušenega v sušilnici in prostornino, ki jo zavzame agregat v vodi, vključno z zaprtimi (notranjimi) porami in odprtimi porami (odprte pore so pore, v katere lahko prodre voda).

Navidezna prostorninska masa zrn – razmerje med maso vzorca agregata sušenega v sušilnici in prostornino, ki jo zavzame agregat v vodi, vključno z zaprtimi porami in brez odprtih por.

Prostorninska masa zrn v z vodo zasičenem površinsko suhem stanju – razmerje med maso vzorca agregata skupaj z maso vode v odprtih porah in prostornino, ki jo zavzame agregat v vodi, vključno z zaprtimi in odprtimi porami.

Vpijanje vode – povečanje mase vzorca agregata sušenega v sušilnici zaradi vstopa vode v odprte pore.

9.2 PRINCIP

Prostorninska masa zrn agregata je razmerje med njihovo maso in prostornino. Maso določimo s tehtanjem preskusnega vzorca v z vodo zasičenem površinsko suhem stanju in v suhem stanju po sušenju v sušilnici. Prostornino določimo s pomočjo piknometra ali hidrostatične tehtnice. Za določanje prostornine vzorca drobnih frakcij uporabimo metodo piknometra, za grobe frakcije pa metodo hidrostatične tehtnice.

9.3 OPREMA ZA PREISKAVO Z METODO PIKNOMETRA

9.3.1 Splošna oprema

- sušilnica, ki omogoča vzdrževanje temperature $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- tehtnica z natančnostjo merjenja 0,1% glede na maso preskusnega vzorca
- vodna kopel, ki omogoča vzdrževanje temperature $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$
- termometer z natančnostjo merjenja $0,1^\circ\text{C}$
- sita z odprtinami 0,063 mm, 4 mm, 31,5 mm in 63 mm
- pladnji primerni za uporabo v sušilnici
- suhe krpe z visoko sposobnostjo absorbiranja vode
- štoparica

9.3.2 Posebna oprema za metodo hidrostatične tehtnice

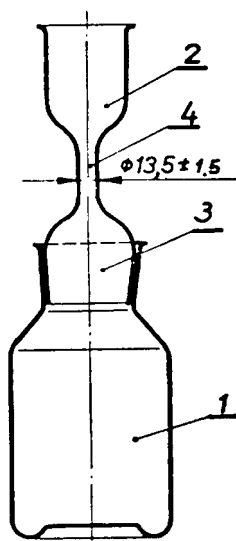
- košara iz žičnate mreže ali perforirana posoda ustrezne velikosti, ki jo lahko obesimo na tehtnico
- vodotesna posoda z vodo temperature $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$, v katero lahko košaro prosto potopimo tako, da je najmanjša razdalja med košaro in stranicami posode 50 mm

9.3.3 Posebna oprema za metodo s piknometrom za zrna med 4 mm in 31,5 mm

- piknometer sestavljen iz steklenice s prostornino med 1000 ml in 5000 ml (na 0,5 ml natančen) – slika 7

9.3.4 Posebna oprema za metodo s piknometrom za zrna med 0,063 mm in 4 mm

- piknometer sestavljen iz steklenice s prostornino med 500 ml in 5000 ml (na 0,5 ml natančen) – slika 7
- kovinski kalup v obliki prisekanega stožca s premerom (40 ± 3) mm na vrhu in (90 ± 3) mm na dnu, višine (75 ± 3) mm in najmanjšo debelino pločevine 0,8 mm ter z odprtim vrhom in dnom
- kovinska palica za nabijanje, mase (340 ± 15) g in krožnega prereza s premerom (25 ± 3) mm
- plitev pladenj iz materiala, ki ne vpija vode ter ima ravno dno površine ne manj kot $0,1 \text{ m}^2$ in stranice višine manj kot 50 mm.
- lijak
- izvor toplega zraka



Slika 7: Primer piknometra

Na sliki je:

- 1 – spodnji del piknometra
- 2 – nastavek
- 3 – brušeni del
- 4 – oznaka kalibracije

9.4 PREISKAVA Z METODO HIDROSTATIČNE TEHTNICE

Metoda s hidrostatično tehtnico se uporablja pri agregatih z zrnii med 31,5 mm in 63 mm. Masa vzorca je odvisna od največjega zrna agregata D in ne sme biti manjša od 15 kg za $D=63$ mm in ne manjša od 7 kg za $D=45$ mm.

Preskusni vzorec vsujemo v košaro in ga potopimo v posodo z vodo temperature $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ tako, da je višina vode nad vrhom košare vsaj 50 mm in s postopkom opisanim v standardu odstranimo iz vzorca zajet zrak. Agregat naj ostane potopljen v vodi $(24 \pm 0,5)$ ur. Po preteku predpisanega časa potopljeno košaro z agregatom najprej stresemo in ko se



voda umiri stehtamo (M_2) ter izmerimo in zapišemo temperaturo vode. Nato dvignemo košaro z agregatom iz vode in pustimo, da se voda nekaj minut odceja s površine zrn. Delno osušen agregat vsujemo na suho krpo, prazno košaro pa vrnemo v posodo z vodo in določimo maso prazne košare v vodi (M_3). Z brisanjem agregata na krpi poskušamo odstraniti večino površinske vode. Potem ga premestimo na drugo suho krpo in pustimo da se suši pri pogojih okolja, dokler viden sloj vode v celoti ni odstranjen z agregatnih zrn. Agregat v notranje vlažnem površinsko suhem stanju stehtamo (M_1).

Agregat premestimo v pladenj in ga sušimo v sušilnici pri temperaturi (110 ± 5)°C do stalne mase (M_4).

Iz tako dobljenih mas izračunamo naslednje prostorninske mase agregatnih zrn:

Navidezna prostorninska masa zrn

$$\rho_a = \rho_w \cdot \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

Prostorninska masa zrn v sušilnici sušenega agregata

$$\rho_{rd} = \rho_w \cdot \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Prostorninska masa zrn v z vodo zasičenem površinsko suhem stanju

$$\rho_{ssd} = \rho_w \cdot \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

ρ_w – gostota vode pri temperaturi izmerjeni pri določanju mase M_2 , v kg/dm³

Iz dobljenih podatkov izračunamo še vpijanje vode (kot delež mase suhega agregata) po 24 urnem odležavanju agregata v vodi (WA_{24}):

$$WA_{24} = \frac{100 \cdot (M_1 - M_4)}{M_4}$$

Preglednica 5: Odvisnost gostote vode od temperature

Temperatura °C	ρ_w [g/cm ³]	Temperatura °C	ρ_w [g/cm ³]
15	0,9991	21	0,9980
16	0,9989	22	0,9978
17	0,9988	23	0,9975
18	0,9986	24	0,9973
19	0,9984	25	0,9970
20	0,9982	26	0,9968



Rezultati preiskave:

Frakcija preskušane agregata:	
Najmanjša masa preskusnega vzorca:	
Masa košare z vzorcem agregata v vodi (M_2):	
Masa košare v vodi (M_3):	
Masa vzorca agregata v notranje zasičenem površinsko suhem stanju (M_1):	
Masa vzorca agregata po sušenju v sušilnici (M_4):	
Navidezna prostorninska masa zrn ρ_a :	
Prostorninska masa zrn v sušilnici sušenega agregata ρ_{rd} :	
Prostorninska masa zrn v z vodo zasičenem površinsko suhem stanju ρ_{ssd} :	
Vpijanje vode WA_{24} v %	

9.5 PREISKAVA Z METODO S PIKNOMETROM ZA ZRNA MED 4 mm in 31,5 mm

Najmanjša masa vzorca je odvisna od največjega zrna agregata D in je 5 kg za $D=31,5$ mm, 2 kg za $D=16$ mm in 1 kg za $D=8$ mm.

Pripravljen preskusni vzorec vsujemo v piknometar z vodo temperature $(22\pm 3)^\circ\text{C}$ in odstranimo zajet zrak s stresanjem in obračanjem piknometra. Potem postavimo piknometar v vodno kopel, ki vzdržuje temperaturo preskusnega vzorca $(22\pm 3)^\circ\text{C}$, za $(24\pm 0,5)$ ur. Po preteku predpisanega časa vzamemo piknometar iz vodne kopeli, ponovno odstranimo morebiten zajet zrak in dodamo vodo do oznake na piknometru. Nato osušimo zunanjo površino piknometra, izmerimo maso piknometra z vzorcem in vodo (M_2) ter izmerimo in zapišemo temperaturo vode v piknometru. Agregat iz piknometra vsujemo v ustrezno posodo/košaro, ki omogoča odtekanje vode s površine zrn. Piknometar napolnimo z vodo do oznake in izmerimo maso piknometra z vodo (M_3) ter izmerimo in zapišemo temperaturo vode v piknometru. Razlika med temperaturama vode v piknometru pri določanju mas M_2 in M_3 ne sme biti večja od 2°C . Rokovanje z vzorcem agregata v nadaljevanju preiskave, kjer določamo masi M_1 in M_4 , je enako kot v točki 9.4.

Iz tako dobljenih mas izračunamo prostorninske mase agregatnih zrn s pomočjo izrazov podanih v 9.4, pri čemer upoštevamo, da je gostota vode ρ_w enaka 1kg/dm^3 .

Rezultati preiskave:

Frakcija preskušane agregata:	
Najmanjša masa preskusnega vzorca:	
Masa piknometra z vzorcem agregata in vodo (M_2):	
Masa piknometra z vodo (M_3):	



Masa vzorca agregata v notranje zasičenem površinsko suhem stanju (M_1):	
Masa vzorca agregata po sušenju v sušilnici (M_4):	
Navidezna prostorninska masa zrn ρ_a :	
Prostorninska masa zrn v sušilnici sušenega agregata ρ_{rd} :	
Prostorninska masa zrn v z vodo zasičenem površinsko suhem stanju ρ_{ssd} :	
Vpijanje vode WA_{24} v %	

9.6 PREISKAVA Z METODO S PIKNOMETROM ZA ZRNA MED 0,063 mm in 4 mm

Najmanjša masa vzorca je 1 kg. Postopek preiskave se od postopka opisanega v točki 9.5 razlikuje le glede načina sušenja vlažnega agregata do notranje zasičenega površinsko suhega stanja.

Vzorec vlažnega agregata raztresemo na ravno površino in ga izpostavimo blagemu toku toplega zraka. Zaradi enakomernega sušenja vzorec pogosto mešamo. Postopeka sušenja in mešanja traja dokler se agregat ne približa površinsko suhemu stanju. To stanje preverjamo z metodo prostega sipanja. Drobni agregat nasujemo v kovinski kalup v obliki prisekanega stožca tako, da prosto pada z višine 5cm nad zgornjim robom kalupa. Nato površino stožčastega kupa agregata nabijamo s 25 udarci s kovinsko palico. Kalup vertikalno privzdignemo. Če vzorec še ni površinsko suh, bo kup drobnega agregata zadržal svojo obliko in sušenje s pogostim mešanjem vzorca je potrebno nadaljevati. V dovolj kratkih razmakih je potrebno s pomočjo prisekanega stožca preverjati površinsko suho stanje agregata. Agregat doseže površinsko suho stanje, če se začne kup agregata po odstranitvi kalupa sesedati. Če se kup agregata posede že pri prvem preverjanju stanja površine agregata je vzorec preveč posušen. V tem primeru vzorec navlažimo, popolnoma premešamo in pustimo, da stoji v pokriti posodi ali zaprti PVC vreči približno 30 minut. Sušenje in preiskavo s kovinskim kalupom potem ponovimo.

10. ALKALNO - AGREGATNA REAKCIJA IN VRSTE REAKTIVNIH SiO_2 V KAMNINAH

V odvisnosti od neurejenosti strukture agregata, njegove poroznosti in velikosti delcev se lahko ob prisotnosti hidroksilnih in alkalno-kovinskih ionov oblikuje alkalno-silikatni gel različne kemijske sestave. Najprej pride do depolimerizacije ali porušitve silikatne strukture agregata v betonu s strani hidroksilnih ionov, temu pa sledi adsorbcija alkalno-kovinskih ionov na površino produktov reakcije. Ko pride alkalno-silikatni gel v stik z vodo nabrekne, ker vsrka veliko količino vode zaradi ozmoze. Posledica tega je hidravlični pritisk, ki lahko vodi do ekspanzije in razpokanja omenjenega agregata, cementnega kamna, ki agregat obdaja in betona v celoti.

Pri teh preiskavah se moramo posvetovati z geologom. V preglednici so podani nekateri reaktivni minerali, kamnine in njihov pojav.

Komponenta (mineral)	Kamnina	Pojav
Opal (amorfna kremenica)	Silikatni apnenec Kremenci Kresilniki	Pogost
Silikatno steklo	Vulkanska stekla Tufi Umetno steklo	Vulkanska območja Stekleni odpadki
Kalcedon	Silikatni apnenec Peščenjaki Kresilnik	Pogost
Tridinit Kristobalit	Opalske kamenine Žgana keramika	Redek
Kremen	Kremenčevi peski Peščenjaki Graniti	Pogost toda reaktiven, ko je zelo obremenjen ali mikrokristaliziran

11. KOLORIMETRIJSKA METODA – DOLOČANJE PRISOTNOSTI HUMOZNIH DELCEV (SIST EN 1744-1, TČ. 15.1)

Humus je organska substanca ki nastane kot rezultat razpada živali ali rastlin v zemljini. Vsebnost humoznih delcev v agregatu ocenimo na podlagi barve, ki nastane zaradi reakcije med humoznimi delci in NaOH. Intenzivnost barve je odvisna od vsebnosti humoznih delcev.

Postopek

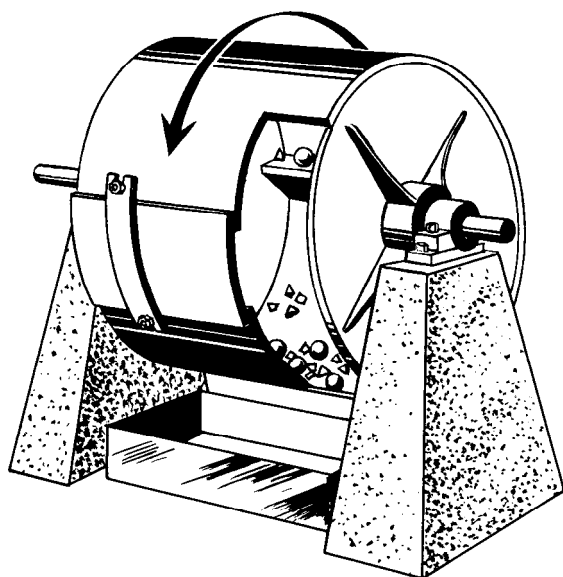
Vzorec agregata vsujemo na pladenj in ga sušimo v sušilnici pri $(55 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ do stalne mase. Nato presejemo vzorec agregata skozi sito 4 mm. Delež agregata, ki ostane na situ, zdrobimo do velikosti zrn, ki je manjša od 4 mm in ta del vzorca dodamo materialu, presejanem skozi sito 4 mm. V steklen merilni valj prostornine okrog 450 cm^3 in z zunanjim premerom okrog 70 mm nalijemo 3% raztopino natrijevega hidroksida v vodi do višine 80 mm (3% raztopino natrijevega hidroksida pripravimo tako, da raztopimo 30 g NaOH v nekaj vode, tako nastalo raztopino ohladimo na sobno temperaturo in jo razredčimo do 1 litra). Potem v merilni valj stresemo agregat do skupne višine agregata in raztopine 120 mm. Merilni valj stresamo, da izločimo zračne mehurčke. Nato ga zapremo s čepom in močno stresamo še eno minuto. Po 24 urah primerjamo barvo bistre tekočine nad agregatom s primerjalno raztopino standardne barve. V kolikor je tekočina nad agregatom temnejše barve, ima agregat precejšnjo vsebnost organskih primesi.

Rezultat preiskave:

Preiskovani vzorec: frakcija mm izvor

Vsebnost organskih primesi:

12. ODPORNOST AGREGATA PROTI DROBLJENJU – METODA LOS ANGELES (SIST EN 1097-2)



Slika 7:

Postopek za preiskavo z napravo "Los Angeles" omogoča istočasno merjenje odpornosti agregata na drobljenje zaradi udarcev in obrabo, ki je posledica medsebojnega trenja zrn agregata. Na ta način preiskujemo tako naravne kot lomljene agregate, ki se uporabljajo za izdelavo podlag in obrabnih slojev cest.

Sestavni deli naprave "Los Angeles" so:

1. Votel jeklen cilinder, ki je na obeh straneh zaprt, z notranjim premerom 711 mm in notranjo dolžino 508 mm.
2. Dve osi, ki sta pritrjeni na koncih cilindra tako, da ne prebadata stranic cilindra in omogočata vrtenje cilindra okoli svoje horizontalne osi.
3. Na cilindru je odprtina, skozi katero nasujemo vzorec agregata v cilinder. Ta odprtina se zapre s pokrovom, ki ne prepušča prahu in s svojo obliko vzdržuje kontinuiteto notranje površine cilindra.
4. Jekleni zob debeline 25 mm, ki štrli 90 mm radialno v cilinder in poteka vzdolž ene izmed tvorilk plašča po celotni dolžini valja.

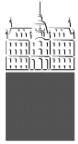
Za preiskavo potrebujemo tudi 11 jeklenih krogel premera med 45 mm in 49 mm in z maso med 400 g in 445 g, pri čemer mora skupna masa krogel znašati med 4690 g in 4860 g.

Vzorec poslan v laboratorij na preskušanje mora vsebovati vsaj 15 kg zrn velikosti med 10 mm in 14 mm. Preiskava poteka na agregatu, ki gre skozi sito 14 mm in ostane na situ 10 mm, poleg tega pa izpolnjuje tudi eno od naslednjih zahtev:

- a) presejek skozi sito 12,5 mm med 60% in 70%
- b) presejek skozi sito 11,2 mm med 30% in 40%

Laboratorijski vzorec presejemo skozi sistem sit 10 mm, 11,2 mm (ali 12,5 mm) in 14 mm, tako da dobimo frakciji 10 mm do 11,2 mm (ali 12,5 mm) in 11,2 mm (ali 12,5 mm) in 14 mm. Vsako frakcijo posebej operemo in jo posušimo v sušilnici pri $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ do stalne mase. Nato frakciji ohladimo na temperaturo okolja in ju sestavimo tako, da je izpolnjena ena od zgornjih zahtev (a ali b). Preskusni vzorec mase (5000 ± 5) g dobimo z eno od metod zmanjševanja vzorca.

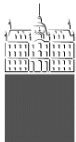
Postopek preiskave: Skupaj z vzorcem damo v cilinder tudi jeklene krogle. Cilinder zapremo in ga zarotiramo 500 krat s hitrostjo med 32 in 33 obrati v minuti. Vzorec agregata po preiskavi presejemo skozi sito 1,6 mm, pri čemer uporabimo mokri postopek sejanja. Delež agregata, ki je ostal na situ 1,6 mm posušimo pri $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ do konstantne mase.



Koeficient "Los Angeles" izračunamo s pomočjo izraza:

$$L_A = \frac{5000 - m}{50} \quad \text{kjer je:}$$

m - masa agregata na situ 1,6 mm (g).



DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL

VAJA 2 - MINERALNA (NEORGANSKA) VEZIVA IN MALTE

1. VEZIVA

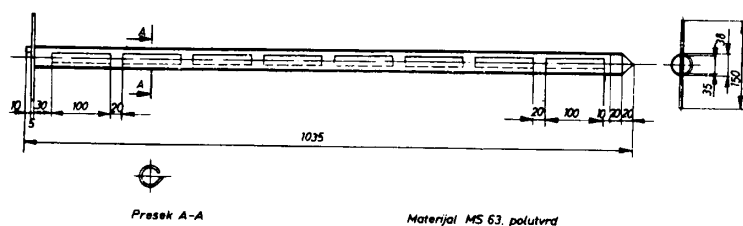
Mineralna (neorganska) veziva so materiali, ki se najbolj pogosto nahajajo v obliki finih praškov in pomešani z vodo tvorijo plastično pasto. Zanja je značilno, da po določenem časovnem intervalu otrdi (zaradi fizikalno-kemijskih procesov) in pridobi lastnosti kamna. Med procesom prehoda iz plastične paste v trden material so mineralna veziva sposobna povezati zrna peska, gramoza, drobljenca in drugih vrst agregatov.

Mineralna veziva, ki se danes uporabljajo, lahko razdelimo v tri osnovne skupine:

1. Nehidravlična (zračna) veziva, ki strjujejo samo na zraku. V to skupino spadajo mavec, apno, magnezitna veziva in vodno steklo.
2. Hidravlična veziva, ki strjujejo tako na zraku, kot v vodi. V to skupino spadata hidravlično apno in različne vrste cementov.
3. Avtoklavna veziva, ki strjujejo v avtoklavnih pogojih na podlagi t.i. avtoklavne sinteze. Avtoklavna siteza poteka v pogojih okolja zasičenega z vodno paro, oziroma poteka pri višjem pritisku in temperaturi od običajnih pogojev okolja. V to skupino veziv spadajo materiali kot so kombinacije apno-SiO₂, apno-žlindra in apno-pucolan.

1.1 ODVZEMANJE IN PRIPRAVA VZORCEV CEMENTA (SIST EN 196-7)

Standard natančno opisuje način odvzema naključnih vzorcev, njihovo homogeniziranje, rezultat katerega je povprečni vzorec in načine zmanjševanja povprečnega vzorca.



Za jemanje naključnih vzorcev cementa iz polnih vreč lahko uporabljamo posebno sondo (Slika 1), ki je sestavljena iz dveh koncentričnih kovinskih cevi, katerih odprtine se zapirajo in odpirajo z obračanjem notranje cevi.

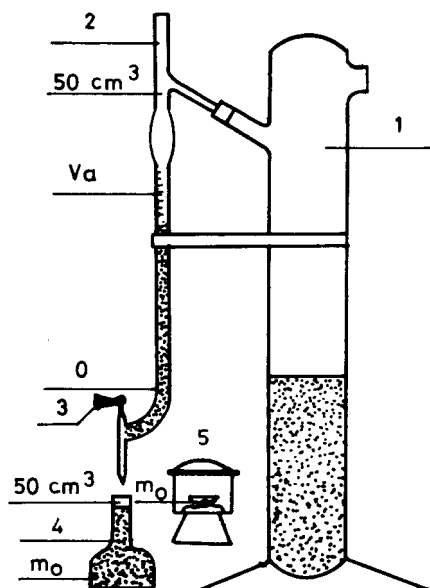
Slika 1:

Zaprto sondo potisnemo skozi ventil in diagonalno vtisnemo v vrečo. Odpremo jo z obračanjem notranje cevi in nato odprto sondo obrnemo za 360° okrog vzdolžne osi, da se napolni s cementom. Sonda se zapre z obračanjem notranje cevi. Potem jo izvlečemo in izpraznimo. Naključni vzorci se jemljejo približno v isti količini iz večih vreč, ki niso ležale na tleh ali na zunanji strani sklada vreč. Povprečni vzorec dobimo s homogeniziranjem naključnih vzorcev. Laboratorijski vzorec dobimo z zmanjševanjem povprečnega vzorca z eno izmed metod, opisanih v standardu.

1.2 PROSTORNINSKA MASA CEMENTA BREZ POR IN VOTLIN

Prostorninsko maso cementa brez por in votlin lahko določamo z dvema metodama: gravimetrijsko in volumetrijsko.

Postopek z volumetrijsko metodo: Preiskavo izvajamo s pomočjo Erdmenger-Mannovega volumometra (Slika 2). Postopek:



- ♦ Z obračanjem volumometra vlijemo iz rezervoarja (1) tekočino (petrolej) prostornine 50 cm³ v umerjeno cev - bireto (2).
- ♦ Z odvitjem pipe (3) izpustimo iz birete v piknometru (4) okoli 1/3 tekočine.
- ♦ Že stehat in v eksikatorju (5) ohlajen in hranjen vzorec cementa mase **G** pazljivo vsujemo v piknometru. S pomočjo tresenja izločimo zračne mehurčke, ki so ostali ujeti v masi vzorca.
- ♦ Nato vlijemo iz birete v piknometru tekočino do kontrolne oznake ki označuje 50 cm³.
- ♦ Količina tekočine, ki ostane po končanem postopku v bireti, predstavlja iskano prostornino **V**.

Prostorninsko maso cementa brez por in votlin izračunamo po formuli:

$$\gamma_s = \frac{G}{V} \text{ v g/cm}^3.$$

Slika 2:

Postopek z gravimetrijsko metodo: v suh piknometru mase **G** (piknometru z zamaškom) in prostornine **V** vsujemo posušeni cement količine približno enake eni četrtini prostornine piknometa in ga stehamo (masa **G**₁). Potem nalijemo na cement petrolej, približno do polovice prostornine piknometa, tako da je cement popolnoma pokrit s tekočino. Piknometru s cementom in petrolejem vstavimo v eksikator s pipo, ki ga priklopimo na vakuumsko sesalko na vodni curek. Ko iz tekočine prenehajo izhajati zračni mehurčki, dolijemo v piknometru petrolej do kontrolne črte na piknometru, ga zamašimo in stehamo (masa **G**₂). Prostorninsko maso cementa brez por in votlin izračunamo s pomočjo izraza:

$$\gamma_s = \frac{G_1 - G}{V - \frac{G_2 - G_1}{\gamma_t}}$$

kjer sta:

γ_s - prostorninska masa cementa brez por in votlin v g/cm³

γ_t - gostota petroleja v g/cm³.

Na podoben način določamo tudi prostorninsko maso brez por in votlin za apno, mavec, kamene moke in ostale praškaste materiale.

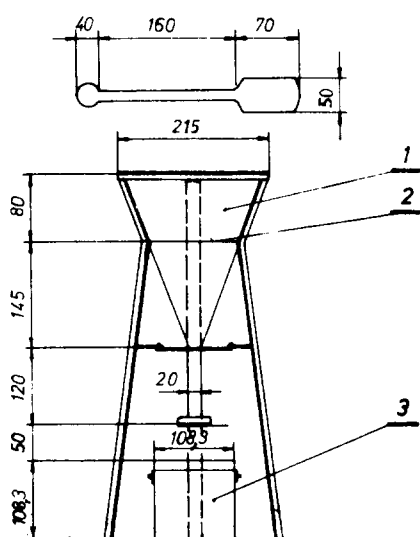


Rezultati preiskave:

Masa suhega piknometra G v g	
Masa piknometra s cementom G_1 v g	
Masa piknometra s cementom in petrolejem G_2 v g	
Prostornina piknometra V v cm^3	
Gostota petroleja γ_t v g/cm^3	
Prostorninska masa cementa brez por in votlin γ_s v g/cm^3	

1.3 PROSTORNINSKA MASA V RAHLO NASUTEM IN ZBITEM STANJU

Prostorninsko maso cementa v rahlo nasutem stanju določamo s pomočjo posebnega lijaka in pomožnega pribora (Slika 3). **Postopek:** vzorec cementa sipamo skozi lijak (1) v posodo (3) cilindrične oblike in prostornine $V=1 \text{ l}$ ($1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$), ki je postavljena centrično pod lijakom in predhodno stehtana (masa G).



Slika 3:

V lijak, 80 mm od zgornjega roba, vstavimo rešeto z odprtinami 2 mm. Cement, ki ga sipamo v lijak, pada na rešeto, kjer ga z leseno lopatico (4) mešamo tako da leze skozi odprtine rešeta v posodo (3). Cement sipamo toliko časa, dokler se v posodi ne formira stožec, ki s svojo osnovo nalega vzdolž robu posode. Stožec vzorca v posodi izravnamo s pomočjo kovinskega ravnila (pod kotom 45° glede na horizontalno ravnino) in tako napolnjeno posodo, brez dodatnih pretresanj, stehtamo (masa G_1). Prostorninsko maso vzorca v rahlo nasutem stanju, torej s porami in votlinami, računamo po formuli: $\gamma_{vn} = \frac{G_1 - G}{V}$.

Rezultati preiskave:

Masa prazne posode G v g	
Masa posode s cementom v rahlo nasutem stanju G_1 v g	
Prostornina posode V v cm^3	
Prostorninska masa cementa v rahlo nasutem stanju γ_{vn} v g/cm^3	

Prostorninsko maso cementa v zbitem stanju določimo z istim postopkom polnjenja posode, vendar v tem primeru na že napolnjeno posodo (s formiranim stožcem) vstavimo nastavek in tako pripravljeno posodo postavimo na stresalno mizico. Stresalna mizica mora imeti višino pada 1 cm in hitrost 120 padcev v minuti. V času, ko stresamo posodo,



od časa do časa sipamo cement skozi lijak v posodo in sicer tako, da je površina cementa vedno nad zgornjim robom posode. Ko ugotovimo, da se je cement v posodi nehal posedati, odstranimo nastavek in s kovinskim ravnilom odstranimo odvečni cement. Posodo s cementom stehtamo (masa G_2'). Potem skozi lijak spet sipamo cement dokler se ne formira stožec. Tako napolnjeno posodo postavimo na stresalno mizico in stresemo še trikrat. Nato s kovinskim ravnilom odstranimo višek cementa in spet stehtamo tako napolnjeno posodo (masa G_2'').

Postopek ponavljamo tako dolgo, da je razlika ΔG ($\Delta G = |G_2'' - G_2'|$) manjša od 0,01 kg. Prostorninsko maso cementa v zbitem stanju izračunamo po formuli: $\gamma_{vz} = \frac{G_2 - G}{V}$.

Rezultati preiskave:

Masa prazne posode G v g	
Masa posode s cementom v zbitem stanju G_2 v g	
Prostornina posode V v cm^3	
Prostorninska masa cementa v zbitem stanju γ_{vz} v g/cm^3	

Prostorninsko maso apna in mavca v razsutem in zbitem stanju določamo na podoben način.

1.4 FINOST MLETJA PRI ZRAČNIH VEZIVIH

Finost mletja je eden od pogojev kvalitete apna, ki mora biti obvezno izpolnjen. V primeru mletega apna se določa s presejevanjem vzorca mase 50 g skozi sita z odprtini 0,6 in 0,09 mm. Hitrost sejanja mora znašati okrog 120 stresanj v minuti do skupnega števila 5000 stresanj. Kot rezultat navedemo ostanke na obeh uporabljenih sitih v odstotkih glede na celotno maso vzorca. Preiskava se vedno vrši na dveh vzorcih. Kot merodajna vrednost se vzame povprečje obeh preiskav.

Pri hidratiziranem (gašenem) apnu uporabljamo ista sita, s tem da vzorec na situ peremo s curkom vode. Izpiranje traja toliko časa, da voda ki prehaja skozi sita postane popolnoma bistra, vendar pa ne dlje kot 30 min. Ostanke na sitih sušimo do konstantne mase na temperaturi med 100 in 120°C. Potem jih stehtamo in rezultat prikažemo na isti način kot pri mletem apnu.

Preglednica 1:

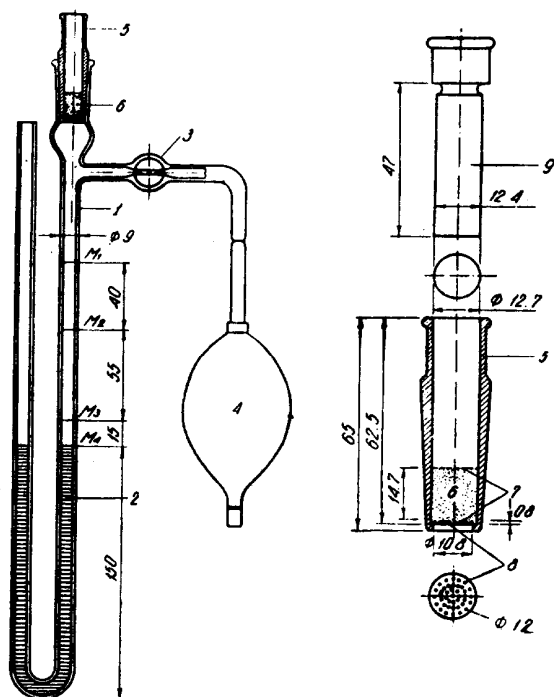
Vrsta mavca	Ostanek na situ 0,75 mm	Ostanek na situ 0,2 mm
mavec za malte	0%	30%
štukturni-mavec	0%	20%
modelarski mavec	0%	10%
estrih-mavec	0%	10%
alabaster-mavec	0%	5%

Finost mletja mavca vpliva na proces vezanja in strjevanja. Za definiranje finosti mletja pri mavcu se običajno uporablja metoda presejevanja. Vzorec mase 50 g, ki smo ga posušili na temperaturi 35-40°C do stalne mase, presejemo na sitih velikosti odprtin 0,75 in 0,2 mm. Za oceno finosti mletja je merodajen ostanek na situ 0,2 mm, pri čemer pa na situ 0,75 mm ne sme biti ostanka. Največji % mavca, ki lahko ostane na situ 0,2 mm je odvisen od namena uporabe mavca (preglednica 1).

1.5 DOLOČANJE SPECIFIČNE POVRŠINE CEMENTA Z BLAINE-JEVO METODO (SIST EN 196-6 tč. 4)

Finost cementa lahko ocenimo s pomočjo njegove specifične površine. Specifična površina je razvita površina zrn v enem gramu fino praškastega materiala. Najpogosteje jo določamo s pomočjo Blainovega permeabilimetra (Slika 4), ki je osnovan na principu da odpor, ki ga nudi en sloj praškastega materiala prehodu zraka raste s finostjo mletja. Pri tej metodi merimo čas, ki je potreben za prehod določene količine zraka skozi vzorec materiala, ki je zbit po predpisanem postopku in pod določenimi pogoji. Na ta način lahko določimo tudi specifično površino drugih praškastih materialov, kot so pucolani, žlindre itd.

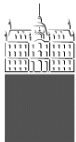
Aparatura: Cev manometra (1) je izdelana iz stekla v obliki črke "U". Vrh enega kraka cevi je izdelan v obliki lijaka. Vanj vstavimo celico (5) z vzorcem materiala (6) in sicer tako, da celica hermetično zapira lijak.



Na istem kraku cevi so vrezane umerjene kontrolne oznake M_1 , M_2 , M_3 in M_4 . Pod razširjenim delom cevi pa se nahaja steklena pipa (3), ki omogoča zapiranje oziroma odpiranje celega sistema. "U" cev je naponjena z inertno tekočino (2), ki mora biti težko izparljiva, nehigroskopična in nizko viskozna (petrolej, dibutilftalat, lahka mineralna olja itd).

Pred vsakim preizkušanjem specifične površine je potrebno poznati prostorninsko maso praškastega materiala brez por in votlin (vaja 2, točka 1.2) in prostornino vzorca v kovinski celici po končanem predpisanem postopku zbijanja. Prostornina epruvete pa je že znana in znaša $V = 1,9 \text{ cm}^3$.

Slika 4:



Postopek:

Specifično površino cementa določamo po metodi stalne poroznosti vzorca enake $e=0,5$. Poroznost vzorca $e=0,5$ dobimo, če je masa vzorca enaka:

$$m_1 = 0,5 \cdot \rho \cdot V [g], \text{ kjer je}$$

ρ - prostorninska masa cementa brez por in votlin

V – prostornina epruvete enaka $1,9 \text{ cm}^3$.

Vzorec cementa, ki mora biti polpolnoma suh, vsujemo v celico (5) v kateri je čez perforirano ploščico (8) položen filter papir (7). Ko celico do vrha napolnimo z materialom in zgornjo površino materiala v celici pazljivo zravnamo, položimo filter-papir tudi na vrh materiala in pričnemo z zbijanjem vzorca s pomočjo bata (9), ki ga počasi potiskamo navzdol. Zbijanje vzorca je končano takrat, ko zgornji obod bata naleže na zgornji obod celice. Po končanem zbijanju bat počasi potegnemo iz celice in celico, namazano z vazelinom, vstavimo v lijak aparature. Potem odpremo pipo in s pomočjo zračne črpalke (4) počasi vsesamo tekočino v manometarski cevi do oznake M_1 . Pipo nato zapremo. Nepropustnost pipe kontroliramo na ta način, da ustje celice zamašimo s prstom in opazujemo, ali tekočina v manometru miruje. Nato ustje celice odmašimo in pustimo, da tekočina počasi upade do kontrolne oznake M_2 . V trenutku, ko pade nivo tekočine v manometru do točke M_2 vklopimo štoparico in merimo čas (t), v katerem se bo tekočina v manometru spustila od kontrolne oznake M_2 do kontrolne oznake M_3 . Dobljen čas zapišemo na 0,5 s natančno. Istočasno odčitamo temperaturo okolja preskušanja, ki jo potrebujemo za definiranje viskoznosti zraka. Rezultat preskušanja ugotavljamo iz povprečja treh meritev.

Poroznost materiala računamo po formuli: $e = 1 - \frac{m_1}{\rho \cdot V}$

Specifično površino računamo po formuli: $S = \frac{K}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1 \cdot \eta}}$, kjer so

K - konstanta aparata = _____,

e - poroznost zbitega cementa,

t - čas v sekundah,

ρ - prostorninska masa cementa brez por in votlin (g/cm^3),

m_1 - že določena masa cementa (g),

η - viskoznost zraka pri temperaturi preskušanja v ($\text{Pa} \cdot \text{s}$) (preglednica 2) in

V - prostornina epruvete = $1,9 \text{ cm}^3$.



Preglednica 2:

T (°C)	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\eta \cdot 10^8$ (Pa·s)	1800	1805	1810	1815	1819	1824	1829	1834	1839

Rezultati preiskave:

Vrsta cementa					
Prostorninska masa in masa	$\gamma_s =$	g/cm ³		m =	g
Temperatura in viskoznost zraka	T =		°C		$\eta =$
Poroznost	p= (%)				
Specifična površina	S = cm ² /g				

1.6 DOLOČANJE VLAGE IN določanje ŽARILNE IZGUBE
(SIST EN 196-6 tč. 7)

Določanje vlažnosti in določanje žarilne izgube sta preiskavi, ki spadata med metode kemijskega preskušanja cementov.

Določanje vlažnosti cementa: 2 g vzorca vsujemo v stekleno posodo znane mase z brušenim zamaškom. Odprto posodo z vzorcem in zamašek postavimo v sušilnico in sušimo na 105-110°C do konstantne mase vzorca. Po tem posodico z vzorcem in zamašek ohladimo v eksikatorju in stehtamo. Količina vlage v procentih se izračuna s pomočjo formule:

$$\% \text{ vlage} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \text{ kjer sta: } m_1 - \text{masa vzorca pred sušenjem (g) in } m_2 - \text{masa vzorca po sušenju (g).}$$

Določanje izgube z žarjenjem: 1 g vzorca damo v platinasto ali keramično posodo, pokrijemo s pokrovom in vse skupaj postavimo v električno peč s temperaturo zraka (975±25)°C. Po 5. minutah odstranimo pokrov in pustimo vzorec v peči še nadaljnjih 10 minut. Nato vzorec ohladimo v eksikatorju in stehtamo. Žarilno izgubo izračunamo s pomočjo izraza:

$$\% \text{ žarilna izguba} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \text{ kjer sta: } m_1 - \text{masa vzorca pred žarjenjem (g) in } m_2 - \text{masa vzorca po žarjenju (g).}$$

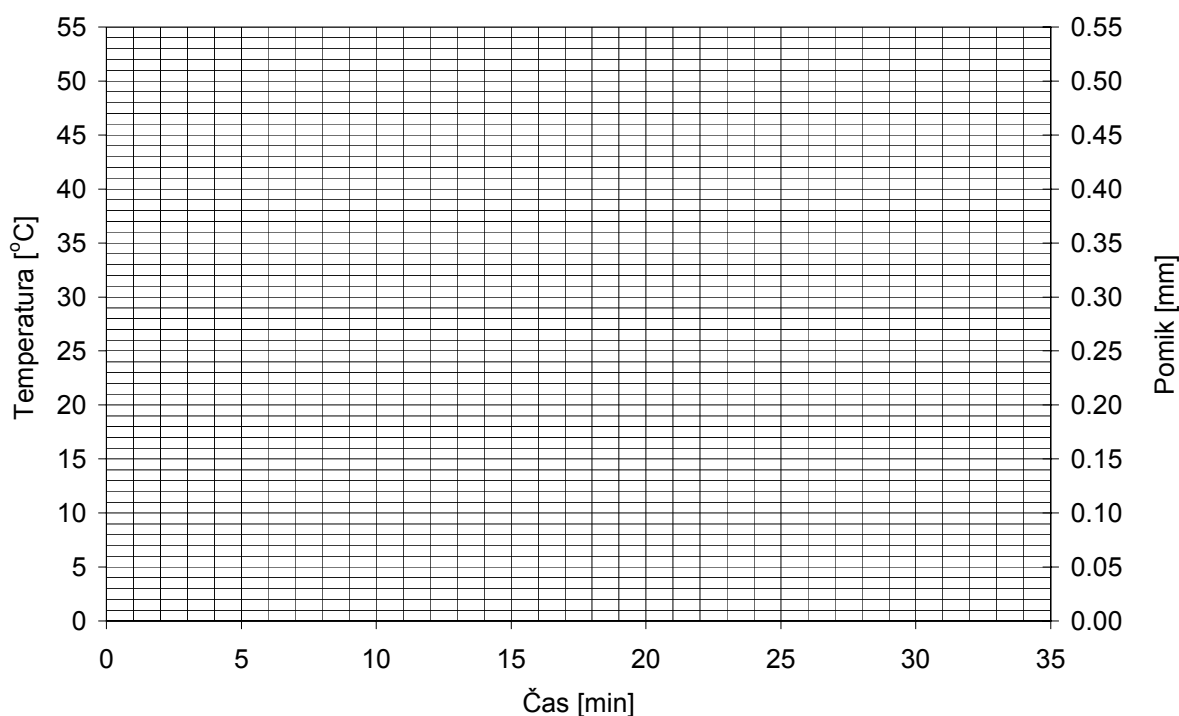
Žarilno izgubo določamo tudi pri apnu.



1.7 VEZANJE IN STRJEVANJE MAVCA

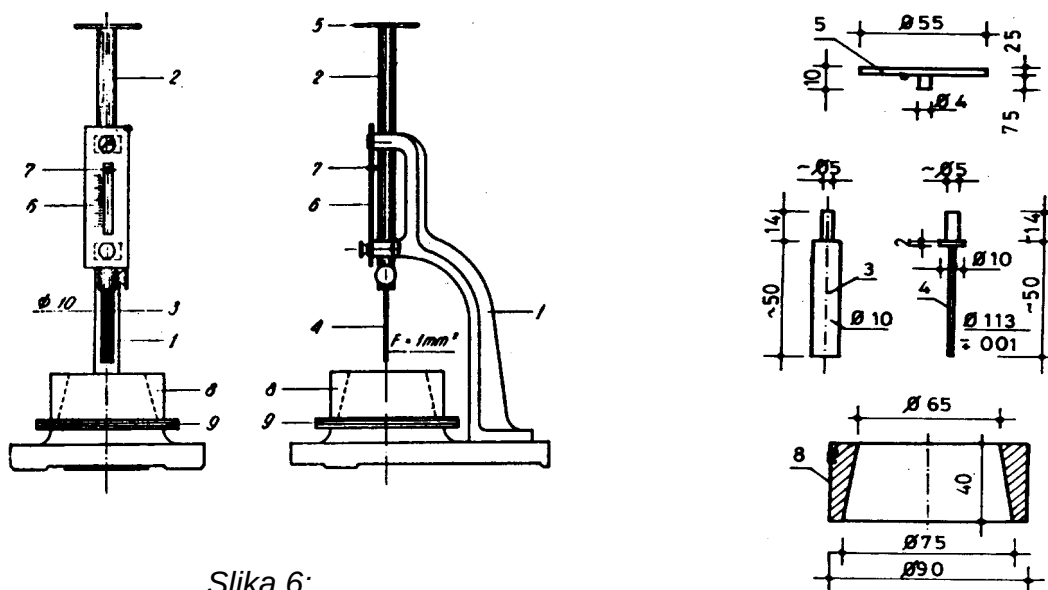
Vežanje in strjevanje mavca spremljata oddajanje toplote in spreminjanje prostornine (nabrekanje). Količina oddane toplote je odvisna od kvalitete mavca in jo prav zaradi tega zelo pogosto uporabljamo kot osnovni pokazatelj kvalitete proizvedenega mavca.

Čas (min)																			
Temperatura kaše (°C)																			
Pomik (mm)																			



1.8 STANDARDNA (NORMNA) KONSISTENCA CEMENTNE PASTE (SIST EN 196-3 tč. 5)

Za vezanje cementa, ki se kaže v postopnem zgoščevanju - povečanju viskoznosti cementne paste, je potrebna določena količina vode. Da bi bila za različne cemente mogoča primerjava karakteristik vezanja, se vršijo preiskave na pastah tako imenovane standardne ali normne konsistence. Standardno konsistenco določamo s pomočjo Vicatovega aparata (Slika 6). Standardna konsistenca predstavlja tisto židkost ali plastičnost cementne paste v svežem stanju, ki ustreza količini vode pri kateri se valj Vicatovega aparata ustavi na globini 4-8 mm od spodnje površine vzorca.



Slika 6:

Vicatov aparat je sestavljen iz: stojala (1), pomične sonde (2), valja premera 10 mm (3) ali jeklene igle prereza 1 mm^2 (4), uteži (5), skale (6), kazalca (7), konusnega prstana (8) narejenega iz materiala ki ne korodira in ne vpija vode in kvadratne steklene plošče s ploščino večjo od konusnega prstana in višino vsaj 2,5 mm (9). Temperatura v prostoru, kjer vršimo preiskavo mora znašati $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, relativna vlažnost pa najmanj 50%.

Valj, ki tehta skupaj s pomično sondo $300 \pm 1 \text{ g}$, spustimo do steklene plošče namazane s tankim slojem olja. Na plošči se nahaja konusni prstan. Skala na Vicatovem aparatu se nastavi tako, da kaže kazalec na nulo. Tako umerimo Vicatov aparat.

Cementno pasto pripravimo v standardnem mešalcu. V posodo za mešanje vlijemo najprej ustrezno količino vode, na primer 125 g, potem pa dodamo 500 g cementa in zapišemo čas. Vključimo mešalec in mešamo prvih 90 s s hitrostjo (140 ± 5) obratov v minuti. Nato mešalec ustavimo za 15 s in v tem času očistimo pasto, ki se je oprijela sten posode izven območja mešanja in jo vrnemo na sredino posode. Ponovno vključimo mešalec in pasto še 90 s mešamo s hitrostjo (140 ± 5) obratov v minuti. Mešalec za pripravo cementne paste mora izpolnjevati zahteve standarda SIST EN 196-1.

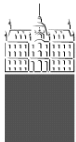
Po končanem mešanju s pasto prenapolnimo konusni prstan (8). Odvečno pasto odstranimo z zgornje površine napolnjenega prstana z ustreznim ravnilom tako, da dobimo gladko zgornjo površino. Sondo z valjem previdno spustimo v center prstana in sicer tako, da nalega na površino paste. Potem pustimo, da valj prosto prodira skozi pasto. Po izteku 30 sekund odčitamo položaj kazalca na skali. Če se je valj ustavil 4-8 mm ($6 \pm 2 \text{ mm}$) nad stekleno ploščo, ima pasta standardno konsistenco. Če se je valj ustavil več kot 8 mm ali manj kot 4 mm nad ploščo, je potrebno narediti novo pasto s povečano oziroma zmanjšano količino vode.

Rezultati preskušanja:

Vrsta cementa:

Masa vode za standardno konsistenco $m_v =$

Standardna konsistenca $m_v/m_c \cdot 100 =$



Podobna aparatura in postopek določanja konsistence veljajo tudi za apno in mavec. Standardno kašo za mavec dobimo tako, da v 200 ml vode enakomerno sipamo 250 g mavca po celi površini vode 2 minuti. Temperatura vode mora znašati približno 20°C. Po končanem vsipanju mavca mešamo kašo še 1,5 min.

1.9 DOLOČANJE ZAČETKA IN KONCA VEZANJA (SIST EN 196-3 tč. 6)

Začetek in konec vezanja cementa določamo na cementni pasti standardne konsistence v prostoru s temperaturo $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ in relativno vlago vsaj 90%. Za to preiskavo služi Vicatov aparat, v katerega namesto valja vstavimo brušeno in polirano iglo, ki izpolnjuje zahteve standarda. Da bi igla s pomično sondo imela maso (300 ± 2) g, dodamo na aparat utež (5). Dimenzije valja in igle so podane na Sliki (6).

Začetek vezanja imenujemo trenutek, ko se igla, ki prodira skozi pasto, zaustavi na višini 3-9 mm (6 ± 3 mm) nad stekleno ploščo. Višino odčitamo po 30 s ali ko se igla ustavi, če je to pred potekom 30 s. To mora biti ugotovljeno na 3. poljubnih mestih, ki se ne nahajajo na obodu epruvete. Čas, ki je potekel od dodajanja cementa v vodo, do začetka vezanja, imenujemo čas začetka vezanja. Po vsakem prodiranju igle skozi vzorec je potrebno iglo očistiti.

Za določanje konca vezanja prstan s pasto pazljivo vzamemo s steklene plošče in ga obrnemo. Kot konec vezanja cementa vzamemo trenutek, ko igla ne prodre več kot 0,5 mm v pasto obrnjenega vzorca. Čas, ki je potekel od trenutka dodajanja cementa v vodo do konca vezanja imenujemo čas konca vezanja.

Rezultati preskušanja:

Vrsta cementa: _____

Začetak vezanja: _____

Konec vezanja: _____

Tudi pri mavcu poteka postopek preskušanja na Vicatovi aparaturi. Razlika je le v tem, da pri mavcu ločimo tri čase vezanja:

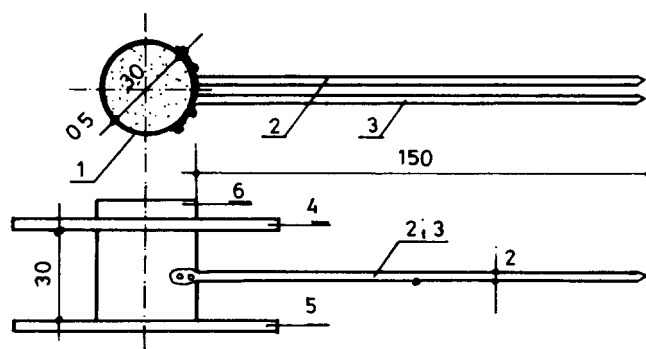
- 1) čas začetka vezanja - je čas, ki je potekel od vsipanja mavca v vodo (t_1), pa do trenutka (t_2), ko odtis igle na vzorcu po izvlečenju igle ostane jasno viden (preneha se zlivati) ,
- 2) čas plastičnosti (obdelavnosti) - je čas, ki je potekel od vsipanja mavca v vodo (t_1) do trenutka (t_3), ko Vicatova igla ne prodre globlje od 5 mm in
- 3) čas konca vezanja - je čas, ki poteče od vsipanja mavca v vodo (t_1) do trenutka (t_4), ko Vicatova igla ne prodre več v vzorec.

Mavec mora v odvisnosti od namena uporabe praviloma zadoščati naslednjim pogojem:

Vrsta mavca	($t_2 - t_1$) najmanj	($t_3 - t_1$) najmanj	($t_4 - t_1$) največ
mavec za malte	5 min	60 min	120 min
štukturni mavec	5 min	12 min	30 min
modelarski mavec	5 min	-	15 min
estrih-mavec	-	120 min	2160 min
alabaster-mavec	5 min	12 min	30 min

1.10 PROSTORNINSKA OBSTOJNOST (SIST EN 196-3 tč. 7)

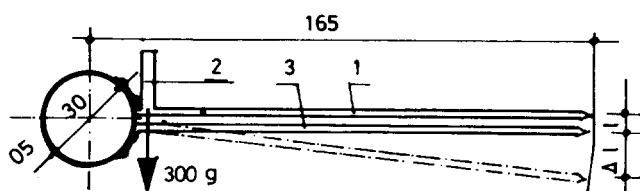
Prostorninsko obstojnost cementa preverjamo s pomočjo Le Chatelier-ovih prstanov. Dva Le Chatelier-ova prstana rahlo premazana z mineralnim oljem položimo na stekleni plošči velikosti 6 x 6 cm, ki sta pravtako premazani z mineralnim oljem. Potem ju napolnimo s cementno pasto standardne konsistence, ki jo poravnamo z nožem. Prstana pokrijemo s stekleno ploščo (4), ki je obremenjena z utežjo (6).



Slika 8:

Tako obtežena vzorca postavimo v vlažnostno komoro s temperaturo $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ in relativno vlago vsaj 98%. Po 24. urah vzamemo prstana iz komore, ju pazljivo razbremenimo in odstranimo stekleni plošči. Nato ju položimo v vodno kopel in sicer tako, da so kraki obrnjeni navzgor. Izmerimo razmak med krakoma (d_1). Potem vodo v vodni kopeli grejemo tako hitro, da v (30 ± 5) min začne vreti. Voda z vzorcem mora vreti $3\text{h} \pm 5\text{min}$.

Ves čas kuhanja morata biti prstana in njuni kraki pod vodo. Po končanem kuhanju vzamemo prstana iz vode, ohladimo ju na temperaturi $20 \pm 2^\circ\text{C}$ in ponovno izmerimo razmak med krakoma (d_2). Za oceno prostorninske obstojnosti cementa po Le Chatelieru je merodajna razlika odčitkov ($d_2 - d_1$). Ta razlika ne sme biti večja od 10 mm. Kot končni rezultat vzamemo povprečje meritev na obeh prstanih.



Slika 9:

Preden začnemo preskušati cementno pasto z metodo Le Chatelierovih prstanov, moramo preveriti pravilnost njihovega delovanja. Vsak prstan mora imeti določeno togost.

Togost prstana preverimo na ta način, da en krak prstana vpnemo na mestu (2), drugi krak (3) pa pod mestom vpetja prvega kraka obremenimo z utežjo 300 g. Prstan ima



pravilno togost, če povzroči utež razmik vrhov krakov (Δl) najmanj za 15 mm, in največ za 20 mm.

Rezultati preiskave:

Številka vzorca	d_1 (mm)	d_2 (mm)	$d_2 - d_1$ (mm)
1			
2			
Srednja vrednost			

2. MALTE

2.1 STANDARDNI PESEK (SIST EN 196-1, tč. 5.1.2)

Standardni pesek je suh naravni kremenčev pesek s pretežno okroglimi zrnji in z najmanj 98% SiO_2 . Zrnavostna sestava standardnega peska je podana v preglednici:

Kvadratne odprtine sita (mm)	Kumulativni ostanek na sitih (%)
0,08	99±1
0,16	87±5
0,50	67±5
1,00	33±5
1,60	7±5
2,00	0

Standardni pesek se lahko dobavlja v ločenih frakcijah ali pakiran v plastičnih vrečkah skupne mase 1350 ± 5 g.

2.2 PRESKUŠANJE TRDNOSTI CEMENTA (SIST EN 196-1)

Trdnost cementa določamo na standardni cementni malti, ki je na predpisan način zamešana in vgrajena v prizmatične vzorce dimenzij 4x4x16 cm. Razmerja med sestavinami standardne cementne malte so sledeča: $m_c : m_p = 1 : 3$ in $m_v : m_c = 1 : 2$, kjer so m_c - masa cementa, m_p - masa peska, m_v - masa vode.

Glede na to da tvorijo eno serijo preskušancev tri prizmice (tudi kalup za pripravo je trodelen), rabimo za pripravo mešanice: (450 ± 2) g cementa, (1350 ± 5) g standardnega peska in (225 ± 1) g pitne vode.

Mešanico pripravimo s pomočjo specialnega mešalca RILEM-CEN. Mešalec RILEM-CEN se obrača okoli svoje vzdolžne osi in istočasno planetarno obrača okoli pogonske osi. Možni ste dve hitrosti mešanja mešalca:

Hitrost mešanja	Število obratov okoli lastne osi (v minuti)	Število obratov okoli pogonske osi (v minuti)
I	140±5	62±5
II	285±10	125±10

Plastično cementno malto pripravimo na sledeči način: v posodo za mešanje damo najprej vodo, nato dodamo cement. Mešalec takoj vklopimo in mešamo s prvo hitrostjo 30 sec. V naslednjih 30 sec. dodajamo standardni pesek, pri čemer poteka mešanje še vedno v prvi hitrosti. Potem mešalec preklapimo na drugo hitrost in mešamo naslednjih 30 sec.



Slika 10:

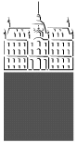
Potem naredimo odmor dolg 90 s. V prvih 15 s odmora je potrebno z ustrezno lopatico zbrati malto, ki je ostala prilepljena na stene posode za mešanje, in jo vrniti k ostali malti v sredini posode. Po preteku 90 s. nadaljujemo z mešanjem z drugo hitrostjo še naslednjih 60 s.

Po izdelavi cementne malte le to vgradimo v predpisan tridelni kalup. Tridelni kalup (dimenzije posameznega dela so 40 mm x 40 mm x 160 mm) najprej znotraj tanko namažemo z mineralnim oljem, potem pa ga pritrdimo na udarno mizico. Vsakega od treh delov kalupa napolnimo z enim slojem malte (okrog 300 g za vsako prizmo), in sloje malte nato zgostimo s 60 udarci udarne mize (hitrost 1 udarec/s). Nato napolnimo prizme z drugim slojem malte in postopek ponovimo. Na koncu odstranimo odvečno malto s kovinskim ravnilom, s pomočjo katerega na koncu zgladimo tudi površino.

Vzorci negujemo na naslednji način: kalupe pokrijemo z ravno stekleno ploščo dimenzij 210 mm x 185 mm in debeline 6 mm ter jih položimo na ravno podlago v komori s temperaturo $20 \pm 1^\circ\text{C}$ in relativno vlago vsaj 90%. Kalup hranimo v komori od 20 do 24 ur po vgraditvi malte. V primeru, da malta ni dosegla zadostne trdnosti in vzorcev ne moremo razkalupiti ne da bi jih poškodovali, preložimo odpiranje kalupa za 24 ur. Prizmice potem zložimo na rešetko z medsebojnim razmikom vsaj 0,5 cm in jih negujemo v pitni vodi, katere nivo je ves čas vsaj 0,5 cm nad zgornjo stranico prizmic, pri temperaturi $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Vzorce posebnih vrst cementov (aluminatni, supersulfatni, beli itd) negujemo v specialnih posodah. Prizmice tik pred preskušanjem vzamemo iz vode, obrišemo in takoj preskusimo.

Določanje upogibne in tlačne trdnosti prizmic iz mavca in apna poteka podobno kot pri cementnih prizmicah. Razlika je le v recepturi:

⇒ Receptura apnene malte za izdelavo prizmic je odvisna od tega, ali je apno hidravlično ali ne. Če je apno hidravlično uporabimo za izdelavo prizmic 400 g apna, 1200 g standardnega peska in 200 ml vode. Če preskušamo gašeno

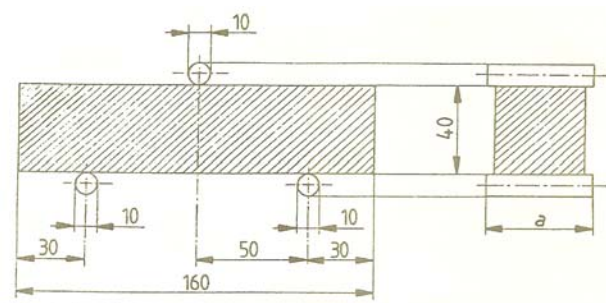


(hidratizirano) apno uporabimo 400 g apna, 1200 g standardnega peska in 240 ml vode.

⇒ Epruvete za preskušanje mavca so narejene iz standardne kaše.

2.2.1 UPOGIBNA TRDNOST

Upogibno trdnost cementa določamo na treh prizmicah dimenzij 4x4x16 cm. Kot rezultat preskušanja vzamemo povprečje treh rezultatov. Če pa rezultat za posamezno prizmico odstopa več kot 10% od povprečja, je potrebno preskus ponoviti na novi seriji prizmic. Shema preskusa je prikazana na Sliki 11.



Dimenzije v mm

Upogibno trdnost R_f izračunamo po formuli:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{a^3} \quad [N/mm^2] \text{ kjer so}$$

F_f - mejna sila (kN),

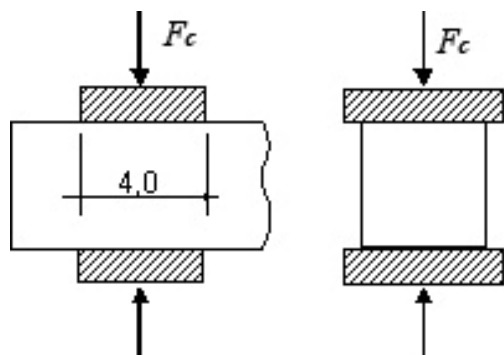
a - krajša stran epruvete (mm) in

l - razmik med podporami (mm).

Slika 11:

2.2.2 TLAČNA TRDNOST

Tlačno trdnost cementne malte določamo na polovicah, dobljenih po končanem preskušanju upogibne trdnosti. V času med koncem preskušanja upogibne trdnosti in začetkom preskušanja tlačne trdnosti pokrijemo polovice z vlažno krpo.



Tlačno trdnost R_c izračunamo po formuli:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad [N/mm^2], \text{ kjer silo } F_c \text{ podamo v N.}$$

V primeru, da en rezultat odstopa več kot 10% od povprečja ga zanemarimo. Če odstopata za več kot 10 % dva ali več rezultatov, moramo preizkus ponoviti.

Slika 12:

Upogibni preizkus				Tlačni preizkus			
Številka vzorca	F_f (kN)	$F_{f,sr}$ (kN)	R_f (MPa)	Številka vzorca	F_c (kN)	$F_{c,sr}$ (kN)	R_c (MPa)
1				1			
				2			
2				3			
				4			
3		$\Sigma F_f =$		5		$\Sigma F_c =$	
				6			



2.3 DOLOČANJE VSEBNOSTI ZRAKA V SVEŽI MALTI

Princip določanja vsebnosti zraka v sveži cementni malti sloni na principu Boyle-Mariott-ovega zakona. Princip delovanja aparature je že razložen pri svežem betonu (vaja 4, točka 8). Razlika v aparaturi za preskušanje je le v kapaciteti osnovne posode, ki v primeru cementnih malti znaša 1000 cm^3 (za sveži beton 8000 cm^3). Mešanico za pripravo vzorca sprojektiramo na osnovi željene konsistence sveže cementne malte, ki jo določamo na stresalni mizici. Mešanica vsebuje 600 g cementa, 1800 g standardnega peska in vodo v količini, ki ustreza razlezu cementne malte na stresalni mizici $180 \pm 5 \text{ mm}$.

Malto pripravimo v mešalcu (RILEM-CEN) po postopku opisanem v podpoglavju 2.2.

Določanje razleza: Malto vgradimo v konusni lijak, ki je skupaj z nastavkom za polnjenje na stresalni mizici. Malto vgrajujemo v dveh plasteh, pri čemer vsako plast nabijemo z lesenim nabijačem s po 20 udarci. Eno minuto po končanem vgrajevanju konusni lijak pazljivo dvignemo in začnemo s tresenjem stresalne mizice. Hitrost tresenja znaša en padec v sekundi. Po 15 padcih izmerimo razlez cementne malte. Rezultat razleza je povprečje dveh meritev v pravokotnih smereh (postopek je natančneje razložen v vaji 4, točka 3.4).

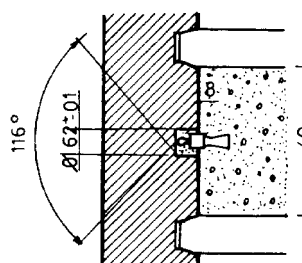
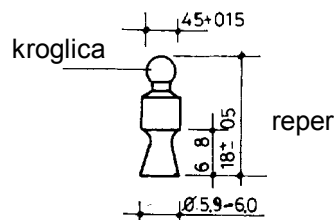
Ko po nekaj poskusih dobimo željeno konsistenco sveže cementne malte pripravimo novo količino malte po tej recepturi in določimo vsebnost zraka s postopkom, ki je razložen v vaji 4, točka 8.

Rezultati preiskave:

Razlez na stresalni mizici v mm	D1= mm D2= mm D=(D1+D2)/2=.....mm
Prostorninska masa v kg/m^3	
Poroznost v %	

2.4 KRČENJE CEMENTNE MALTE

Pri določenih temperaturnih in vlažnostnih pogojih okolja bo prišlo do krčenja cementne malte zaradi sušenja. Krčenje cementne malte določamo na prizmicah 4x4x16 cm. Postopek izdelave in receptura sta enaka kot pri pripravi vzorcev za določanje trdnosti cementne malte. Razlika je le v tem, da moramo pri vgrajevanju cementne malte v kalupe pripraviti reperje kot je prikazano na sliki 13.

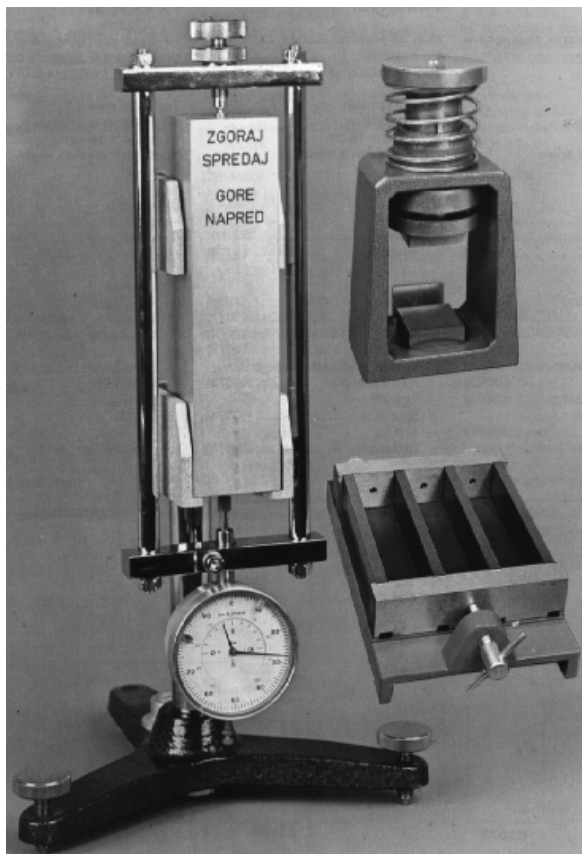


Slika 13:

Pred polnjenjem kalupa z malto, notranje površine kalupa tanko premažemo z mineralnim oljem. Nato namestimo reperje tako, da jih vtisnemo v odprtino ki smo jo predhodno zapolnili s plastelinom. Paziti moramo, da ostane del reperja, ki se bo nahajal v malti čist in da na njem ni olja, masti ali drugih nečistoč.

Temperatura prostora, v katerem izdelujemo epruvete, morata znašati $20 \pm 1^\circ\text{C}$, relativna vlaga pa $55 \pm 5\%$.

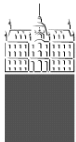
Izdelane prizme negujemo v kalupih $24 \pm 0,5$ ur pri relativni vlagi najmanj 90%. Nato jih razkalupimo, označimo in negujemo v pitni vodi s temperaturo $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 48 ur. Potem vzamemo prizme iz vode, jih obrišemo s krpo in takoj izmerimo njihovo dolžino. Nadaljnje negovanje epruvet poteka 25 dni pri temperaturi $20 \pm 1^\circ\text{C}$ in relativni vlagi $55 \pm 5\%$. Krčenje cementne malte določamo s pomočjo Graf-Kaufmanovega deformetra (slika 14).



Deformeter je izdelan za meritve deformacij prizmic 4x4x16 cm. Opremljen je z merilno urico obsega 10 mm, ki je razdeljen na intervale po 0,01 mm. Odčitavanje na mikrometru preverjamo s pomočjo primerjalne prizme, ki je izdelana iz jeklene legure in sicer pred in po vsaki seriji merjenj.

Prvo merjenje deformacije je po 72 urah, naslednja pa po 4., 7., 21. in 28. dneh od dneva izdelave prizmic. Rezultat preskušanja predstavlja povprečje rezultatov dobljenih na eni seriji preskušancev. Rezultate lahko prikazemo v obliki preglednic ali grafično. Dimenzije v katerih izražamo krčenje malt so mm/m.

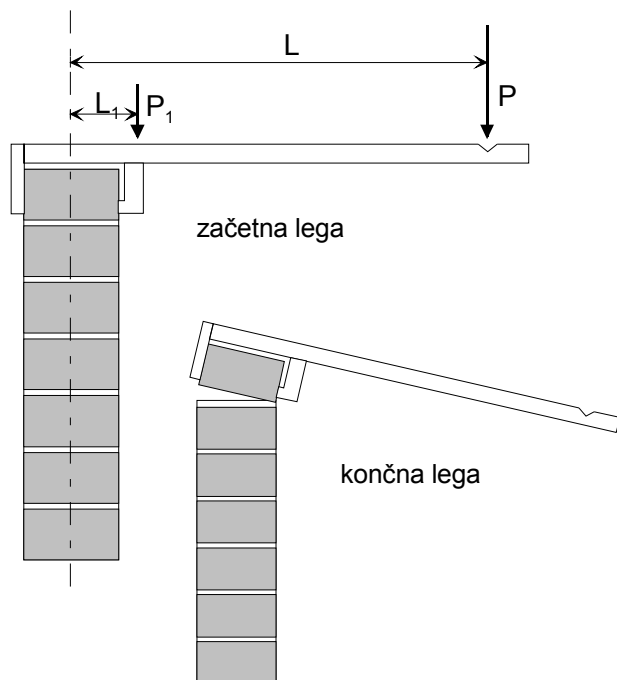
Slika 14



2.5 SPRIJEMNOST CEMENTNE MALTE Z OPEKO

Sprijemnost cementne malte preskušamo na dva načina: z ekscentričnim in centričnim nategom.

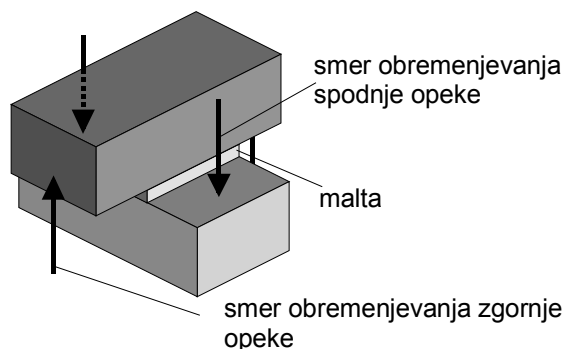
2.5.1 EKSCENTRIČNI NATEZNI PREIZKUS (ASTM C1072-86)



Sistem preskušanja je zelo enostaven in prilagodljiv. Sprijemnost malte po tem sistemu preskušanja lahko določamo tako v laboratoriju, kakor tudi na samem gradbišču. Shema preizkusa je razvidna s Slike (14). Velikosti sprijemnih napetosti cementne malte z opeko so med 0,2 in 1,6 MPa in so odvisne od vrste malte, njene sestave, vsebnosti zraka itd.

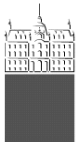
Slika 14:

2.5.2 CENTRIČNI NATEG (ASTM C952-76)



Zelo redko ga izvajamo in je predviden predvsem za laboratorijske pogoje preskušanja. Sistem preskušanja je razviden s Slike (15). Tako dobljene sprijemne napetosti so za 1/3 oziroma 2/3 manjše kot napetosti dobljene s pomočjo ekscentričnega natega.

Slika 15:



DATUM OBISKA VAJ

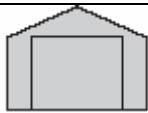
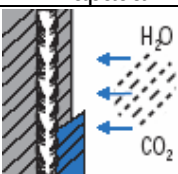
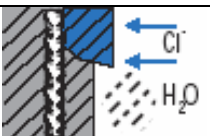
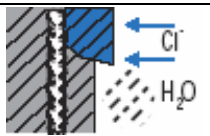
POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

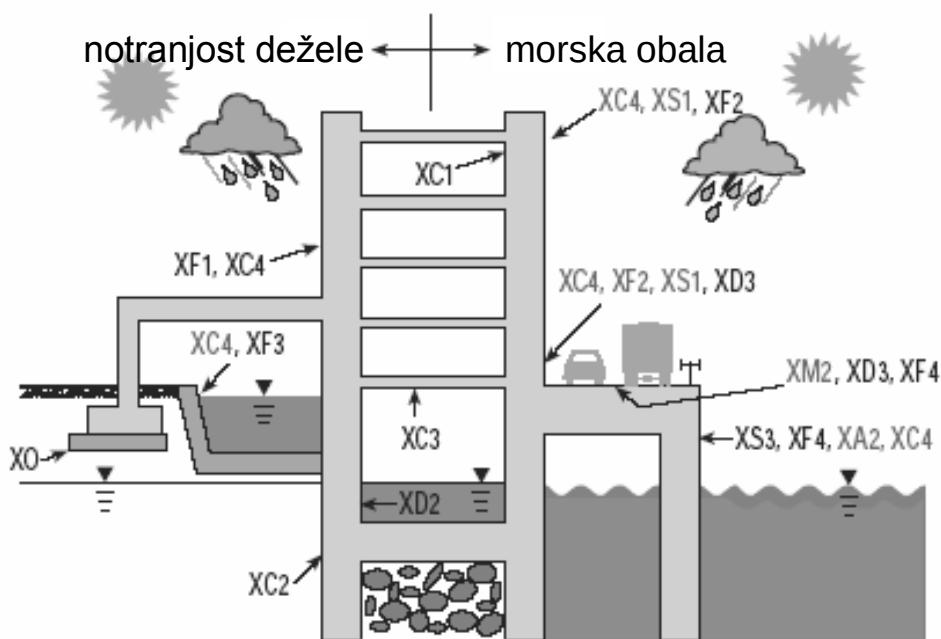
PREGLEDAL

VAJA 3 - PROJEKTIRANJE SESTAVE BETONA

Preglednica 1: Stopnje izpostavljenosti in betonski konstrukcijski ukrepi

Stopnje izpostavljenosti (vplivi okolja – napad)		Betonski konstrukcijski ukrepi (odpornost)				
Oznaka stopnje		Vpliv in obremenjenost		največje V/C	najmanj cementa (kg/m ³)	najmanjši razred trdnosti
X0		 ni napada	ni napada na beton	ni zahteve	ni zahteve	C12/15
XC	1	 karbonatizacija	suho ali trajno mokro	0,65	260	C20/25
	2		močno, le redko suho	0,60	280	C25/30
	3		zmerna vlažnost	0,55	280	C30/37
	4		izmenično mokro in suho	0,50	300	C30/37
XD	1	 kloridi – ne iz morske vode	zmerna vlažnost	0,55	300	C30/37
	2		močno, le redko suho	0,55	300	C30/37
	3		izmenično mokro in suho	0,45	320	C35/45
XS	1	 kloridi – iz morske vode	izpostavljeno solem v zraku	0,50	300	C30/37
	2		trajno potopljeno	0,45	320	C35/45
	3		območja plimovanja, škropljenja, pršenja	0,45	340	C35/45
XF	1	 zmrzovanje/tajanje	zmerna nasičenost z vodo, brez soli	0,55	300	C30/37
	2		zmerna nasičenost z vodo + soli	0,55+AE	300	C25/30
	3		močna nasičenost z vodo, brez soli	0,50+AE	320	C30/37
	4		močna nasičenost z vodo + soli	0,45+AE	340	C30/37
XA	1	 kemično delovanje	malo agresivno kemično okolje	0,55	300	C30/37
	2		srednje agresivno kemično okolje	0,50	320	C30/37
	3		močno agresivno kemično okolje	0,45	360	C35/45
XM	1	 Abrasion	zmerna obremenitev	0,55	300	C30/37
	2		močna obremenitev	0,50	320	C30/37
	3		zelo močna obremenitev	0,45	340	C35/45

Standard SIST EN 206-1: Beton - 1.del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost razlikuje dve skupini betonov: projektiran in predpisan beton. Pri predpisanem betonu natančno podamo sestavo betona (vsebnost cementa, vrsto in trdnostni razred cementa, v/c ali konsistenco, vrsto in kategorije agregata, največjo vsebnost kloridov, nazivno velikost največjega zrna agregata, omejitve glede zrnivosti, vrsto in količino kemijskega/mineralnega dodatka, lahko pa podamo tudi dodatne zahteve), pri projektiranem betonu pa navedemo predvsem stopnjo izpostavljenosti okolja, ki mu bo beton izpostavljen in lastnosti, ki jih od betona zahtevamo (razred tlačne trdnosti, največje zrno agregata, razred vsebnosti kloridov ter razred konsistencence ali ciljna vrednost konsistencence). Zahteve v zvezi s stopnjo izpostavljenosti pri projektiranem betonu, ki so podane v preglednici 1, pomenijo dejansko projektiranje trajnosti betona. Gre za priporočene minimalne vrednosti, ki veljajo le v primeru uporabe čistega portland cementa CEM I. Stopnje izpostavljenosti so shematično prikazane tudi na sliki 1.



Slika 1: Shematičen prikaz stopenj izpostavljenosti



PROJEKTIRAN BETON

1. Stopnja izpostavljenosti

Objekt bo izpostavljen okolju, ki ustreza stopnji izpostavljenosti: _____

2. Izbira razreda tlačne trdnosti v odvisnosti od stopnje izpostavljenosti

Razred tlačne trdnosti C _____

3. Izračun projektirane tlačne trdnosti betona f_{cm}

$$f_{cm} = f_{ck, cube} + t \cdot \sigma + \Delta f_{ck, cube} \quad (\text{MPa})$$

$f_{ck, cube}$karakteristična tlačna trdnost betona določena na standardni kocki

σ standardni odklon preiskav tlačne trdnosti, kot je ugotovljen v betonarni

izračun standardnega odklona:
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_{ni} - \bar{f})^2}{n}}$$

$\Delta f_{ck, cube}$potrebno presežanje povprečne tlačne trdnosti, da bi bilo tveganje proizvajalca glede na kriterije prevzemanja betona v predvidenih razumnih mejah, znaša naj okrog $(2 \cdot t) \sigma$.

t 1,68

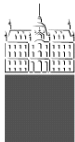
Izračunana projektirana povprečna tlačna trdnost:

$f_{cm} =$ _____

4. Izbira konsistence

Razred poseda	S1 (10 do 40 mm)
	S2 (50 do 90 mm)
	S3 (100 do 150 mm)
	S4 (160 do 210 mm)

Izberem _____



5. Izbira količine cementa v odvisnosti od stopnje izpostavljenosti

Količina cementa CEM I _____ kg

Izbrana vrsta cementa _____

Količina izbranega cementa _____ kg

Potrebna količina cementa za 1 m³ betona : DC = _____ kg

6. Izbira vodocementnega (v/c) razmerja v odvisnosti od stopnje izpostavljenosti

v/c za CEM I _____

Izbrana vrsta cementa _____

v/c za izbran cement _____

7. Izbira največjega agregatnega zrna

Izberem: D_{max} = _____ mm

8. Določitev potrebne količine vode (za 1 m³ betona)

V = DC* v/c = _____ kg

9. Predpostavljen delež zraka v betonu v %

Delež zraka _____ %



10. Izračun skupne potrebne količine agregata za pripravo 1 m³ svežega betona:

$$\frac{V}{\rho_v} + \frac{DC}{\rho_c} + \frac{A}{\rho_a} + p = 1 \text{ m}^3$$

V..... masa vode v kg za 1 m³ betona

DC..... masa cementa v kg za 1 m³ betona

A..... masa agregata v kg za 1 m³ betona

ρ_v , ρ_c , ρ_a gostota vode, prostorninska masa cementa brez por in votlin in
prostorninska masa zrn agregata v kg/m³

p..... prostornina por v 1 m³ betona

$\rho_v =$ _____ kg/m³

$\rho_c =$ _____ kg/m³

$\rho_a =$ _____ kg/m³

Izračunana celotna masa agregata za 1 m³ betona

A = _____ kg

10.1 Izračun mas posameznih frakcij agregata za 1 m³ betona

Izbrana zrnavostna sestava agregata je

srednja krivulja med mejnima krivuljama A in B

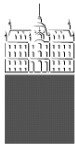
☐

mejna krivulja A

☐

mejna krivulja B

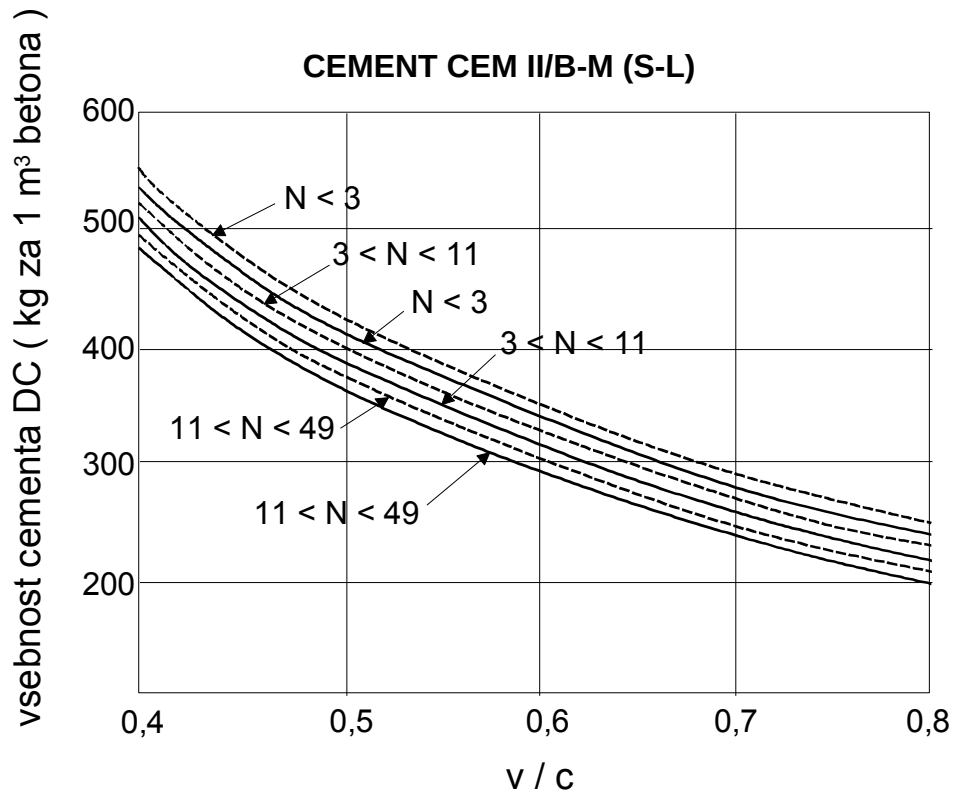
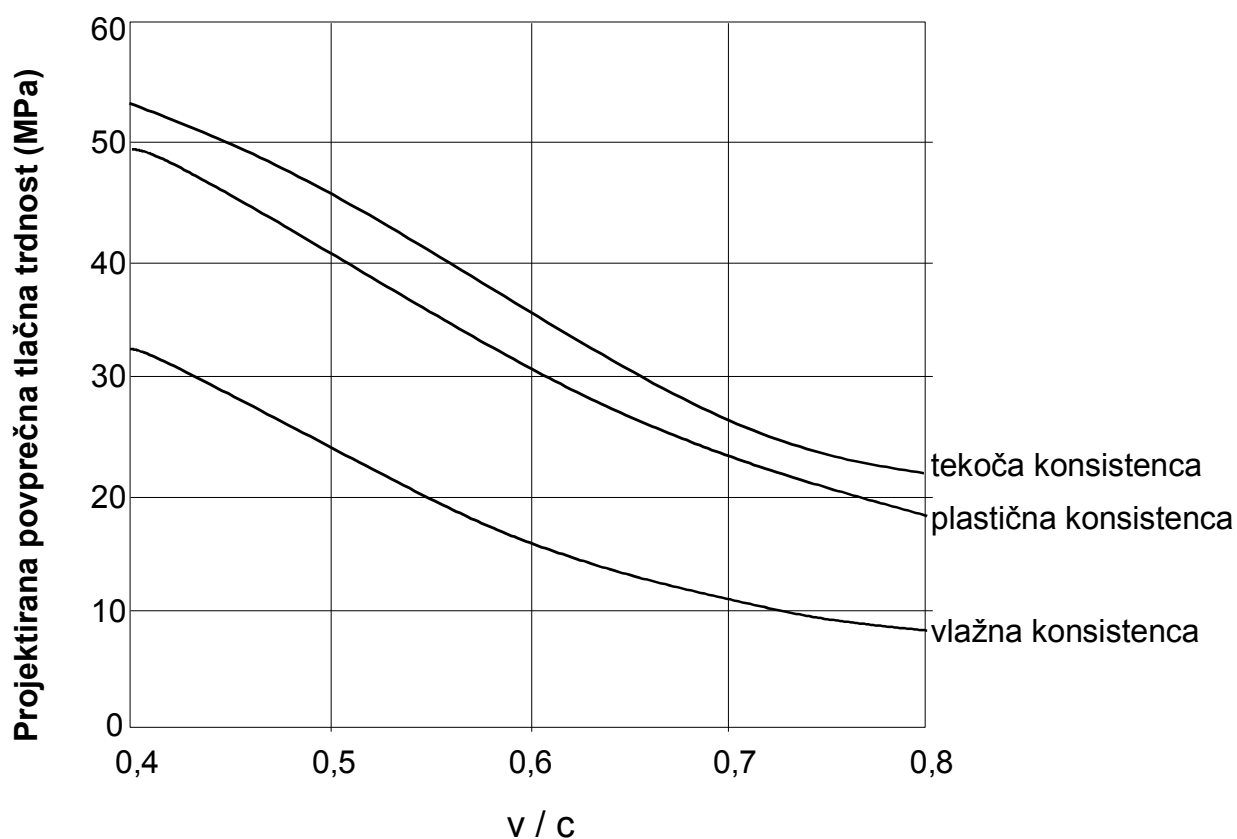
☐



		LIHE SKUPINE		SODE SKUPINE	
frakcija		masa v (kg)		masa v (kg)	
8/16					
4/8					
0/4	0/4				
masa agregata A =					

*masa mivke je določena kot masni delež glede na celotno količino agregata

frakcija (mm)	sito (mm)	presejek skozi sito za posamezno frakcijo (%)				Y _i presejek skozi sito mešanice (%)		masa frakcije (kg)	delež frakcije (%)
		0/1	0/4	4/8	8/16	zahteva	dejansko		
	32.0								
16/32	16.0								
8/16	8.0								
4/8	4.0								
2/4	2.0								
1/2	1.0								
0.5/1	0.5								
0.25/0.5	0.25								
0.125/0.25	0.125								
0/0.125								A=	100%
	ostanek								



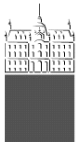
$D_{\max} = 32 \text{ mm}$

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

$N < 3$ tekoča konsistenca

$3 < N < 11$plastična konsistenca

$11 < N < 49$ vlažna konsistenca



DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL



VAJA 4 - SVEŽI BETON

1. PRIPRAVA BETONA

V gradbeni praksi se beton praviloma pripravlja na strojni način, manjše količine pa izjemoma na ročni način. Na manjših in odročnih gradbiščih uporabljajo različne vrste mešalcev, na večjih gradbiščih beton dobavljajo iz betonarn. V betonarnah pripravljajo na industrijski način velike količine betonov po zahtevanih recepturah in ga transportirajo s posebnimi tovarnjaki za transport svežega betona (transportni mešalec- "hruška").

Betonski mešalci na gradbiščih imajo prostornino od 50 - 150 l, v betonarnah pa od 250 do več tisoč litrov. Najbolj pogosto uporabljajo protitočne mešalce z navpično osjo. Os je postavljena ekscentrično glede na boben mešalca. V takih mešalcih se beton kakovostno zmeša v času od 30 do 60 s.

Proces določanja razmerij posameznih komponent betona in doziranja je v sodobnih betonarnah povsem avtomatiziran in računalniško voden. Cement in agregat se praviloma dozirata po masi (s sistemom tehtnic), voda in tekoči aditivi pa po principu meritve pretoka tekočine. Pri avtomatiziranem mešanju se odtehtane doze agregata in cementa suho zmešajo (najprej grobe frakcije agregata in cement, na to se dodajo drobne frakcije). V suho mešanico se dozira ustrezna količina vode in njej primešanih aditivov.

Pri ročnem mešanju betona cement in agregat mešamo na suho (mešanico vsaj 3 krat premečemo z lopatama). Nato se mešanje nadaljuje s pazljivim dodajanjem vode (vsaj 3 kratno premetavanje z lopatama in prebadanjem mešanice).

Skupna količina potrebnega betona:

Količina cementa:

Količina zamesne vode

Projektirana količina agregata:

Količina dodane vode:

Dejanska količina agregata:

$v/c =$

$D_{max} =$

Pričakovana konsistenca:

Projektirana tlačna trdnost

MPa



Količina agregata po frakcijah:

frakcija (mm)	projektirana masa frakcije (g)	dejanska masa frakcije (g)
16/32		
8/16		
4/8		
0/4		
0/1		
	$\Sigma =$	kg

2. ODVZEM VZORCEV SVEŽEGA BETONA ZA PREISKAVE (SIST EN 12350-1)

Iz količine betona, ki jo preizkušamo, odvezamemo količino svežega betona, ki je vsaj 1,5 krat večja od količine potrebne za izvedbo preiskave sveže mešanice in ne manjša od 0,02 m³. To količino imenujemo vzorec. Sestoji se iz zahtevanega števila delov, ki so odvzeti na različnih mestih pripravljene količine betona, ki jo preiskujemo. V primerih sprotne spremljanja izdelave betona ali naključne kontrole pripravljenega betona je lahko vzorec odvzet samo na enem mestu. Vzorec pred preiskavo hranimo na čisti površini ali v čisti posodi. Pred vgradnjo v naprave za preizkušanje sveže mešanice betona moramo vzorec temeljito premešati. Čas med odvzemom in preizkušanjem mora biti čim krajši. V vseh fazah odvzema, transporta in uporabe, moramo vzorce zaščititi pred izgubo vode, pred vplivi povišane temperature in segregacijo.

Vsak vzorec mora biti opremljen z zapisom, ki med ostalim vsebuje datum, čas in način odvzema vzorca (število in rasporeditev deležev in časovnih intervalov odvzema). V zapisu mora biti podana tudi oznaka, opis betonske mešanice ter lokacija preizkušane betona v konstrukciji.

3. PRESKUŠANJE KONSISTENCE SVEŽE BETONSKE MEŠANICE (SIST EN 12350-2, 12350-3, 12350-4, 12350-5)

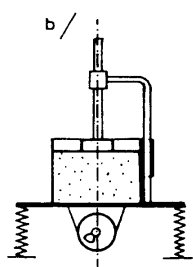
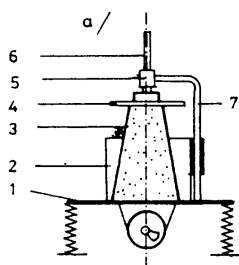
Konsistenca je skupek lastnosti svežega betona, ki vplivajo na njegove transportne lastnosti (vgradljivost, obdelavnost, zgostitev). S preskušanjem konsistence na mestu proizvodnje betona in zlasti še na mestu vgradnje se lahko, na posreden način, zelo uspešno kontrolira dejansko vodocementno razmerje v sveži betonski mešanici.

Glede na veljavne standarde določamo konsistenco betona na štiri načine:

- ⇒ z aparatom Vebe po standardu SIST EN 12350-3
- ⇒ s postopkom poseda po standardu SIST EN 12350-2
- ⇒ s postopkom razleza po standardu SIST EN 12350-5
- ⇒ s postopkom zgoščevanja pri vibriranju po standardu SIST EN 12350-4

Metodi 1 in 4 sta primerni za bolj suhe mešanice, metodi 2 in 3 pa za bolj plastične mešanice svežega betona. Uporaba metod je omejena na betone z $D_{\max} < 40$ mm.

3.1 METODA VEBE



Slika 1:

Naprava za preiskavo konsistence po Vebe metodi (Vebe aparat) sestoji iz:

1. vibracijske mizice (s pritrjenim praznim jeklenim loncem ima frekvenco 50 Hz do 60 Hz in amplitudo $\pm 0,5$ mm)
2. vodotesnega jeklenega lonca višine 200 ± 2 mm, notranjega premera 240 ± 5 mm, debeline stene 3 mm in debeline dna 7,5 mm
3. konusa (premer zgornje odprtine je 100 ± 2 mm, spodnje 200 ± 2 mm, višina konusa je 300 ± 2 mm.)
4. krožne plošče iz pleksistekla $\phi 230 \pm 2$ mm, debeline 10 ± 2 mm in mase (z dodatno utežjo in držajem plošče) 2750 ± 50 g
5. držaj plošče z vodilom
6. palice z držalom in stativa na katerega je pritrjen lijak za vlivanje betona v konus.

Postopek: Na dno lonca, ki je postavljen na vibracijsko mizico, postavimo konus. Konus polnimo z zidarsko žlico v treh plasteh približno enake višine. Vsako plast nabijemo s standardno kovinsko palico ($\phi 16$, z zaobljenim vrhom dolžine 60 cm) s 25 udarci. Prvo plast prebadamo po celi višini, pri nabijanju naslednjih plasti pa mora palica prodreti do spodnje plasti. Ko nabijemo zgornjo plast, odstranimo presežek betona in zravnamo površino z zidarsko žlico. Odstranimo konus in na zgornjo površino betona položimo ploščo iz pleksistekla (zasučemo stativ in odvijemo vijak na vodilu).

Istočasno vključimo vibracijsko mizico in štoparico. Med vibriranjem se beton poseda. Plošča iz pleksistekla se spušča. Vibriramo toliko časa, da zgornja površina betona povsem pokrije spodnjo površino plošče. V tem trenutku hkrati izklopimo vibracijsko mizico in štoparico.

Stopnja konsistence po Vebe metodi je določena s časom v sekundah, v katerem se betonski vzorec oblike prisekanega stožca zaradi vibriranja preoblikuje in prevzame obliko jeklenega lonca.

Rezultat preiskave:

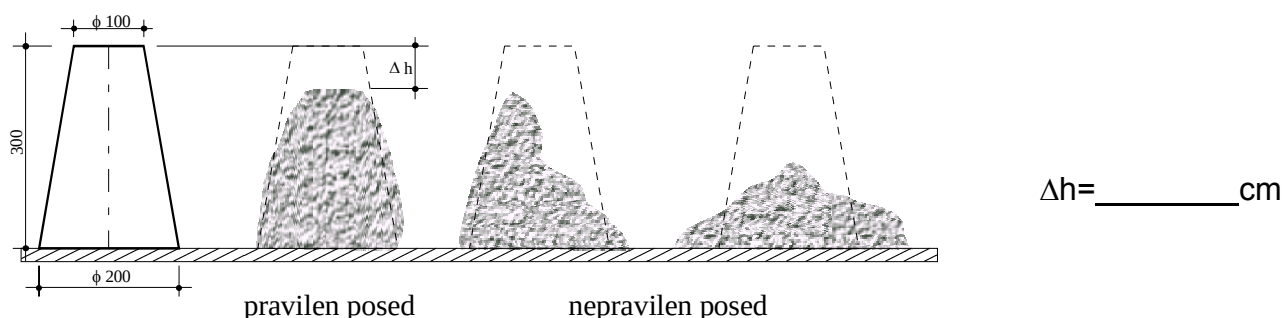
$t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$

Poročilo o preiskavi konsistence se mora sklicevati na ustrezni standard in mora med ostalim vsebovati datum in čas preiskave, oznako vzorca, izmerjeni čas v sekundah ter posed vzorca. Metoda je primerna za betone s konsistenco v časovnem območju: $30 \text{ s} \geq t \geq 5 \text{ s}$

3.2 METODA S POSEDOM

Najbolj preprosta metoda, ki je dovolj zanesljiva za kvantitativno določanje konsistence tekočih in srednje ter mehko plastičnih svežih betonskih mešanic. Zelo pogosto se uporablja na gradbiščih.

Postopek: Trideset sekund po napolnitvi (postopek enak opisanemu pri Vebe metodi) dvignemo konus in ga prestavimo ob betonski stožec. Konus dvigujemo počasi (5-10 s). Ravnilo ali standardno palico za nabijanje položimo na zgornji rob konusa tako, da seže nad betonski stožec in izmerimo razliko višin. Razlika višin (Δh), zaokrožena na 10 mm, je mera za konsistenco po tej metodi. Če zgornja površina betonskega stožca ni vodoravna je merodajna najmanjša razlika višin. Celoten postopek mora potekati brez prekinitev in ne sme trajati več kot 150 s.

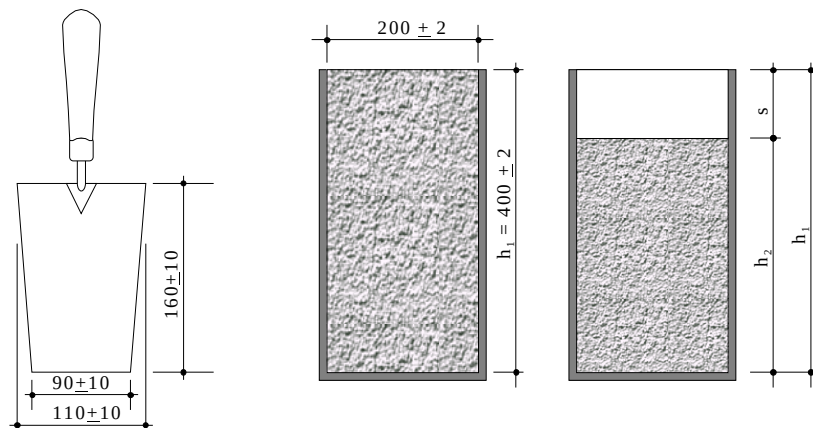


Slika 2:

Poročilo o preiskavi konsistence se mora sklicevati na ustrezeni standard in mora med ostalim vsebovati datum in čas preiskave, oznako vzorca, izmerjeni posedek vzorca in komentar o napakah na vzorcu (morebitni prestrig ali porušitev). V primeru porušitve vzorca moramo preiskavo ponoviti. Metoda je primerna za betone s konsistenco $210 \text{ mm} \geq \Delta h \geq 10 \text{ mm}$.

3.3 METODA Z ZGOŠČEVANJEM PRI VIBRIRANJU

Ta metoda daje dobre kvantitativne rezultate pri definiranju konsistence trdih in srednjeplastičnih mešanic. Ker predstavljajo tovrstni betoni velik odstotek betonov, ki se uporabljajo v praksi in ker je metoda zelo enostavna, bi bilo zaželeno da se, podobno kot metoda s posedom, uporablja tako v laboratorijih kakor tudi na gradbiščih.



Slika 3:

Postopek:

Kalup z dimenzijami 20x20x40 cm do vrha napolnimo z betonom. Beton vgrajujemo tako, da pada v kalup preko ene od širših stranic zidarske žlice. Ko se kalup napolni, odstranimo presežek betona in poravnamo zgornjo površino. Betonsko mešanico vibriramo enako kot pri vgrajevanju betona na

gradbišču (s pervibratorjem ali na vibrirni mizici). Po končanem vibriranju izmerimo višino od površine vgrajenega betona do vrha kalupa v vseh štirih vogalih in izračunamo merodajno višino (povprečna višina).

Po tej metodi je mera konsistence razmerje med začetno višino betona in višino po vibriranju (zgostitvi):

Indeks zgoščenosti:
$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{h_1}{h_1 - s}$$

h_1 notranja višina posode

h_2 višina kompaktiranega betona

s povprečna oddaljenost površine kompaktiranega betona od zgornjega roba posode

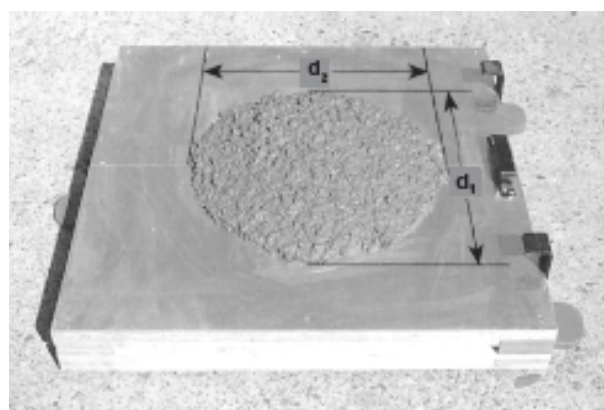
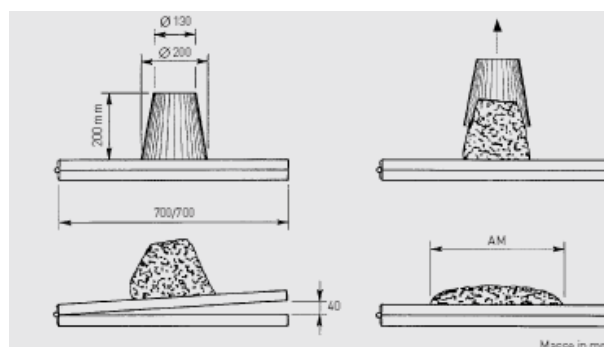
Poročilo o preiskavi konsistence se mora sklicevati na ustrezni standard in mora med ostalim vsebovati datum in čas preiskave, oznako vzorca in izmerjeno zgoščenost (indeks zgoščenosti) na dve decimalki natančno.

3.4 METODA Z RAZLEZOM

Enostavna metoda, ki se uporablja za plastične in tekoče mešanice.

Postopek: Na razlezno mizo postavimo skrajšan kovinski konus (premer osnove: (200 ± 2) mm; premer vrha: (130 ± 2) mm; višina: (200 ± 2) mm), ki ga napolnimo v dveh približno enakih plasteh. Vsako plast nabijemo z desetimi udarci z lesenim nabijačem prečnega prereza 4x4 cm. Po nabijanju druge plasti odstranimo presežek betona. Po 30-ih sekundah pazljivo odstranimo konus. Stopimo na stopalko na sprednji strani osnovnega okvirja razlezne mize, dvignemo zgornjo ploščo za 4 cm (do distančnika) in jo spustimo. Postopek ponovimo 15 krat. Betonska masa se razleze po razlezni mizi.

Mera konsistence po tej metodi je povprečje dveh med seboj pravokotnih premerov razlezene betonske mase vzporedno s stranicama mize, zaokroženo na 10 mm. Metoda je primerna za uporabo v območju razlezov: $620 \text{ mm} \geq d > 340 \text{ mm}$.



d_1	d_2	$d = (d_1 + d_2)/2$



4. KLASIFIKACIJA KONSISTENCE

4.1 PO DIN STANDARDIH

OPIS (MEJE) KONSISTENCE	Mere konsistence		
	Posed (mm)	Razlez (mm)	Posed pri vibriranju (mm)
Zemeljsko vlažna	–	–	$\geq 1,46$
Trdoplastična	10 - 40	≤ 340	1,45 – 1,26
Srednjeplastična	50 - 90	350 - 410	1,25 – 1,11
Mehkoplastična	100 - 150	420 - 480	1,10 – 1,04
Zelo mehko plastična	–	490 - 550	–
Tekoča	160 - 210	560 - 620	–
Zelo tekoča	≥ 220	≥ 630	–

Primer iz vaje:

.....

.....

.....

.....

4.2 RAZREDI KONSISTENCE PO SIST EN 206-1

Vebe razredi:

Razred	Vebe, sekunde
V0	≥ 31
V1	30 do 21
V2	20 do 11
V3	10 do 6
V4	5 do 3

Razredi poseda:

Razred	Posed
S1	10 do 40
S2	50 do 90
S3	100 do 150
S4	160 do 210
S5	≥ 220



Razredi razleza

Razred	Razlez v (mm)
F1	≤ 340
F2	350 do 410
F3	420 do 480
F4	490 do 550
F5	560 do 620
F6	≥ 630

Razredi zgostitve

Razred	Razredi zgostitve
C0	$\geq 1,46$
C1	1,45 do 1,26
C2	1,25 do 1,11
C3	1,10 do 1,04

Primer iz vaje:

.....

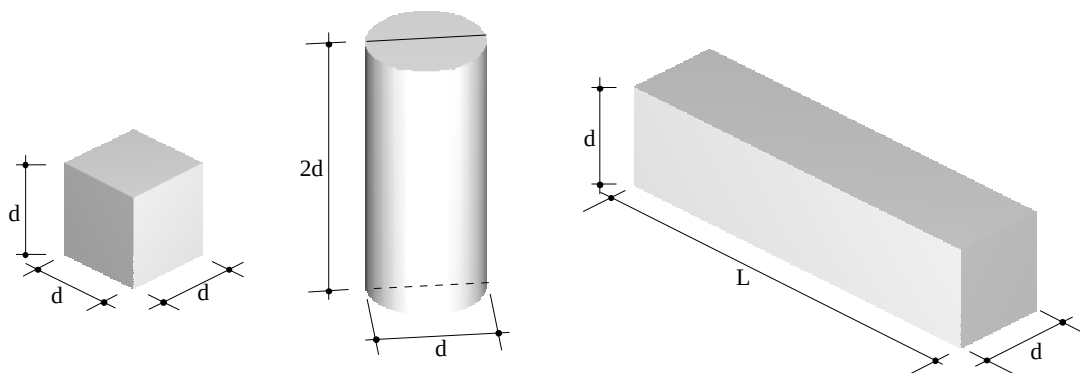
.....

.....

.....

5. STANDARDIZIRANI PREIZKUŠANCI (SIST EN 12390-1)

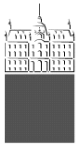
Namen standardiziranja preizkušancev je primerljivost rezultatov preiskav strjenega betona. Standardizirane so tri oblike preizkušancev: kocka, pokončni valj in pokončna prizma s kvadratnim prečnim prerezo.



Slika 5:

d (mm)					d (mm)					d (mm)					L
100	150	200	250	300	100	150	200	250	300	100	150	200	250	300	$\geq 3,5d$

V primeru valjastega preskušanca je mogoče uporabiti tudi valj z $d=113$ mm, k ima prečni prerez s površino 10000 mm^2 . Tolerance osnovnih dimenzij (d), ravnosti površin, pravokotnosti in višin so podane v standardu.



Kocke uporabljamo za tlačni in posredni natezni (cepilni) preizkus. Valje uporabljamo za osni tlačni, neposredni natezni in posredni natezni (cepitev vzdolž tvorilk) preizkus. Prizme uporabljamo predvsem za upogibni preizkus. Preostala dela prizme po upogibnem preizkusu lahko uporabimo za tlačni in posredni natezni (cepilni) preizkus. Statični modul elastičnosti se določa s tlačnim preizkusom valjev premera 150 mm ali prizem, pri katerih je razmerje dimenzij $2 \leq L/d \leq 4$. Pri tem mora biti izpolnjen pogoj: najmanjša dimenzija vzorca mora biti večja od štirikratnika maksimalnega zrna v betonu ($d > 4D_{\max}$).

6. IZDELAVA IN NEGA VZORCEV (SIST EN 12390-2)

Kalupi za izdelavo preizkušancev morajo biti vodotesni in narejeni iz materiala ki ne vpija vode, ne reagira s cementom in omogoča zagotovitev predpisanih toleranc dimenzij standardiziranih preizkušancev. Pri vgradnji betona v kalupe lahko uporabljamo pomožne nastavke za vgrajevanje betona.

Beton ki ga vgrajujemo v kalup lahko kompaktiramo na eden izmed sledečih načinov:

- ⇒ z vibriranjem na mizici z minimalno frekvenco 40 Hz,
- ⇒ z vibracijsko iglo z minimalno frekvenco 120 Hz (premer igle ne sme presegati četrte najmanjše dimenzije preizkušancev)
- ⇒ s standardno kovinsko palico ($\phi 16$ mm z zaobljenim vrhom dolžine 600 mm)
- ⇒ s standardnim kovinskim nabijačem iz jekla (kvadratni prečni prerez 25 mm x 25 mm dolžine 380 mm)

Pred polnjenjem moramo notranje površine kalupa na tanko premazati z opažnim ločilnim sredstvom. Zgoščevanje betona v preskušancih mora potekati vsaj v dveh slojih, pri čemer posamezni sloj ne sme biti debelejši od 100 mm. Kadar uporabljamo pomožni nastavek za vgrajevanje betona, moramo vgrajevati nekoliko večjo količino betona, kot je potrebna za napolnitev kalupa. V pomožnem nastavku za vgrajevanje betona mora po vgradnji v kalup ostati plast, ki je debela od 10 do 20% višine kalupa.

Togo pritrjen kalup vibriramo na mizici dokler ne preneha izhajanje zraka v obliki mehurjev in dokler se na površini betona ne pojavi tanka plast cementnega mleka. Prekomerno vibriranje je škodljivo, ker lahko povzroči segregacijo betona. Vibracijsko iglo hitro in navpično vtaknemo v sredino kalupa do globine, ki je za približno 20 mm manjša od višine kalupa. Pri tem se priporoča uporaba pomožnega nastavka za vgrajevanje betona. Ko je preizkušanec ustrezno zgoščen (enako kot pri vibracijski mizici) počasi izvlečemo vibracijsko iglo. Pri ročnem zgoščevanju moramo za vsako plast uporabiti vsaj 25 udarcev. Ko je posamezni sloj zgoščen udarjamo z lesenim kladivom previdno še po vertikalnih ploskvah kalupa, da izločimo žepe zajetega zraka. Pomožni nastavek za vgrajevanje betona moramo odstraniti takoj po zgoščevanju. Po vgradnji betona v kalupe moramo presežek betona odstraniti in površino zravnati z zidarsko žlico.



V preglednici v nadaljevanju so podani priporočljivi načini kompaktiranja v odvisnosti od konsistence sveže betonske mešanice določene po SIST EN 206-1.

	Vebe razredi	Razredi poseda	Razredi zgostitve
Vibracijska mizica	V0, V1, V2	S1, S2	C0, C1, C2
Vibracijska igla	V2	S2	C2
Ročno kompaktiranje	V3, V4	S3, S4, S5	C3

Primer iz vaje:

Preskušance moramo vidno in trajno označiti. Do preskušanja jih negujemo na temperaturi okolja $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Preskušanec mora ostati v kalupu najmanj 16 ur in največ 3 dni, zaščiten pred udarci, vibracijami in izsušitvijo (prekrijemo ga z vlažno tkanino). Po razkalupljenju hranimo preskušance potopljene v vodi ali v prostoru s stalno vlago (relativna vlaga $\geq 95\%$). Pri transportu preskušancev do laboratorijev moramo preprečiti izgubo vlage in toplotne spremembe. Zato jih vložimo v vlažno mivko ali žaganje ali pa jih zapakiramo v plastične vreče z vodo.

Vsak preskušanec moramo opremiti s spremljajočim zapisom. Ta mora vsebovati datum in čas njegove izdelave, oznako vzorca betona, namen preizkušanca, metodo zgoščevanja, ali je uporabljen pomožni nastavek za vgrajevanje betona, način nege in način transporta preskušanca.

7. DOLOČANJE PROSTORNINSKE MASE SVEŽEGA BETONA (SIST EN 12350-6)

Prostorninska masa svežega betona, ki jo določimo neposredno pri proizvodnji betona ali na gradbišču tik pred vgrajevanjem, predstavlja zanesljiv kazatelj mnogih lastnosti strjenega betona. Betoni primerljive sestave, ki imajo večjo prostorninsko maso, so bolj zgoščeni in imajo po strditvi praviloma tudi boljše mehanske lastnosti, vodoneprepustnost, zmrzlinško odpornost, odpornost na kemične vplive itd.

Določa se takoj po končani izdelavi vzorca tako, da se kalup z vzorcem z zunanje strani dobro očisti in stehta. Poznati moramo maso praznega kalupa z natančnostjo $\pm 0,1\%$.

Prostorninsko maso določimo iz izraza:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

m_1 masa kalupa (kg),

m_2 masa kalupa z vzorcem (kg),

V prostornina kalupa (m^3).

Izračunano prostorninsko maso zaokrožimo na 10 kg/m^3 .

Poročilo o določanju prostorninske mase se mora sklicevati na ustrezni standard, vsebovati mora datum in čas preiskave, oznako vzorca, vrednost določene prostorninske mase, način odvzema in zgoščevanja vzorca in morebitna odstopanja od določil standarda.

Primer iz vaje:

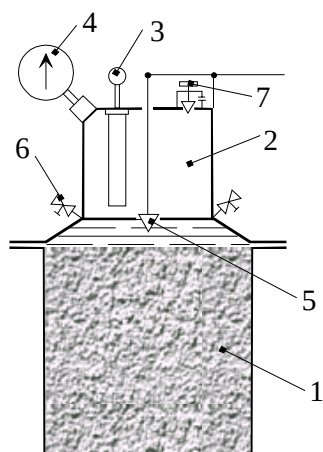
.....

.....

.....

8. DOLOČANJE VSEBNOSTI ZRAKA V SVEŽEM BETONU (SIST EN 12350-7)

Vzorec svežega betona odvezamemo v skladu s SIST EN 12350-1. Neposredno pred preskušanjem vzorec z lopatico (ročno) dobro premešamo - homogeniziramo.

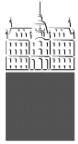


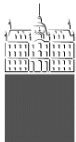
Slika 6:

Postopek: Osnovno posodo (1) napolnimo s svežim betonom. Vgradimo ga v treh slojih po postopku, ki ga uporabljamo pri vgrajevanju svežega betona v kalupe. Višek materiala odstranimo s kovinskim ravnilom in sicer tako, da ostane zgornja površina betona v posodi po odstranitvi odvečnega betona gladka. Nalegajoče površine osnovne posode in pokrova (2) pazljivo očistimo. Na osnovno posodo pritrdimo pokrov. Skozi odprtini z ventilom (6) vlijemo vodo, s katero zapolnimo prostor med osnovo posodo in pokrovom. Ko prenehajo izhajati zračni mehurčki, ventila zapremo.

Z ročno zračno črpalko (3) vnesemo toliko zraka v predkomoro (pokrov), da kazalec na manometru (4) pokaže nulo (takrat je zračni pritisk v predkomori 98.066 kPa). V primeru da je pritisk v komori previsok, odvečen zrak izpustimo skozi izpustni ventil (7). Nekaj sekund po izravnanju tlaka odpremo ventil (5) in na manometru odčitamo "porozimetrijski indeks". Če je porozimeter pravilno umerjen predstavlja "porozimetrijski indeks" hkrati tudi delež zraka v % glede na celotno prostornino svežega betona v posodi.

Rezultati preiskav: $\Delta p =$ _____ %





DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL



VAJA 5 - MEHANSKE LASTNOSTI STRJENEGA BETONA

1. UVOD

Mehanske lastnosti strjenega betona določajo njegovo kakovost in s tem tudi njegovo uporabnost v različnih konstrukcijah. Osnovne lastnosti strjenega betona ki jih preskušamo po standardiziranih porušnih metodah so:

- tlačna trdnost f_c (SIST EN 12390-3)
- upogibna natezna trdnost f_{cf} (SIST EN 12390-5)
- cepilna natezna trdnost f_{ct} (SIST EN 12390-6)

Natezna trdnost betona obremenjenega s čistim osnim nategom se včasih določa z nestandardiziranimi metodami.

Modul elastičnosti tlačno obremenjenega betona se določa s tlačnim preizkusom prizme ali valja vzdolž daljše osi do porušitve (ISO 6784-1982 (E)).

Nekatere mehanske lastnosti določamo tudi z neporušnimi metodami. Med najbolj razširjene sodita metoda s sklerometrom in ultrazvočna metoda za posredno oceno trdnosti betona ter metoda resonančne frekvence za določanje dinamičnega modula elastičnosti.

S sklerometrično metodo ugotavljamo površinsko trdoto betona na osnovi principa elastičnega odboja togega telesa od površine betona. Na osnovi razmerij med trdoto in tlačno trdnostjo betona napovemo tlačno trdnost. Napoved preverjamo s porušnimi preiskavami betonskih valjev, ki jih izvrtamo iz preiskovane konstrukcije. Za določanje potrebnega števila valjev je merodajen raztros rezultatov preiskave s sklerometrom.

Ultrazvočna metoda nam omogoča oceno trdnosti betona v obstoječih konstrukcijah. Temelji na neposredni odvisnosti hitrosti potovanja ultrazvoka od gostote betona. Le-ta pa je v razmerju s trdnostjo betona.

Metoda resonančne frekvence temelji na meritvi vzdolžnega nihanja betonske prizme pri kateri na enem koncu vzbujaemo na drugem pa merimo vibracije. Osnovna frekvenca je neposredno odvisna od dolžine prizme, gostote betona in dinamičnega modula elastičnosti, ki ga ugotavljamo s to metodo.

2. PORUŠNE METODE

2.1 TLAČNA TRDNOST

Tlačno trdnost določamo na standardiziranih preizkušancih v obliki valjev ali kock. Dodatno jo preizkušamo tudi na delih prizme, ki smo jo porušili pri določanju upogibne natezne trdnosti betona. Pred tlačnim preizkusom natančno ugotovimo dimenzije preizkušanca in njegovo maso. S pomočjo preše določimo porušno silo, s katero stremo preizkušane. Na osnovi znanih dimenzij in ugotovljene porušne sile določimo tlačno trdnost preizkušanca. Glede na to, da standardi predpisujejo določanje razreda tlačne trdnosti betona (določamo ga na podlagi tlačne trdnosti betona pri starosti 28 dni), je potrebno poznati vplive velikosti preizkušanca na primerljivo tlačno trdnost betona.

V preglednici (1) so prikazana razmerja tlačnih trdnosti določenih na različnih preizkušanecih. Po bivših slovenskih standardih (JUS-ih) je bil osnovni preizkušanelec kocka 20/20/20 cm. V preglednici (2) so prikazani razredi tlačne trdnosti betona po SIST EN 206-1, ki so določeni na dveh osnovnih preizkušanecih, valju $\phi 150/300$ mm in kocki 15/15/15 cm. Pri primerjavi tlačne trdnosti betona določene starosti s predvideno trdnostjo pri starosti 28 dni uporabljamo različne empirične obrazce. Za betone običajnih trdnosti, ki jih uporabljamo pri nas, je primerna enostavna logaritmična odvisnost od starosti.

$f_{cc} = \alpha * f_{cc,28}$ kjer je $\alpha = 0.28 + 0.5 * \log(n)$ in (n) starost betona v dneh.

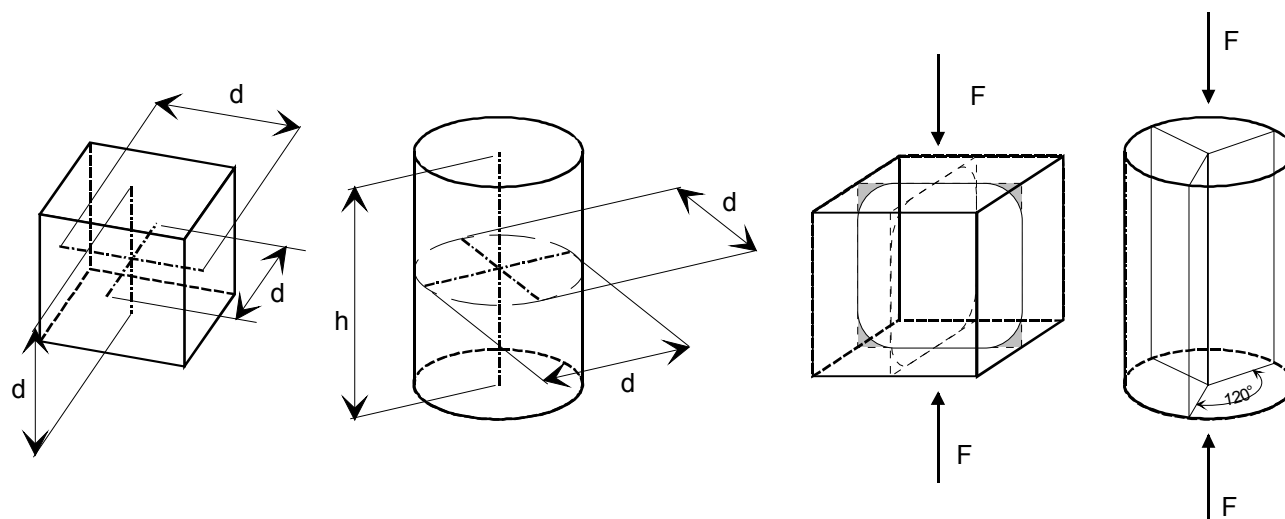
Pri tej vaji bomo preizkušali kocke in prizme ki smo jih izdelali pri vaji 4. Rezultate preiskav bomo zbrali v preglednici (3) ter primerjali v preglednici (4).

Preglednica 1:

Oblika preizkušanca	Dimenzije (cm)	Razmerje trdnosti kocke 20 in drugačnega preizkušanca
Kocka	10/10/10	0.90
	15/15/15	0.95
	20/20/20	1.00
	30/30/30	1.08
Valj	10/20	1.17
	15/30	1.20
	20/40	1.26
	10/10	1.02
	15/15	1.05
	20/20	1.10

Preglednica 2:

Razred tlačne trdnosti	Minimalna karakteristična tlačna trdnost (MPa)	
	Valj 15/30 $f_{ck,cyl}$	Kocka 15/15 $f_{ck,cube}$
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
.....		



Slika 1: Merodajne dimenzije tlačnih preizkušancev in kontrola pravokotnosti ploskev

Tlačna trdnost f_c :

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

F tlačna sila,

A_c površina vodoravnega prereza
preskušanca

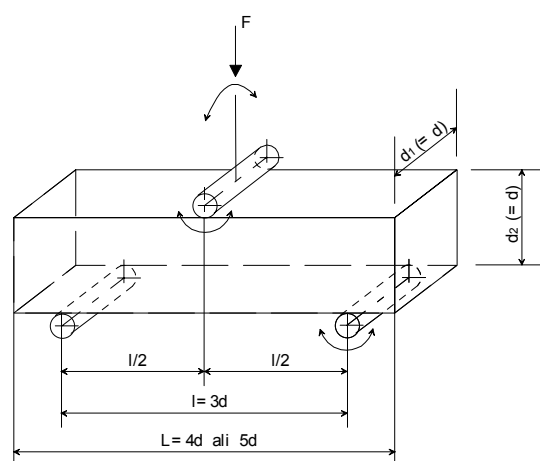
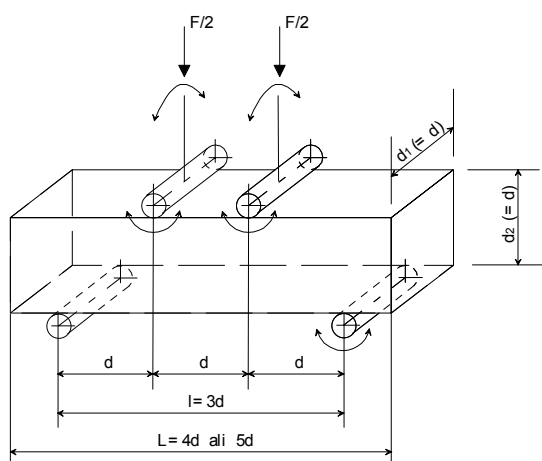
2.2 NATEZNA TRDNOST

Na sliki (2) sta prikazana standardizirana načina upogibnega obremenjevanja prizme, na sliki (3) pa standardizirani načini obremenjevanja valjev, kock in delov prizem za določanje cepilne natezne trdnosti betona.

Upogibna natezna trdnost f_{cf} (F je upogibna sila, l je razpetina, d_1 je širina in d_2 višina prizme):

$$f_{cf} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2^2}$$

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2}$$

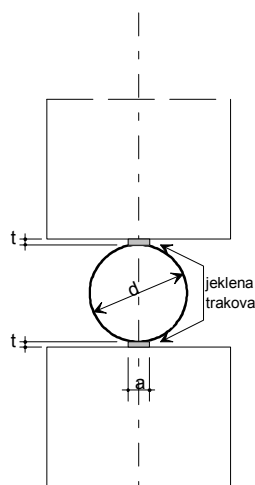


Slika 2

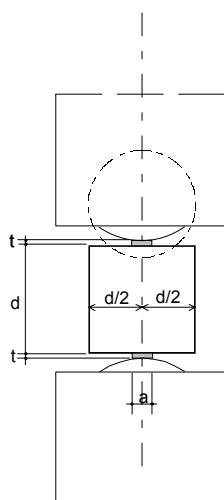
Cepilna natezna trdnost f_{ct}

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot l \cdot d}$$

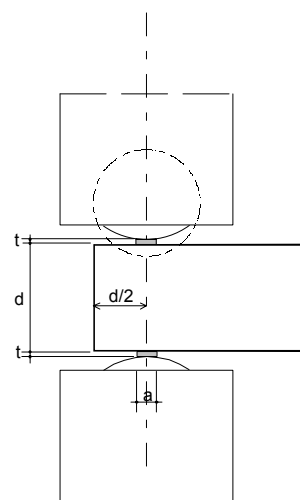
F je cepilna sila, l je dolžina raznosa sile in d merodajna dimenzija preskušanca



a) valj



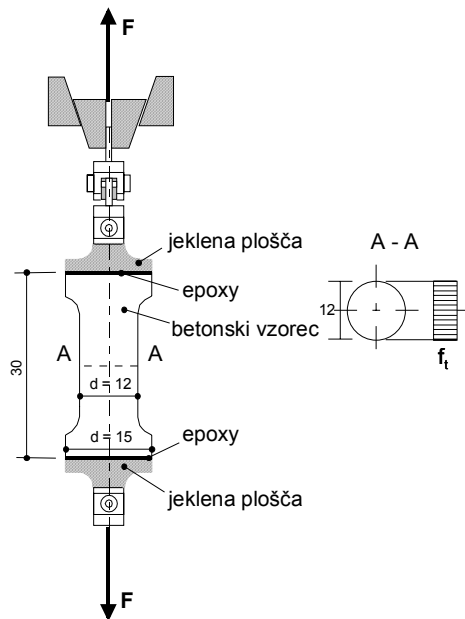
b) kocka



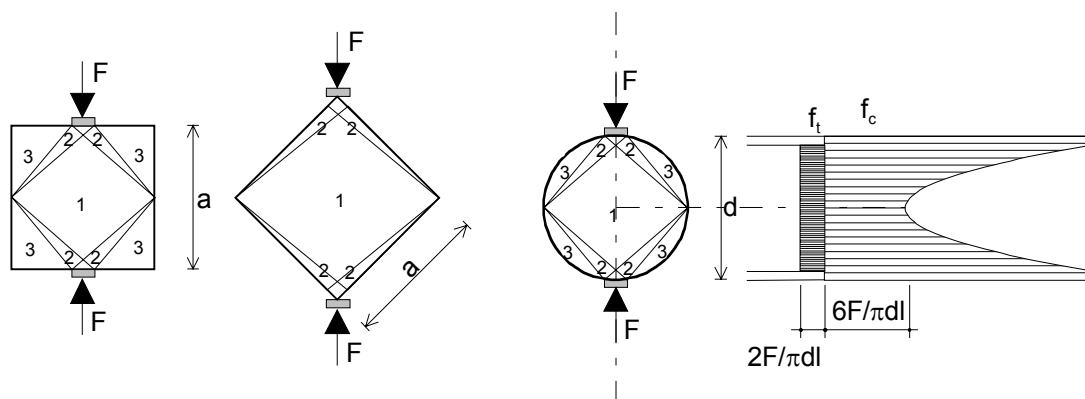
c) prizma

Slika 3

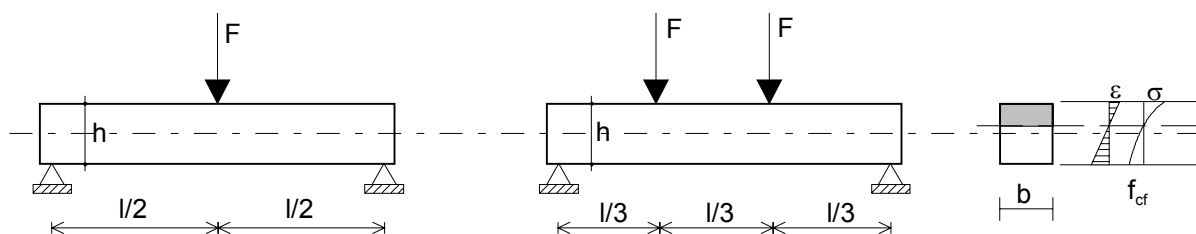
Na slikah (4, 5, 6) so prikazane obremenitve betonskih preizkušancev pri enoosnem nateznem preizkusu betona in cepilnem ter upogibnem nateznem preizkusu.



Slika 4: Enoosni natezni preizkus



Slika 5: Cepilni natezni preizkus



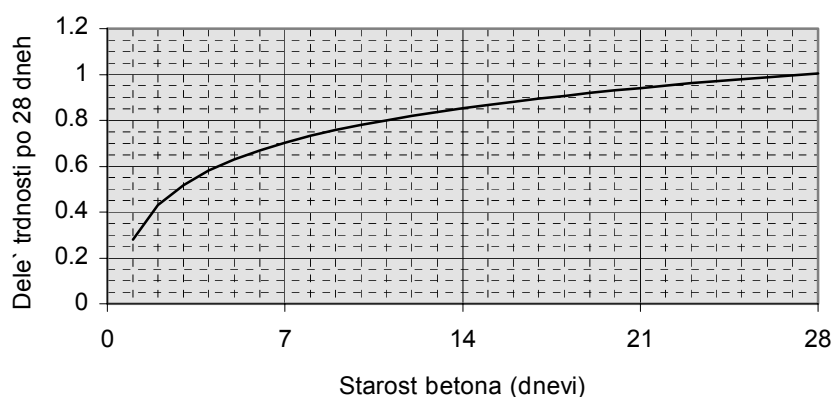
Slika 6: Upogibni natezni preizkus



Preglednica 3: Rezultati preizkusa betona iz predhodnje vaje

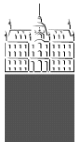
		Kocka 15/15/15 cm			Valj 15/30 cm		Prizma 10/10/40 cm			
Ime preizkušanca										
Starost preizkušanca (dni)										
Masa (kg)										
Izmere (mm)	a									
	b									
	c									
Prostorninska masa (kg/m^3)										
Tlačna trdnost f_c (kN/cm^2)										
Cepilna -natezna trdnost f_{ct} (kN/cm^2)										
Upogibna trdnost f_{cf} (kN/cm^2)										

Vpliv starosti betona na njegovo trdnost



Izračunani $\alpha =$

Izmerjeni $\alpha =$

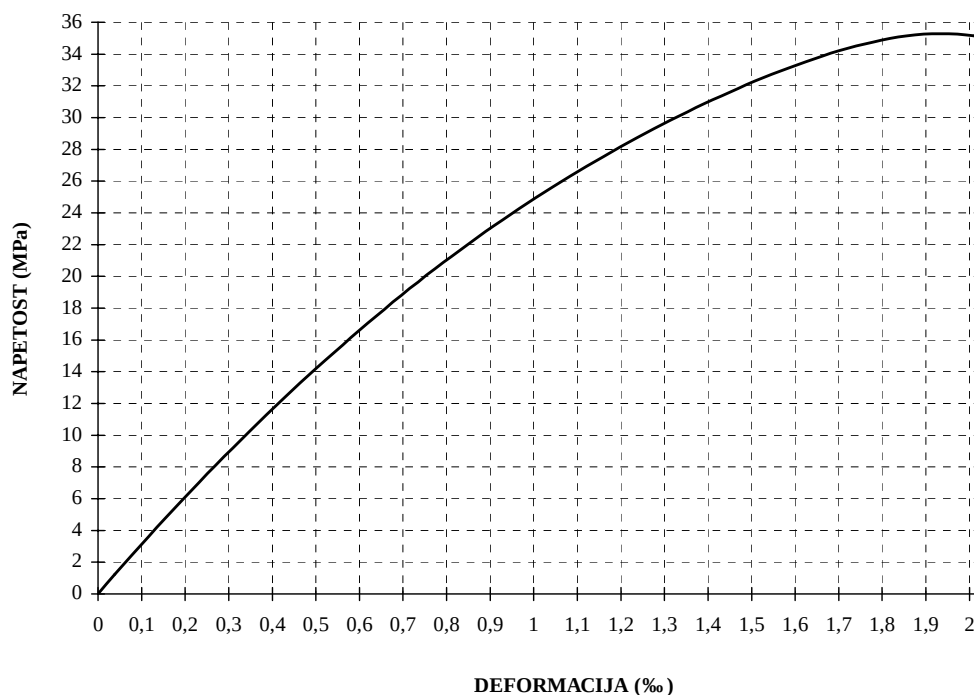


Preglednica 4: Primerjave lastnosti betona iz predhodne vaje

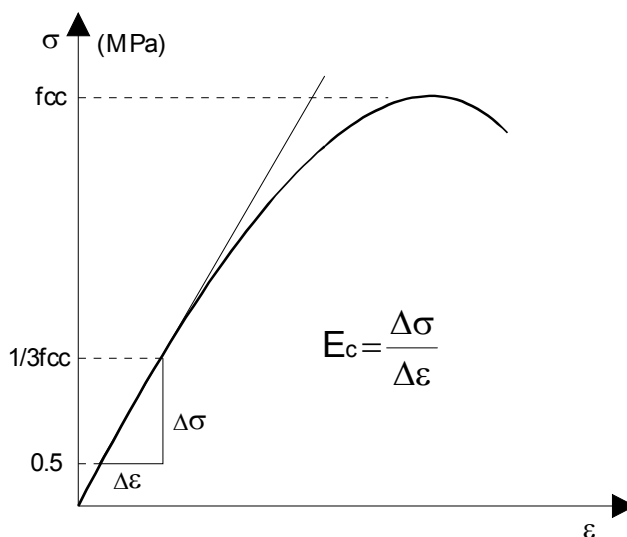
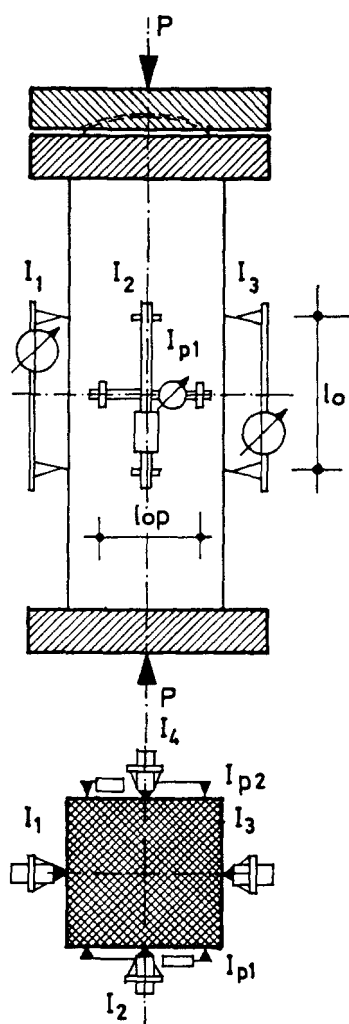
Mešanica betona			
$f_{c,28} = f_c / \alpha$ (MPa)			
f_{ct} / f_c kocke			
f_{ct} / f_c prizme			
f_{cf} / f_c prizme			
f_{cf} / f_{ct} prizme			
f_c (kocke) / f_c (prizme)			

3. STATIČNI MODUL ELASTIČNOSTI

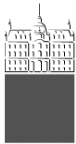
S tlačnim preizkusom prizme določimo $\sigma - \varepsilon$ diagram betona, tako da merimo delujočo obtežbo in specifične deformacije (slika 7). Statični modul elastičnosti betona določimo kot sekantni modul iz izraza $E_c = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ (slika 8b). Spodnja meja sekante je pri trdnosti 0.5 MPa, zgornja pa pri 1/3 ugotovljene tlačne trdnosti prizme. Pri meritvi moramo deformacije betona meriti na osnovi ki je enaka vsaj 2/3 najmanjše dimenzije prizme.



Slika 7:



Slika 8: Določanje statičnega modula elastičnosti betona



4. DOLOČANJE DINAMIČNEGA MODULA ELASTIČNOSTI E_D Z MERJENJEM HITROSTI LONGITUDINALNIH ULTRAZVOČNIH VALOV

Glede na to, da je hitrost vzdolžnih ultrazvočnih valov definirana z izrazom:

$$v = \sqrt{\frac{E_D}{\gamma} \cdot \bar{f}(\mu_D)},$$

$$\text{kjer je: } \bar{f}(\mu_D) = \frac{1 - \mu_D}{(1 + \mu_D) \cdot (1 - 2\mu_D)},$$

in so: E_D – dinamični modul elastičnosti
 μ_D – dinamični Poissonov koeficient
 γ – gostota materiala
 v – hitrost gibanja ultrazvočnih valov

Naprava za preskušanje s pomočjo ultrazvoka je sestavljena iz merilnega inštrumenta, dveh sond, od katerih je ena oddajnik druga pa sprejemnik ultrazvočnih impulzov, kablov, ki spajajo merilni instrument s sondami in kalibratorja, ki služi za preverjanje pravilnosti delovanja aparature. Vzorec, na katerem merimo hitrost ultrazvoka, postavimo med sondi in izmerimo čas t , ki ga potrebuje ultrazvok za prehod dolžine s med sondama. Pri preverjanju aparature pa med sondi postavimo kalibrator – odčitek na merilnem inštrumentu mora biti enak vrednosti, ki je označena na kalibratorju.

Pri postavljanju sond na površino elementa, na katerem vršimo merjenje, je potrebno zagotoviti popolni kontakt s površino. To dosežemo s čiščenjem in ravnanjem površine in z nanašanjem tankega sloja vazelina, tekočega mila ali silikonske paste. Obvezno moramo namreč odstraniti zrak na stiku sonda – material.

Hitrost ultrazvoka izračunamo s pomočjo izraza:

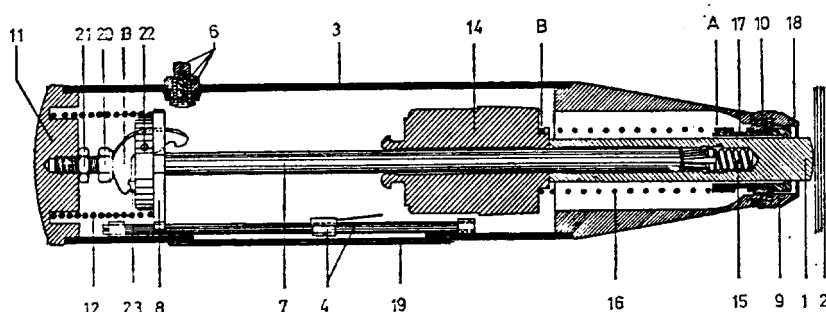
$$v = \frac{s}{t} \cdot 10^6 \quad (m/sec)$$

Kjer je pot s v metrih čas t pa v μsec .

5. OCENA TRDNOSTI BETONA S SKLEROMETROM

S pomočjo sklerometra (slika 9) določamo indeks sklerometra, ki je odvisen od površinske trdote betona. Indeks na posameznem mestu določimo kot povprečje desetih odčitkov pri sklerometriranju. Sklerometriramo na površini, ki smo jo predhodno zgladili. V tej vaji bomo sklerometriral beton vgrajen v konstrukcijo. Na ta način bomo dobili 60 indeksov, ki jih bomo vnesli v preglednico (5), jih statistično obdelali v preglednici (6) ter grafično prikazali. Rezultate statistične obdelave bomo uporabili za določitev števila odvzema valjastih vzorcev, ki jih bo potrebno izvrtati iz konstrukcije glede na kriterije podane v preglednici (7).

Iz diagrama za oceno tlačne trdnosti betona bomo odčitali trdnost betona ki ustreza povprečnemu ugotovljenemu indeksu sklerometra. Uporabili bomo diagram ki je priložen sklerometru in prikazan na sliki (10).



Slika 9:

Kjer so: 1-udarna igla, 2-beton, 3-ohišje, 4-kazalec, 6-gumb, 7-vodilo, 8-podložka za vodilo, 9-pokrov, 10-dvodelni obroč, 11-pokrov, 12-vzmet, 13-kljuka, 14-masa, 15-vzmet, 16-vzmet, 17-oklep, 18-tesnilo iz klobučevine, 19-steklo z razdelbo, 20-vijak, 21-matica, 22-čep, 23-vzmet za kljuko.

Preglednica 5: Rezultati sklerometriranja

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
indeks															
n	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
indeks															
n	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
indeks															
n	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
indeks															

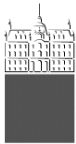
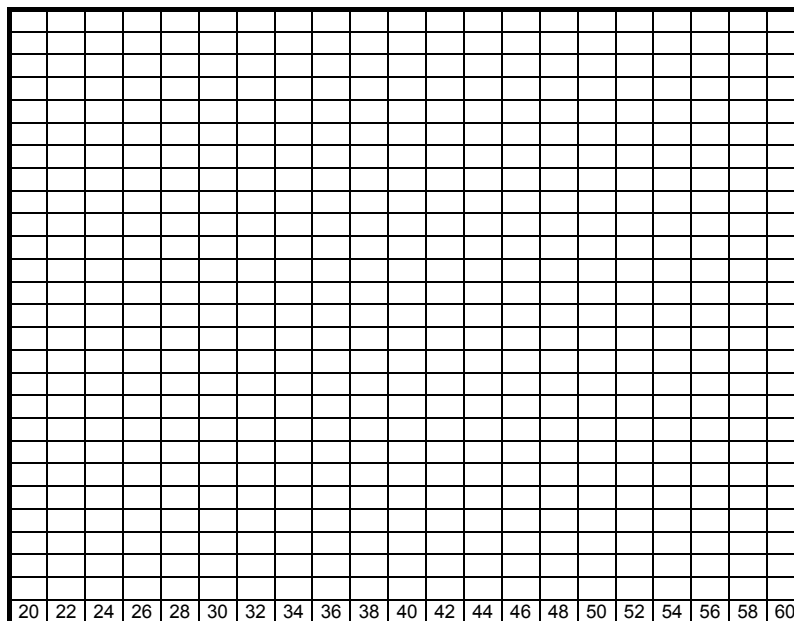


Diagram pogostosti indeksov sklerometra

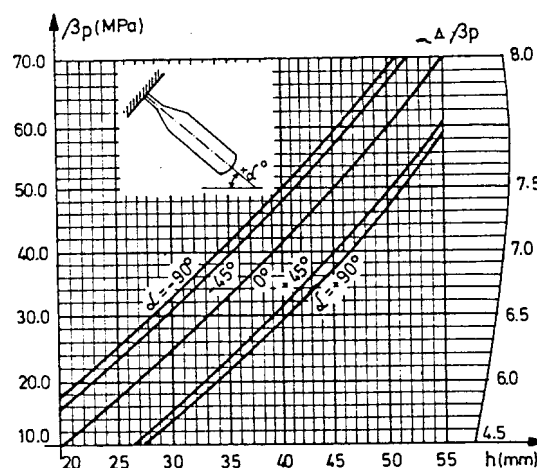


Indeks sklerometra

Preglednica 6 Statistična obdelava rezultatov sklerometriranja

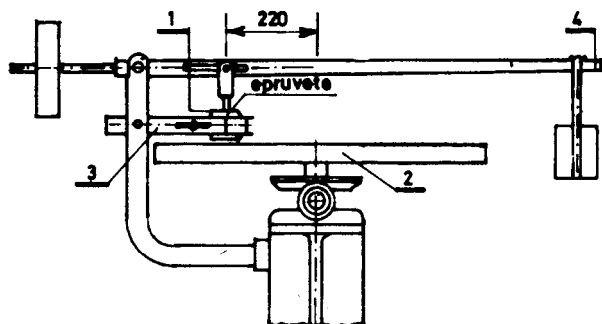
Število indeksov n		Standardni odklon sklerometra	Število valjev
Povprečni indeks $\bar{x}$		do 2	3
Standardni odklon indeksa $s = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}$		2 do 3	5
16% fraktila indeksa $\bar{x} - s$		3 do 4	7
raztros indeksa $v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100(\%)$		več kot 4	10
ocena tlačne trdnosti $f_{cc} = f_{cc}(\text{indeks}) \pm \Delta f_{cc}$			

Preglednica 7



Slika 10: Diagram odvisnosti tlačne trdnosti betona od indeksa sklerometra

6. ODPORNOST PROTI OBRUSU (BÖHMEJEVA METODA) (SIST 1026)



Slika 11:

Odpornost materiala proti obrusu se z Böhmejevo metodo določa kot razmerje med prostornino materiala odstranjenega z brušenjem in kvadratno površino vzorca s stranico 7,1 cm, to je z brusilno površino 50 cm².

Aparatura za brušenje ima sledeče glavne dele:

- ravna krožna brusna plošča iz litega železa (2),
- mehanizem, ki drži epruveto in je pritrjen na steber aparature, hkrati pa služi tudi kot vodilo (3). Središče epruvete je 220 mm oddaljeno od središča brusne plošče.

- mehanizem za nanašanje obtežbe: jeklena ročica z utežjo, katere teža je tako velika, da je epruveta pritisnjena s silo (294±3)N (oziroma z napetostjo okrog 0,06 MPa na brusni površini epruvete) (4).

Plošča se vrti s hitrostjo 30 obratov/minuto in se po vsakih 22. obratih ustavi. Na aparaturi se nahaja tudi števec obratov. Za brušenje uporabljamo brusni prah, normalni elektrokorund. Za vsak cikel 22. obratov se uporabi po 20 g brusnega prahu. Po vsakih 4 ciklih obrnemo vzorec za 90°, po 16. ciklih (352 obratih) pa dobimo podatke potrebne za izračun.

Priprava na preskus se začne pri starosti preskušancev najmanj 28 dni:

- * vzorci za preiskave betonov z največjim zrnom agregata večjim od 8 mm in prefabriciranih betonskih elementov, se izrežejo in obdelajo tako, da dobimo kocko z dolžino stranice 7,1 cm,
- * za betone z največjim zrnom agregata 8 mm lahko izdelamo epruveto tudi iz svežega betona, ki jo preskusimo po najmanj 28 dneh nege v vodi.

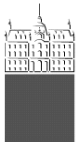
Za preskus potrebujemo najmanj 3 preskušance. Pred preskušanjem se določi prostorninska masa posameznega preskušanca ρ_R na podlagi izmerjenih dimenzij (na 0,1 mm natančno) in mase (na 0,1 g natančno). Pred preskušanjem in nato po vsakih 4 ciklih se preskušanec stehta na 0,1 g natančno.

Obrus betona po 16 ciklih se določi z izgubo prostornine preskušanca ΔV v cm³ na površini 50 cm², torej $\Delta V/50$. Izguba prostornine se določi z izrazom:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_R} \text{ kjer je:}$$

Δm izguba mase po 16 ciklih v g,

ρ_R prostorninska masa betona v g/cm³

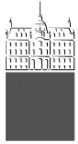


DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL



VAJA 6 - MEHANSKE IN TEHNOLOŠKE LASTNOSTI KOVIN

Od mehanskih in tehnoloških lastnosti kovin je odvisna njihova uporabnost. Osnovne mehanske lastnosti kovin so:

- lastnosti, ki se določajo z nateznim preizkusom standardiziranih vzorcev (epruvet) (SIST EN 10002)
- trdota kovin
- udarna žilavost

S tehnološkimi preiskavami ugotavljamo:

- deformabilnost oz. duktilnost s pregibnim preizkusom (SIST EN ISO 7438)
- deformabilnost z izmeničnim prepogibanjem
- deformabilnost z navijanjem

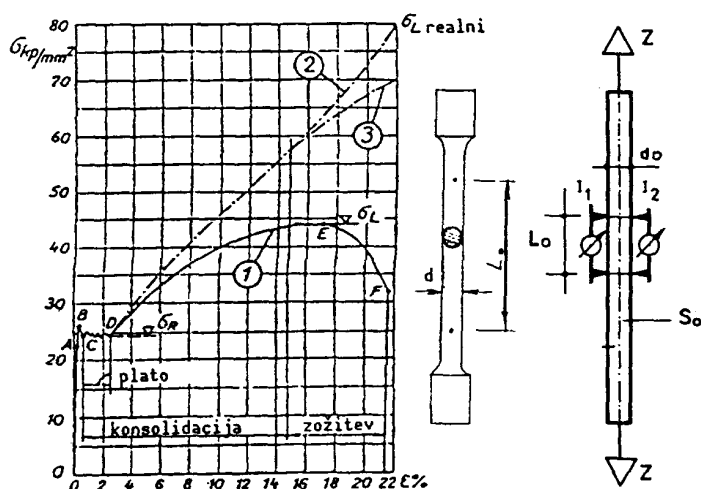
1. MEHANSKE LASTNOSTI

1.1 NATEZNI PREIZKUS

1.1.1 Opis σ - ϵ diagrama (po F.Kržič: Jeklene konstrukcije 1, FGG, 1992)

Natezni preizkus, ki ga izvajamo s statično obtežbo (počasi stopnjevana obremenitev preizkušanca) omogoča ugotavljanje meje elastičnosti, meje tečenja (meje velikih deformacij), natezne trdnosti, deformacij na teh mejah, raztezkov epruvete in zožanja njenega prereza pri porušitvi (kontrakcija). Podatke o obnašanju epruvete vsebuje σ - ϵ diagram (slika 1).

V diagramu na sliki 1 so označena mejna stanja, skozi katera prehaja epruveta med nateznim preizkusom. V območju O - A se material obnaša elastično. Točka A označuje mejo elastičnosti, kjer je raztezek reda velikosti 0.1 do 0.2%. Območje A - D je področje plastičnega tečenja. Točki B in C označujeta zgornjo in spodnjo mejo plastičnosti. Pri mehkih konstrukcijskih jeklih znaša raztezek v točki D od 2 do 4%. Od točke D dalje se material utrjuje. Pri plastičnih deformacijah materiala, v katerem so znotraj kristalnih rešetk različne dislokacije, se le-te premikajo in povzročajo tvorbo dodatnih dislokacij. Nadaljnjo plastifikacijo dosežemo s povečevanjem napetosti, zato tako stanje imenujemo utrditev materiala. Ta se razlikuje od predhodnega stanja tečenja materiala (C-D), kjer so se deformacije večale brez dodajanja obremenitve. Pri večanju obremenitve po utrditvi se postopoma rušijo kristalne rešetke do pretrga epruvete.



$$\sigma = P / S_0$$

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

kjer je:

S_0 ... začetni prerez preizkušanca,

ΔL ... podaljšek palice $\Delta L = L - L_0$

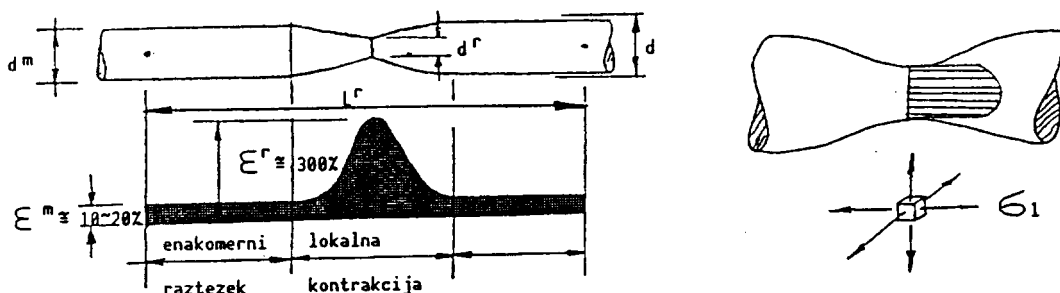
L_0 ... začetna dolžina neobremenjene palice,

L trenutna dolžina palice.

Slika 1: Značilni σ - ε diagram

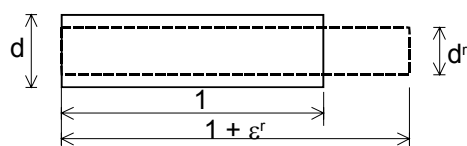
Krivulja ① predstavlja diagram, ki je narisano ob predpostavljjenem konstantnem prerezu epruvete ves čas preizkusa. Krivulja ② predstavlja diagram ob upoštevanju dejanskega prereza epruvete, krivulja ③ pa korigirano krivuljo ② ob upoštevanju večosnega napetostnega stanja zaradi pojava kontrakcije.

Točka E označuje natezno trdnost materiala, točka F pa porušitev (pretrg) epruvete. Raztezek na meji trdnosti znaša pri mehkih jeklih okoli 20%, pri trdih jeklih pa okoli 4-6% (žica za prednapeti beton). Pri pretrgu epruvete znaša raztezek do približno 30%. V območju do točke E se epruveta razmeroma enakomerno razteza, po prehodu te točke pa nastaja lokalna kontrakcija (slika 2). Večji del raztezkov se dogaja na območju kontrakcije.



Slika 2: Pojav lokalne kontrakcije epruvete.

Padajoči del krivulje E - F je močno odvisen od začetne merilne dolžine preizkušanca L_0 . Raztezek pri porušitvi $\delta = \Delta L^r / L_0$, ki se ugotavlja po veljavnih predpisih, upošteva le povprečje iz enakomernega raztezka ε^m in spremenljivih raztezkov na mestu lokalne kontrakcije. Zato moramo vedno navesti za katero merilno dolžino (L_0 je 5d, 10d, 40d) velja izmerjeni merski raztezek. Dejanski porušni raztezek ε^r lahko izračunamo s pomočjo izmerjenega porušnega premera d^r upoštevajoč dejstvo, da pri plastičnih deformacijah ostane prostornina konstanta, kot je to prikazano v nadaljevanju:



Slika 3:

$$V = \text{const.} = 1 \cdot d^2 \cdot \pi/4 = (1 + \varepsilon^r) \cdot d^{r2} \cdot \pi/4$$

$$\varepsilon^r = (d/d^r)^2 - 1$$

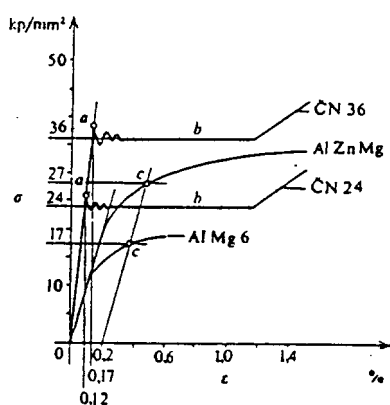
Kontrakcija:

$$\psi = (S_0 - S^r)/S_0 = 1 - (d^r/d)^2$$

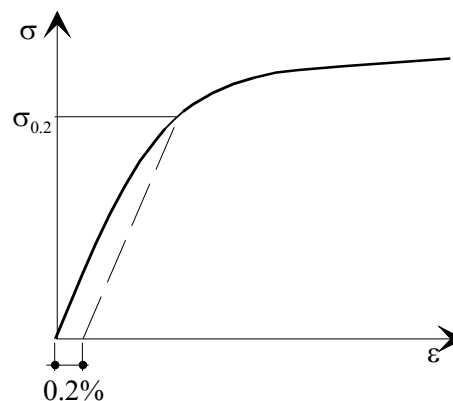
Resnični porušni raztezek izražen s kontrakcijo:

$$\varepsilon^r = \psi / (1 - \psi)$$

Pri trših jeklih ki vsebujejo večjo količino ogljika, je trdnost materiala σ^m večja, dolžina plastičnega platoja B - D pa manjša. Na sliki 4a je prikazana razlika med σ - ε dijagrami za jekla različne trdote in aluminij. Pri kovinah, kjer ni vidna izrazita meja elastičnosti, se le-ta določa z napetostjo ($\sigma_{0,2}$) pri kateri preostala (nepovratna) deformacija znaša $\varepsilon = 0.2\%$ (slika 4b). Plastično obnašanje materiala je odvisno od hitrosti deformacij. Zato natezni preizkus izvajamo s standardizirano hitrostjo obremenjevanja 10 MPa/s.



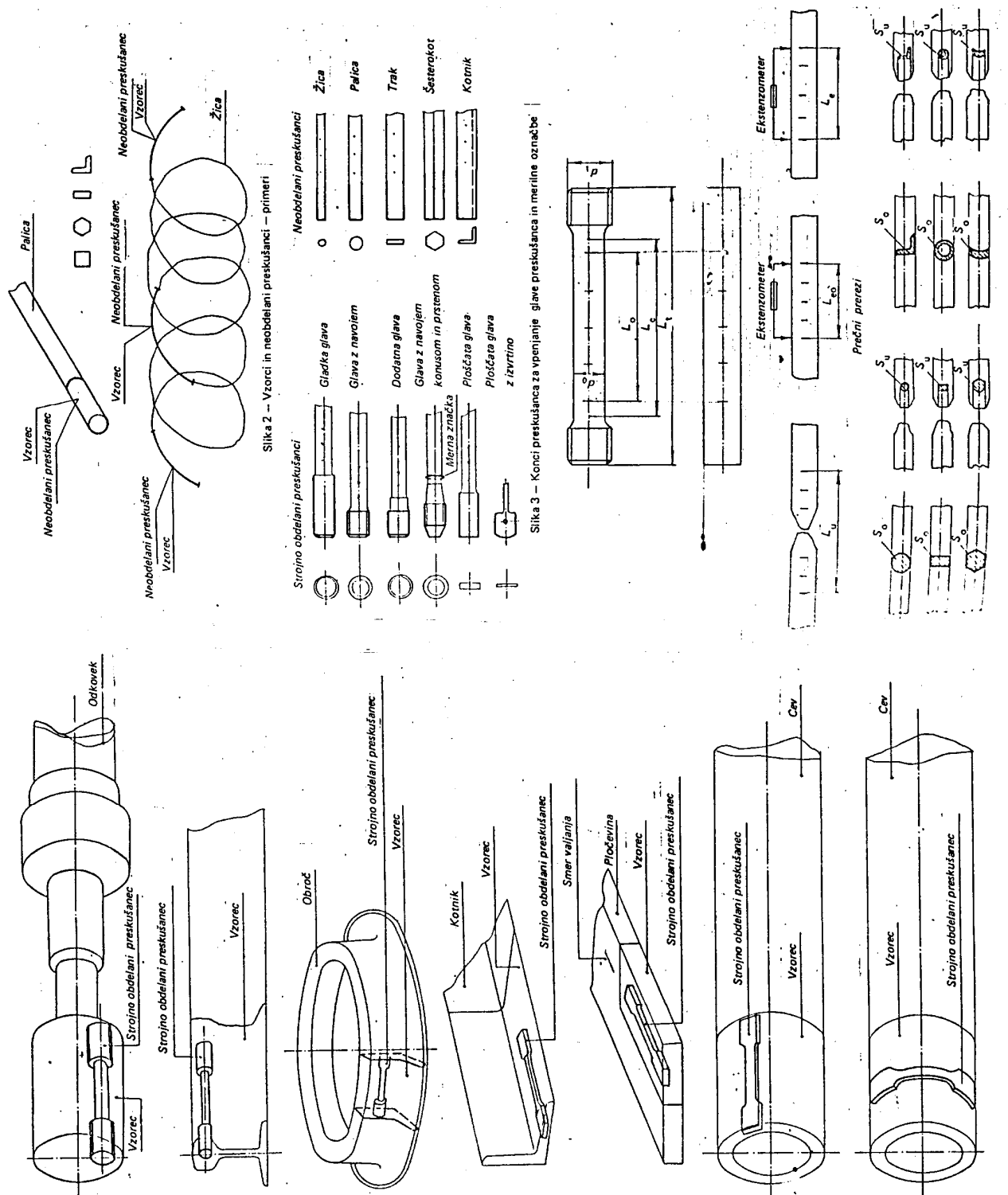
(a)



(b)

Slika 4: Primerjava σ - ε diagramov (a) in določitev meje $\sigma_{0,2}$ (b)

Natezni preizkus pri običajnih kontrolah kakovosti kovin izvajamo tudi na starejših trgalnih strojih, ki nam ne omogočajo natančno registracijo deformacij iz katerih bi lahko zanesljivo izračunali specifične deformacije. Pri takih strojih se specifične deformacije dajo meriti z mehanskimi inštrumenti (deformetri), ki so pritrjeni na sredini epruvete. Zaradi možnosti resnih poškodb inštrumenta pri porušitvi epruvete, jih običajno odstranimo pred koncem preiskave. Več podatkov dobimo, če za merjenje specifičnih deformacij uporabimo merilne lističe. Izmerjene specifične deformacije v območju O - E so realne, za določitev specifičnih deformacij v območju E - F pa uporabimo deformacije določene na osnovi kontrakcije.



Slika 5: Odvzem vzorcev in njihove značilnosti (ISO 6892 (1984))



1.1.1 Izvedba nateznega preizkusa z določitvijo P - δ diagrama

Epruvete izrežemo iz konstrukcijskih elementov ali osnovnega materiala v eni izmed oblik, ki jih predpisujejo standardi (slika 5). V preglednici 1 so prikazane merilne dolžine epruvet. Pri obdelanih epruvetah ločimo "proporcionalne" ($k = 11.3$) in "proporcionalno kratke" ($k = 5.65$) epruvete. Pri preiskavah armature (betonskega železa) so epruvete lahko neobdelane ("tehnične" epruvete).

Epruveta	Prerez	k	Merilna dolžina	Razteg
Obdelana	Krožni	5.65	$L_0 = 5.65 \cdot \sqrt{S_0} = 5 \cdot d_0$	
		11.3	$L_0 = 11.3 \cdot \sqrt{S_0} = 10 \cdot d_0$	
	Poljubni	5.65	$L_0 = 5.65 \cdot \sqrt{S_0}$	$\delta_5 = \delta_{5.65}$
		11.3	$L_0 = 11.3 \cdot \sqrt{S_0}$	$\delta_{10} = \delta_{11.3}$
Neobdelana	Krožni in poljubni		Po celi dolžini	δ_5, δ_{10}

V tej vaji bomo izvajali natezne preizkuse "tehničnih" epruvet iz mehkega (gladka armatura) in tršega jekla (rebrasta armatura) ter iz aluminija in medenine. Preiskovali jih bomo v trgalnem stroju, ki ne omogoča natančne meritve specifičnih deformacij. Le-teh tudi ne bomo merili z inštrumenti na epruvetah. Kot rezultat preiskave bomo dobili P- δ diagram, to je diagram sila - razteg. Na osnovi teh diagramov bomo konstruirali diagrame, na katerih bomo medsebojno primerjali diagrame mehkega jekla, aluminija in medenine. Pri tem bomo napetost (σ) normirali glede na prostorninsko maso materiala (γ). Normalizirane vrednosti določimo kot razmerje med obremenitvijo in prostorninsko maso (σ/γ).

Žilavost in duktilnost kovine običajno določamo iz σ - ϵ diagrama. Vendar se te lastnosti dajo oceniti tudi iz raztezka in kontrakcije epruvete po pretrgu.

Raztezek po pretrgu določimo iz izraza: $\delta_{10(5)} = 100 \cdot (L_u - L_0) / L_0$ (%). Dimenzije epruvete in njihove oznake so prikazane na sliki 6.

Na epruveti pred preiskavo označimo merne točke v enakomernem razmaku. Po pretrgu merimo raztezek med točkama M_1 in M_2 (slika 6). Dolžino L_u določimo v odvisnosti od mesta pretrga:

Če je epruveta pretrgana na srednji tretjini merilne dolžine, je dolžina L_u enaka razdalji med točkama M_1 in M_2 ,

Če je epruveta pretrgana izven srednje tretjine merilne dolžine, krajnjo točko merilne dolžine na krajšem delu pretrgane epruvete označimo z X. Na daljšem delu epruvete z Y označimo točko, ki je za eno razdelbo bližja mestu pretrga kot je točka X. Če je n število razdelb med točkama X in Y, in N celotno število razdelb, L_u določimo:

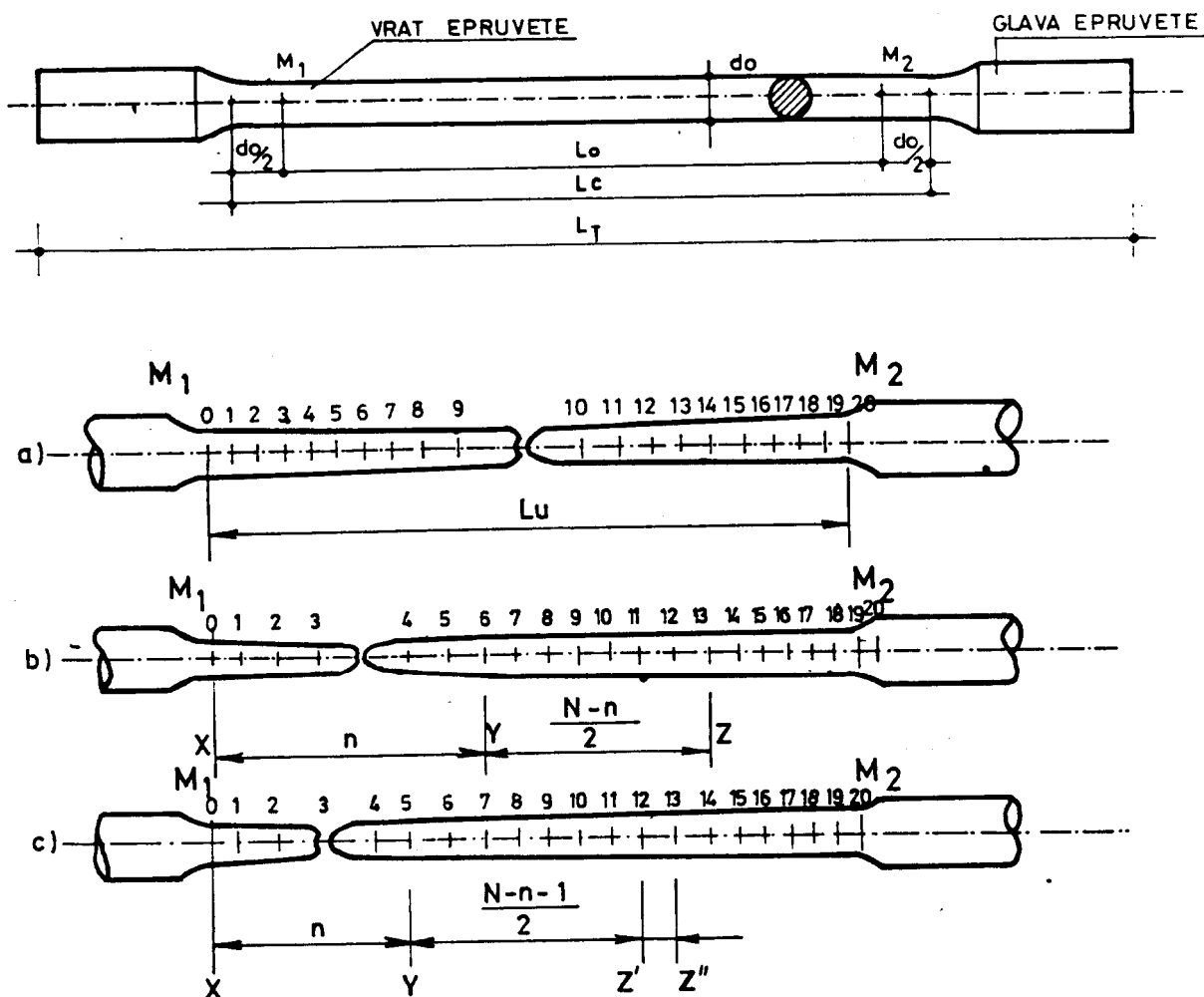
* v primeru, ko je $(N-n)$ sodo število, merimo razdalji X-Y in Y-Z. Točka Z je od točke Y oddaljena za $(N-n)/2$ razdelb, in je merodajna dolžina enaka:

$$L_u = XY + 2YZ = n + 2(N-n)/2$$

*v primeru, ko je $(N-n)$ liho število, merimo razdaljo $X-Y$ in razdalji $Y-Z'$ ter $Y-Z''$. Točka Z' se nahaja v oddaljenosti $(N-n-1)/2$ razdelb od točke Y , točka Z'' pa $(N-n+1)/2$ razdelb. Merodajna razdalja znaša:

$$L_u = XY + YZ' + YZ'' = n + (N-n-1)/2 + (N-n+1)/2$$

Opisano korigiranje dolžine meritve izvajamo zaradi izločitve vpliva območja kontrakcije v katerem nastopajo neenakomerni in veliki raztezki.



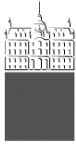
Slika 6: Epruveta pred in po pretrgu



1.1.2 Obdelava rezultatov nateznega preiskusa neobdelanih epruvet

Vrsta in gostota kovine	m	L_T	ϕ	L_0	d_0	S_0	P_v	σ_v	P_m	σ_m	L_u	(δ_{10}) (δ_5)	d_u	S_u	ψ	ε^r
(kg/m ³)	(g)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(kN)	(MPa)	(mm)	(%)	(mm)	(mm ²)	(%)	(%)
Gladka armatura																
Rebrasta armatura																

$$S_0 = \frac{d_0^2 \pi}{4} \quad \sigma_v = \frac{P_v}{S_0} \quad \sigma_m = \frac{P_m}{S_0} \quad \delta_{10} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad S_u = \frac{d_u^2 \pi}{4} \quad \psi = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \quad \varepsilon^r = \psi / (1 - \psi)$$



PODATKI ZA DIAGRAME DEFORMACIJA (ε) V % - NAPETOST (σ) V MPa

Vrsta kovine:

Vrednost največje napetosti (natezne trdnosti) v MPa:

Pripadajoča razdalja na y-osi na zapisu preiskave v cm:

Sila v MPa/cm (k2) na y-osi zapisa preiskave:

Deformacija ob pretrgu epruvete (δ_{10}) v %:

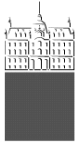
Razdalja na x-osi na zapisu preiskave v cm:

Deformacija v %/1 cm (k1) na x-osi zapisa preiskave:

Zap.št.	P1 Razdalja na x-osi (cm)	P2 Razdalja na y-osi (cm)	Deformacija = P1 x k1 (%)	Napetost = P2 x k2 (MPa)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				



PODATKI ZA DIAGRAME DEFORMACIJA (ε) V % - NAPETOST (σ) V MPa				
Vrsta kovine:				
Vrednost največje napetosti (natezne trdnosti) v MPa:				
Pripadajoča razdalja na y-osi na zapisu preiskave v cm:				
Sila v MPa/cm (k2) na y-osi zapisa preiskave:				
Deformacija ob pretrgu epruvete (δ_{10}) v %:				
Razdalja na x-osi na zapisu preiskave v cm:				
Deformacija v %/1 cm (k1) na x-osi zapisa preiskave:				
Zap.št.	P1 Razdalja na x-osi (cm)	P2 Razdalja na y-osi (cm)	Deformacija = P1 x k1 (%)	Napetost = P2 x k2 (MPa)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				



PODATKI ZA DIAGRAME DEFORMACIJA (ε) V % - NAPETOST (σ) V MPa

Vrsta kovine:

Vrednost največje napetosti (natezne trdnosti) v MPa:

Pripadajoča razdalja na y-osi na zapisu preiskave v cm:

Sila v MPa/cm (k2) na y-osi zapisa preiskave:

Deformacija ob pretrgu epruvete (δ_{10}) v %:

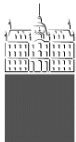
Razdalja na x-osi na zapisu preiskave v cm:

Deformacija v %/1 cm (k1) na x-osi zapisa preiskave:

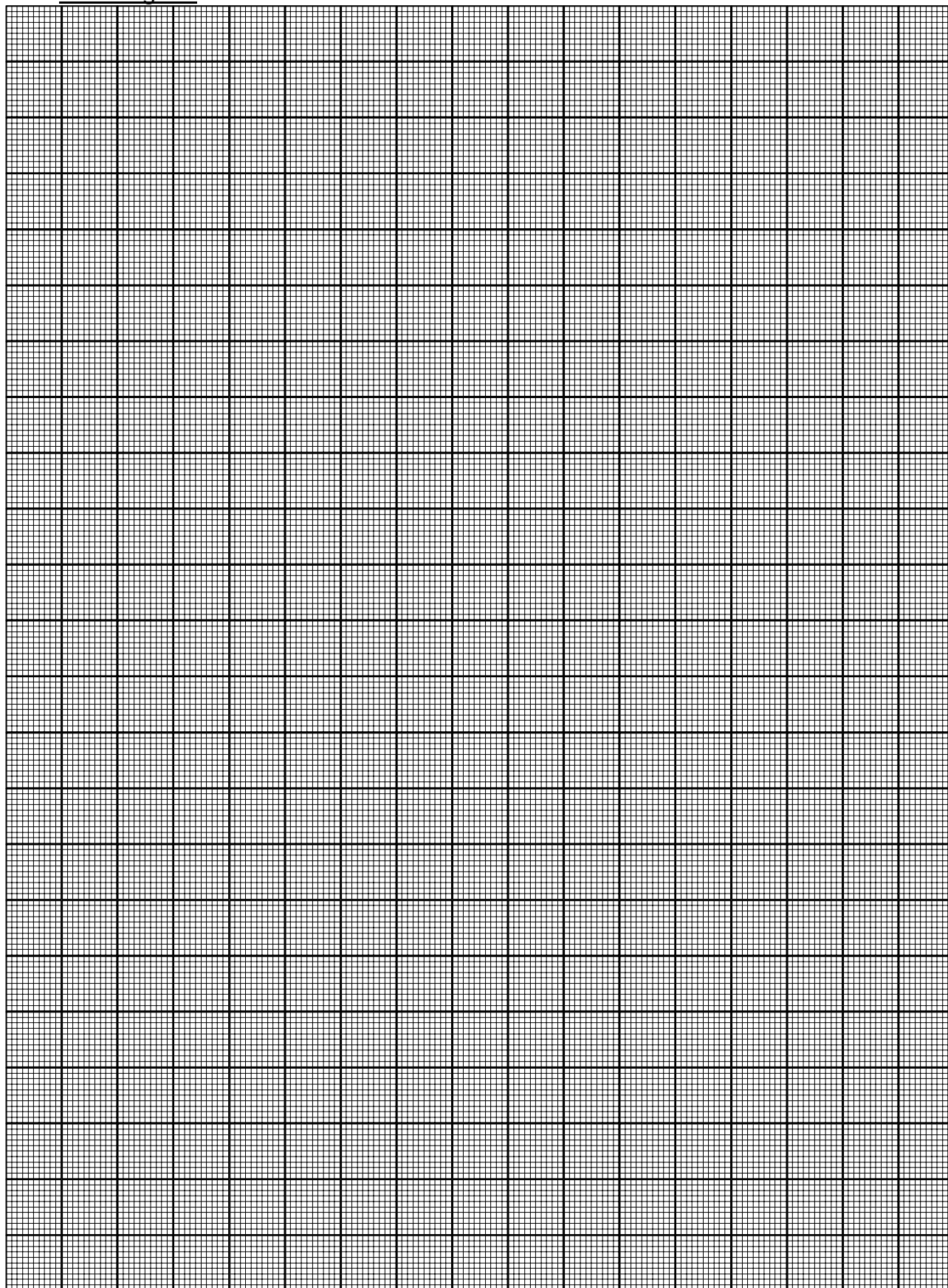
Zap.št.	P1 Razdalja na x-osi (cm)	P2 Razdalja na y-osi (cm)	Deformacija = P1 x k1 (%)	Napetost = P2 x k2 (MPa)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				



PODATKI ZA DIAGRAME DEFORMACIJA (ε) V % - NAPETOST (σ) V MPa				
Vrsta kovine:				
Vrednost največje napetosti (natezne trdnosti) v MPa:				
Pripadajoča razdalja na y-osi na zapisu preiskave v cm:				
Sila v MPa/cm (k2) na y-osi zapisa preiskave:				
Deformacija ob pretrgu epruvete (δ_{10}) v %:				
Razdalja na x-osi na zapisu preiskave v cm:				
Deformacija v %/1 cm (k1) na x-osi zapisa preiskave:				
Zap.št.	P1 Razdalja na x-osi (cm)	P2 Razdalja na y-osi (cm)	Deformacija = P1 x k1 (%)	Napetost = P2 x k2 (MPa)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				



1.1.3 σ - ϵ diagram



1.2 UDARNA ŽILAVOST

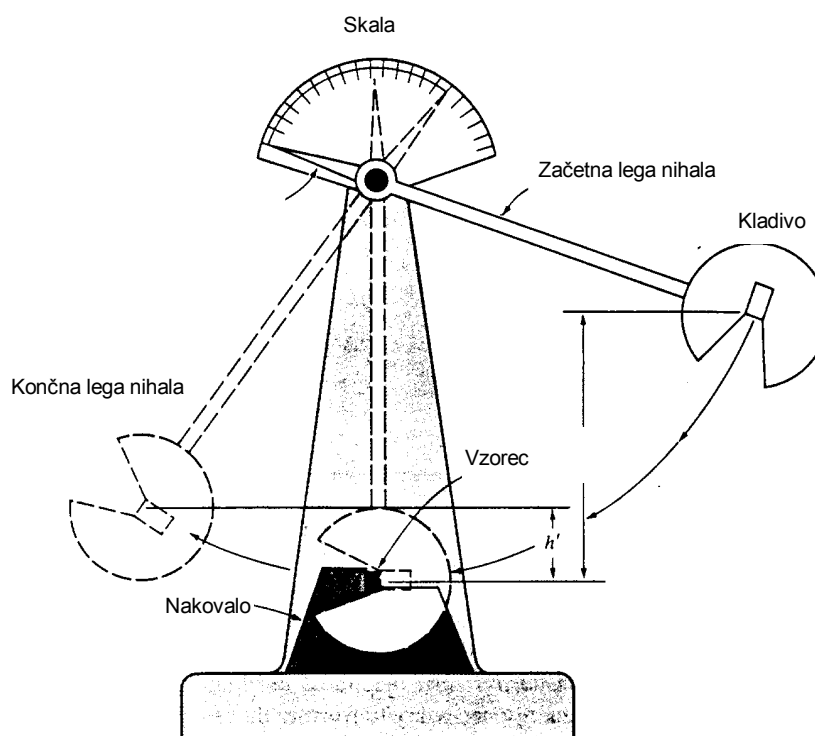
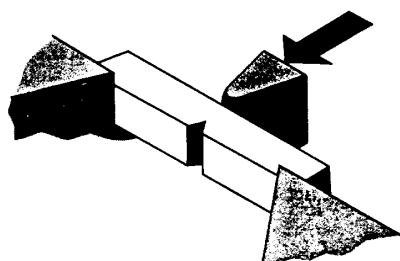
Udarne žilavost definiramo kot delo, ki je potrebno za lom epruvete v oslabljenem prerezu (prerezu z zarezo), preračunano na enoto oslabljenega prereza.

Preiskavo udarne žilavosti izvajamo z napravo, ki jo imenujemo Charpy-jevo nihalo (slika 7). Nihalo (udarna masa) pada s predpisane višine h na epruveto, ki je prostoležeče podprta. Po zlomu epruvete nihalo zaniha do višine h' . Iz razlike višin izračunamo delo, ki je porabljeno za zlom epruvete. Udarne žilavost določimo z izrazom:

$$\rho = G \cdot (h - h') / S_0 = A / S_0$$

A..... porabljeno delo

S_0 prerez epruvete z zarezo
(najmanjši prečni prerez)



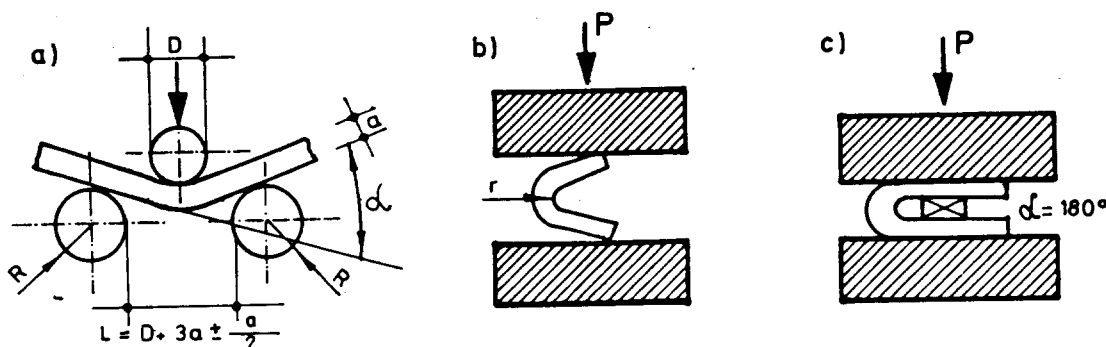
Slika 7: Charpy-jevo nihalo

Običajno uporabljamo epruvete z zarezo globine 3 mm. Preiskava poteka pri temperaturi $20 \pm 2^\circ \text{C}$. Pri preiskavah v drugačnih temperaturnih pogojih, je le-te potrebno posebej utemeljiti.

2. TEHNOLOŠKE PREISKAVE

2.1 DUKTILNOST Z UPOGIBNIM PRESKUSOM (SIST EN ISO 7438)

Z upogibanjem preverjamo deformabilnost jekla v pogojih, ki jim bo material ali izdelek izpostavljen med izdelavo in uporabo. Na sliki 8 je prikazan potek preiskave. Vzorec debeline a položimo na podpore v obliki valja s polmerom R (za debeline vzorca do 12 mm je $R=25$ mm, za vzorce debeline 12 mm in več pa je $R=50$ mm). Vzorce upogibamo s pomočjo trna (valja) premera D . Velikost premera D je predpisana v odvisnosti od vrste preiskovanca. Dolžina vzorca je $L=5 \cdot a + 150$ mm.



Slika 8: Upogibni preizkus jekla

Upogibanje poteka počasi in zvezno do pojava prve razpoke na spodnji površini vzorca. Mera sposobnosti upogibanja je velikost kota α . Če med preiskavo ne nastane razpoka, vzorec dalje upogibamo z neposrednim pritiskanjem njegovih krakov (slika 8 -c). Pri tem lahko uporabimo ustrezen distančnik.

Sposobnost upogibanja ocenimo iz raztezka zunanjih vlaken vzorca, ki ga izračunamo po obrazcu:

$$K = 50 \cdot a / r$$

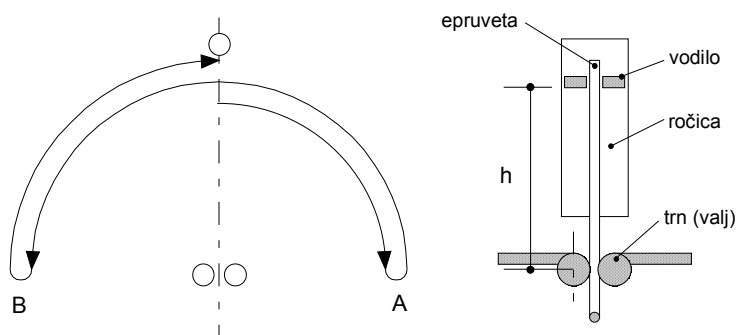
K....upogljivost v procentih

a....debelina vzorca

rpolmer ukrivljenosti nevtralne osi vzorca

2.2 DEFORMABILNOST Z IZMENIČNIM PREPOGIBANJEM

Deformabilnost z izmeničnim prepogibanjem preiskujemo predvsem pri pločevinah in žicah. Potek preiskave je prikazan na sliki 9. Pločevino ali žico ustrezne dolžine na njenem spodnjem koncu vpnemo v čeljust. Nato s premikanjem ročice vzorec izmenično prepogibamo iz navpičnega položaja do loma. Število previjanj, ki povzroči lom vzorca, zaokrožimo na 0,5. Pri tem ne upoštevamo zadnjo polovico pregibanja v kateri je prišlo do loma. Žice za prednapenjanje morajo izdržati vsaj 5 pregibov.

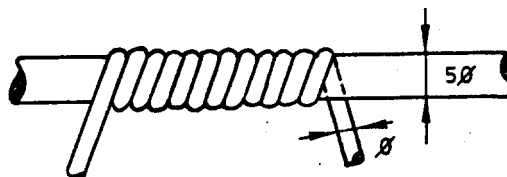


Premjer žice (mm)	Premjer trna (mm)	Ročica (mm)
2 - 3.5	15	35
3.5 - 6	30	60
6 - 8	35	85
8 - 10	45	110

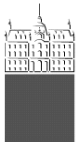
Slika 9: Pregibanje jeklenih žic oz. pločevin

2.3 DEFORMABILNOST Z NAVIJANJEM

Preiskava z navijanjem je namenjena žicam. Žico navijemo okrog trna definiranega prereza. Število navojev, ki so tesno drug ob drugem, je predpisano. Žica mora izdržati navijanje brez pretrga oz. brez vidnih površinskih poškodb. Pri gradbenih jeklih s to preiskavo preskušamo žice za prednapenjanje. Žice morajo izdržati 10 navojev okoli trna prereza 5ϕ .



Slika 10: Navijanje žice okoli trna



DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL



VAJA 7 - PRESKUŠANJE OPEČNIH IZDELKOV

S preskušanjem opečnih izdelkov ugotavljamo njihovo kakovost in uporabnost v konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementih objektov. Za preskuse kakovosti in mehanskih lastnosti moramo iz določene količine izdelkov naključno izbrati reprezentativni vzorec. Pri opečnih zidakah na primer, vzamemo naključno iz večjega števila palet (najmanj šestih) po največ štiri opeke iste vrste in izmer. Zidake, ki so bili poškodovani med transportom, ne izberemo. Ko imamo na voljo zadostno število opek za preiskave v celotnem vzorcu, začnemo z zmanjševanjem vzorca na podvzorke tako, da naključno izberemo zidak in ga razporedimo v določeno podskupino. Različne lastnosti opečnih zidakov določamo praviloma na vsaj 10. vzorcih enake vrste.

1. OPEKA IN OPEČNI BLOKI – ZIDAKI Z VISOKO GOSTOTO (HD)

1.1 PREVERJANJE DIMENZIJ (SIST EN 772-16)

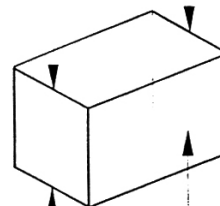
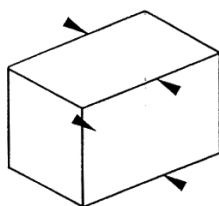
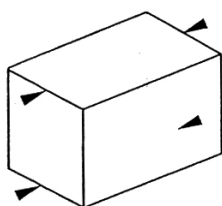
Preglednica 1:

Dimenzije		Izmere preizkušanca (mm)			
		Posamezne vrednosti			Povprečje za opeko
Dolžina $l=250$ mm R1: $l_{\max}-l_{\min} \leq 9$ mm	1vz				
	2vz				
	3vz				
Širina $b=120$ mm R1: $b_{\max}-b_{\min} \leq 7$ mm	1vz				
	2vz				
	3vz				
Višina $h=65$ mm R1: $h_{\max}-h_{\min} \leq 5$ mm	1vz				
	2vz				
	3vz				
T1: Dolžina $l=250 \pm 6$ mm		Povprečje vseh			
T1: Širina $b=120 \pm 4$ mm		Povprečje vseh			
T1: Višina $h=65 \pm 3$ mm		Povprečje vseh			

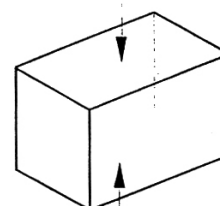
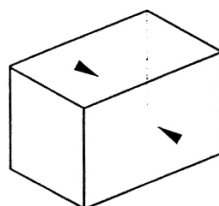
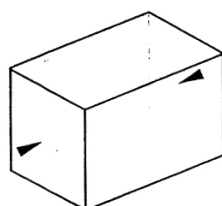
Komentar: Preizkušani vzorci izpolnjujejo zahteve za kategoriji

T1 in R1 po SIST EN 771-1: DA NE

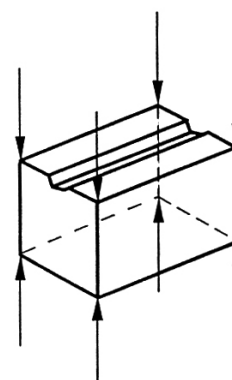
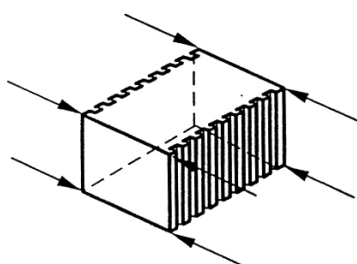
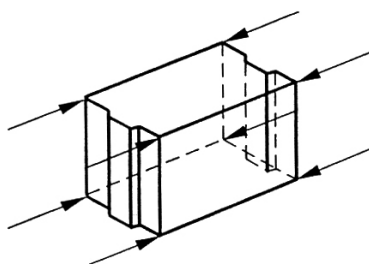
Preverjamo dimenzije desetih opek, ki smo jih vzeli iz povprečnega vzorca. Merimo dolžino, širino in višino in sicer na 1 mm natančno, kar pomeni, da mora merilo omogočati natančnost merjenja 0,1 mm. Pred merjenjem je potrebno odstraniti vse neravnine. Način merjenja je odvisen od dimenzij in oblike zidakov in je prikazan na Sliki 1.



Slika 1a) način preverjanja dimenzij



Slika 1b) način preverjanja dimenzij



Slika 1c) način preverjanja dimenzij

Slika 1: Preverjanje dimenzij v odvisnosti od velikosti in oblike zidakov.

Čeprav standard SIST EN 771-1 v točki 5.3.1.1 navaja: če nazivne dimenzije opeke niso večje od 250 mm za dolžino, 125 mm za širino in 100 mm za višino, se lahko za preverjanje dimenzij uporabi postopek b) opisan v standardu SIST EN 772-16, bomo na vajah sledili postopku a). To pomeni, da bomo na posamezni opeki vsako dimenzijo izmerili dvakrat, v skladu s shemo prikazano na Sliki 1a. Kot rezultat podamo povprečje izmerjenih dimenzij (dolžine, širine in višine) za posamezni vzorec in povprečne vrednosti dimenzij vseh preskušanih vzorcev. Rezultate zaokrožimo na 1 mm. Dimenzije opek za katere pravimo da so normalnega formata in izpolnjujejo zahteve za kategoriji T1 in R1, se morajo nahajati znotraj vrednosti, podanih v preglednici.



1.2 DOLOČANJE TLAČNE TRDNOSTI ZIDAKOV (SIST EN 772-1)

Tlačno trdnost zidakov določamo na vsaj desetih preskušancih. Potem, ko odstranimo morebitne neravnine (na primer z brušenjem), morata biti ploskvi zidaka, ki bosta obremenjeni, ravni in planparalelni. Če nista, jih moramo ustrezno pripraviti. Na voljo imamo praviloma dve metodi: priprava površin z brušenjem dokler niso izpolnjene podane zahteve ali priprava površin z nanosom izravnalnih slojev cementne malte, izdelane s peskom frakcije 0/1 mm. V drugem primeru preizkušance pripravimo nekaj dni pred preiskavo, ker moramo zagotoviti, da bo tlačna trdnost izravnalne cementne malte na dan preiskave vsaj enaka tlačni trdnosti zidaka ali 30 MPa (merodajna je nižja trdnost). Debelina sloja malte mora biti po celotni površini vsaj 3 mm in ne sme presegati 5 mm. V primeru luknjičastih zidakov in votlakov se z malto zapolnijo samo tiste odprtine, ki bodo zapolnjene tudi v zidu, ostale pa ne. Po izdelavi posameznega izravnalnega sloja zidake prekrijemo z vlažno tkanino do trenutka, ko izravnalni sloj pridobi ustrezno trdnost.

Ko so ploskve preskušancev ravne in planparalelne, začnemo s kondicioniranjem preskušancev. Pri opečnih zidakah poteka kondicioniranje praviloma v zračno suhih pogojih: temperatura mora biti $\geq 15^{\circ}\text{C}$, relativna vlaga pa $\leq 65\%$, preskušanci pa odležavajo v teh pogojih vsaj 14 dni ali pa preskušance sušimo pri $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ vsaj 24 ur in jih hladimo pri sobni temperaturi vsaj 4 ure. Potem preskušance obremenimo z enosno tlačno silo, pri čemer je hitrost obremenjevanja odvisna od pričakovane tlačne trdnosti zidaka in je večja za zidake z višjo tlačno trdnostjo in manjša za zidake z nižjo tlačno trdnostjo. Tlačna trdnost posameznega preskušanca (f_b) je največja izmerjena sila (F_b - porušna sila) deljeno s prečnim prerezo zidaka (A_b - dolžina x širina), kot rezultat preiskave pa podamo povprečno tlačno trdnost dobljeno na vsaj šestih zidakah.

Če želimo rezultate tlačne trdnosti uporabiti pri projektiranju zidanih stavb (izračunu nosilnosti zidu), moramo določiti še tako imenovano normirano tlačno trdnost. Normirana tlačna trdnost je tlačna trdnost zidaka konvertirana na zračno suho tlačno trdnost ekvivalentnega zidaka s 100 mm širine in 100 mm višine. Ker je pri kondicioniranju v v zračno suhih pogojih pretvorbeni faktor enak 1, nas bo v okviru te vaje zanimal le faktor oblike δ , podan v preglednici 2.

Preglednica 2:

Širina (mm) Višina (mm)	50	100	150	200	≥ 250
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15



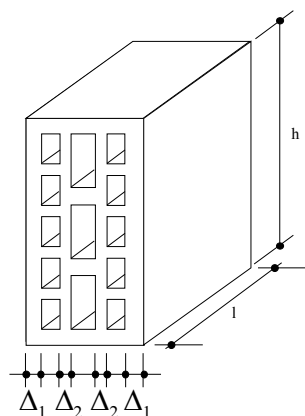
Preglednica 3:

Št. opeke	HD zidak		
	A_b (mm ²)	F_b (N)	f_b (MPa)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
Povprečna tlačna trdnost			
Normirana tlačna trdnost			

Ali so vse tlačne trdnosti večje ali enake 80% deklarirane tlačne trdnosti?

DA NE

Pri vrednotenju rezultatov tlačnih preiskav opečnih blokov z votlinami ločimo dva primera:

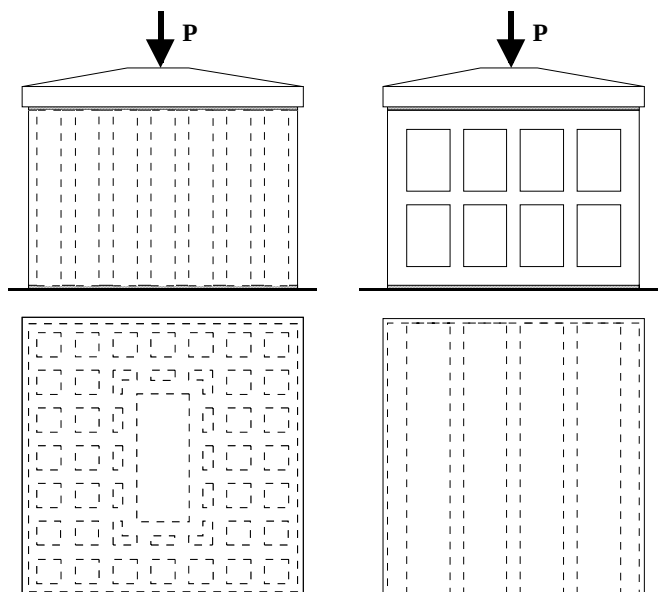


1. Votline se ne odbijajo, če računamo tlačno trdnost zidaka z votlinami na površini naleganja.
2. Če ocenjujemo trdnost materiala računamo z neto površino, to je brez votlin.

Slika 2: Shema predelnega bloka

Preglednica 4:

Št. bloka	A_b (mm ²)	A_{b0} (brez votlin) (mm ²)	P_b (N)	f_b (MPa)	f_{b0} (MPa)
1					
2					
3					
Povprečna tlačna trdnost					
Normirana tlačna trdnost					

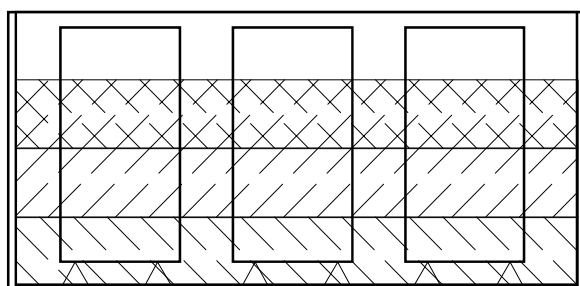


Slika 3: Shema tlačnega preizkusa opečnega bloka.

Tlačno trdnost votlih opečnih blokov preskušamo na posameznih blokih, ki imajo izravnani površini. Na sliki 3 sta shematično prikazana primera blokov z navpičnimi in vodoravnimi odprtini. Postopek preizkusa je enak kot pri polni opeki. Pri izračunu tlačne trdnosti blokov upoštevamo bruto površino vodoravnega prereza.

1.3 VODOVPOJNOST ZIDAKA (SIST EN 771-1, DODATEK C)

Vpojnost za vodo je funkcija poroznosti keramičnih materialov. V bistvu je ta lastnost odvisna izključno od odprte poroznosti materiala, ki je v primeru keramike funkcija temperature pečenja.



Slika 4: Preiskus vodovpojnosti

Vpijanje vode **U** izračunamo s pomočjo izraza:

3/4

2/4

$$U = \frac{m_{ov} - m_o}{m_o} \cdot 100(\%)$$

1/4

Kjer so:

U vpojnost

m_o masa osušene opeke

m_{ov} ... masa z vodo zasičene opeke



Postopek preiskave: v stadardu določeno število opek (10) posušimo v sušilnici pri $T = 105 \pm 5^\circ\text{C}$ do stalne mase. Opeke nato ohladimo ter stehtamo (določimo maso osušenih opek m_0). Vsako opeko položimo v posodo z vodo pri sobni temperaturi. Voda mora biti v stiku s celotno površino opeke. To dosežemo tako, da opeke položimo na lesene letvice.

Opeke naj odležavajo v vodi 24 ur. Potem jih vzamemo iz vode, odstranimo površinsko vodo s pomočjo vlažne krpe ali gobe ter jih stehtamo (določimo maso z vodo zasičene opeke m_{ov}). Sledi račun vodovpojnosti. Najprej izračunamo vodovpojnost za vsako posamezno opeko (na 1% natančno) potem pa še povprečno vodovpojnost določeno na 10 opekah (prav tako na 1% natančno).

V okviru vaj bomo preiskavo vodovpojnosti izvajali na 3 opekah.

Preglednica 5:

Vzorec	m_0 (kg)	m_{ov} (kg)	U (%)
1			
2			
3			
Povprečna vodovpojnost (%)			

1.4 ZMRZLINSKA ODPORNOST OPEK IN OPEČNIH BLOKOV

Zmrzlinško odpornost lahko preizkušamo na istih vzorcih kot vodovpojnost. Ena izmed možnih metod preiskave je sledeča: zasičene vzorce 4 ure zamrzujemo pri temperaturi $-20 \pm 2^\circ\text{C}$. Po zamrzovanju jih 4 ure tajamo v vodi s temperaturo od 15 do 20°C . Količina vode v posodi mora biti večja od štirikratne prostornine vseh vzorcev v njej. Postopek ponavljamo glede na zahteve posameznih standardov ki določajo namembnost opečnih izdelkov. Po končanem zadnjem ciklu sušimo vzorce pri temperaturi $105 - 110^\circ\text{C}$ do stalne mase. Izgubo mase izračunamo iz izraza:

$$\Delta_m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100(\%)$$

Δ_m izguba mase,

m masa osušene opeke pred preiskavo vpojnosti,

m_1 masa osušene opeke po končanem zadnjem ciklu zamrzovanje/tajanje.

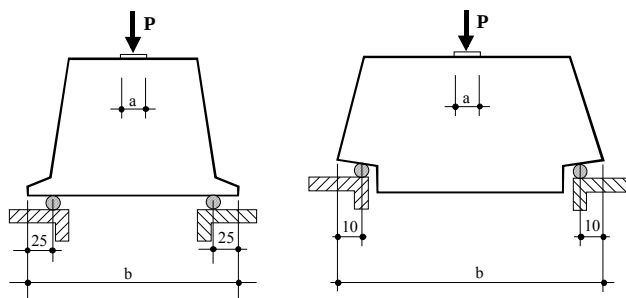
Po vsakem ciklu preiskav pazljivo pregledamo preskušance in zabeležimo vse vidne spremembe kot so luščenje, razpadanje, razpokanje in podobno.

2. PREVERJANJE NOSILNOSTI STROPNIH POLNIL

Nosilnost stropnih polnil preverjamo tako, da jih podpremo in obremenimo v skladu s shemama na sliki 5. Obtežbo prenašamo na vzorec preko jeklenih trakov širine a in debeline vsaj 15 mm. Širino jeklenega traku določimo tako, da prekrije morebitni žleb na sredini polnila in da izven žleba pokrije še po 20 mm z vsake strani. Sila, ki povzroči porušitev polnila predstavlja njegovo nosilnost. Nosilnost polnil izračunamo kot aritmetično sredino vseh rezultatov preiskav.

Preglednica 6:

Št. polnila	b (mm)	F (N)
1		
2		
3		
4		
5		
6		



Slika 5: Shemi preizkusa stropnih polnil

3. PRESKUŠANJE STREŠNIKOV (SIST EN 538)

3.1 UPOGIBNA TRDNOST

Preglednica 7:

Št. strešnika	l (mm)	F (N)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
Povprečna		

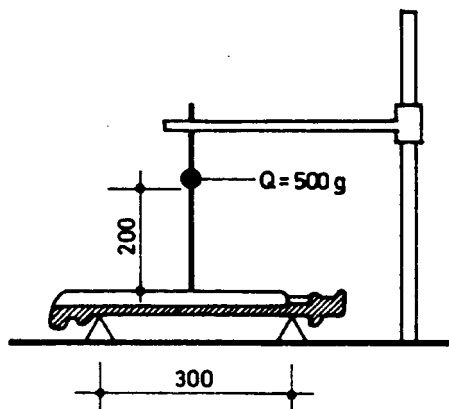
Upogibno trdnost določamo na najmanj 10. strešnikih. Obtežbo nanašamo s hitrostjo največ 50 N/s in registriramo porušno silo z natančnostjo 10 N. Razpon med podporama je 2/3 dolžine strešnika. Pri strešnikih-bobrovcih sta podpori in sistem, preko katerega se nanaša sila na preskušane, iz okroglih jeklenih palic premera od 15 mm do 20 mm in dolžine večje od širine strešnika.

3.2 ODPORNOST NA UDAREC

Strešnik mora prenesti udarno obremenitev, ki jo povzroči prosto padajoča jeklena kroglica z višine 200 mm. To pomeni, da se pri predpisani obremenitvi ne sme porušiti, niti se ne smejo pojaviti razpoke. Masa standardizirane kroglice je 500 gr. Kroglica je v sredini preluknjana in pada vzdolž vodila v obliki kovinske palice (slika 6).

Preglednica 8:

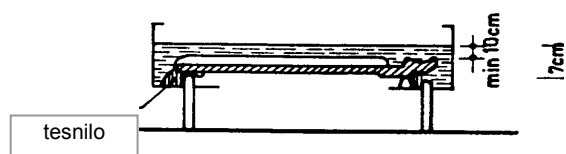
Št. strešnika	Št. udarcev
1	
2	
3	
4	
5	



Slika 6: Shema preskusa

3.3 VODOTESNOST (SIST EN 539-1)

Vodotesnost opečnih strešnikov je določena s časovnim intervalom med trenutkom, ko nalijemo vodo na površino strešnika in trenutkom, ko začno kapljice vode padati na spodaj ležečo podlago. Okrog strešnika namestimo okvir, ki ima take dimenzije, da je njegova notranja površina enaka vsaj 50% površine strešnika in zatesnimo stike (slika 7). Strešnik postavimo na ustrezne podpore, če le te niso že del okvirja. V okvir nalijemo vodo tako, da je gladina vode vsaj 10 mm nad najvišjo točko strešnika. Pod strešnik postavimo ogledalo. Merimo čas, v katerem se pojavijo prve kapljice na spodnji površini strešnika.



Prve kapljice so se pojavile po _____ urah

Slika 7: Shema preizkusa vodotesnosti

DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL

VAJA 8 - PRESKUŠANJE LESA

1. UVOD

Mehanske lastnosti lesa ugotavljamo s standardiziranimi in nestandardiziranimi preiskavami. Preiskave se vršijo na majhnih vzorcih lesa brez napak in na večjih vzorcih, kjer so preizkušanci lahko velikosti konstrukcijskih elementov in vključujejo nepravilnosti lesne strukture. Standardizacija z evropskimi in slovenskimi standardi, ki so večinoma prevzeti evropski (EN), nemški (DIN) ali mednarodni (ISO) standardi, pokriva različna področja obdelave in uporabe lesa, med katerimi so najpomembnejša področja primarne obdelave lesa, žaganega lesa, sušenja lesa, lesnih proizvodov in konstrukcijskega lesa.

V nadaljevanju bomo obravnavali standardizirane preiskave na majhnih vzorcih, s katerimi določimo najbolj značilne mehanske lastnosti lesa:

1. tlačno trdnost v smeri vlaken (EN 408, DIN 52 180, JUS D.A1.045),
2. tlačno trdnost prečno na smer vlaken (EN 408, DIN 52 192, ISO 3132, JUS D.A1.051),
3. statično upogibno trdnost (EN 408, DIN 52 186, ISO 3133, JUS D.A1.046)
4. upogibno trdnosti pri udarni obtežbi (DIN 52 189, ISO 3348, JUS D.A1.047)
5. strižno trdnost v smeri vlaken (DIN 52 187, ISO 3347)
6. strižno trdnost prečno na smer vlaken (DIN 52 187)
7. natezno trdnost v smeri vlaken (EN 408, DIN 52 188, ISO 3345, JUS D.A1.048)
8. natezno trdnost prečno na vlakna in
9. statično trdoto (ISO 3350, JUS D.A1.032)

Mehanske lastnosti lesa so zelo odvisne od njegove vlažnosti. Zato je pomembno, da po preiskavi na že preizkušenem oziroma porušenem vzorcu določimo vlažnost lesa. Največkrat jo določamo z metodo električne upornosti s pomočjo električnega vlagomera (slika 1). Ohmski merilnik deluje na osnovi merjenja električne upornosti lesenega medija, na katero vpliva vlažnost lesa. Izmerimo jo tako, da dve kovinski igli, preko katerih steče električni tok, zasadimo v les in z napravo izmerimo upornost, ki je obratno sorazmerna z vsebovano vlago. Pri rezultatu je potrebno upoštevati vpliv temperature in lesne vrste. Vpliv vlažnosti lesa v območju $12 \pm 3\%$ na določeno trdnost lesa opisuje sledeči izraz:



Slika 1: Merjenje vlage v lesu z električnim vlagomerom.

$$\beta_{i,12} = \beta_{i,H} [1 + \alpha_i \cdot (H - 12)],$$

$\beta_{i,12}$... določena trdnost lesa

pri standardni 12% vlažnosti

$\beta_{i,H}$... določena trdnost lesa

pri poljubni H (%) vlažnosti

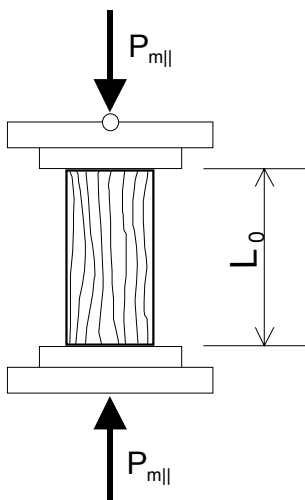
α_i ... korekcijski faktor odvisen od vpliva vlažnosti na mehansko lastnost, ki jo preiskujemo

2. TLAČNA TRDNOST

2.1 TLAČNA TRDNOST V SMERI VLAKEN

Preizkušanci - epruvete so lahko skladno s standardi DIN, ISO in JUS izdelani v dveh velikostih: 20x20x40 mm (mali) in 50x50x100 mm (veliki). Osnovno tlačno obtežbo nanašamo s tako stalno hitrostjo, da se preizkušanci porušijo v dveh do petih minutah od začetka preiskave. Merodajna je povprečna vrednost treh velikih ali petih malih epruvet. Na sliki 2 je prikazana shema obremenitve in izrazi, ki določajo tlačno trdnost.

Standard EN 408 predpisuje bolj vitke preizkušance, pri katerih morajo biti dimenzije $a:b:h$ v razmerju 1:1:6. Skladno z zahtevami standarda preizkušamo nekoliko večje vzorce, pri katerih smer vlaken, če odstopa od smeri vnašanja tlačne sile, lahko povzroči tudi uklon vzorca.



Dimenzije preizkušanca:

$a \times b \times h =$ _____

$$\beta_{c||} = P_{m||} / A_0$$

$\beta_{c||}$... tlačna trdnost v smeri vlaken

$P_{m||}$.. porušna sila

A_0 ploščina prečnega prereza

$$A_0 = a \times b =$$

Slika 2: Skica tlačnega preskusa v smeri vlaken.

Tlačna trdnost pri standardni oziroma referenčni vlažnosti lesa:

$$\beta_{c||,12} = \beta_{c||,H} [1 + \alpha_{c||} (H-12)],$$

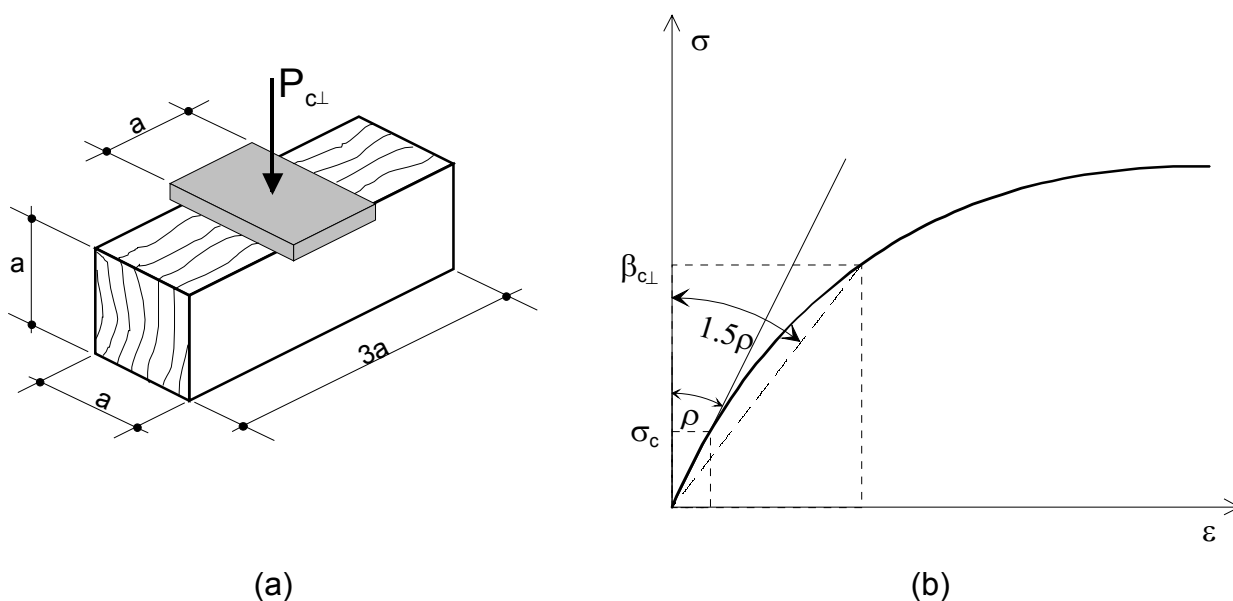
$\beta_{c||,12}$... tlačna trdnost pri standardni 12% vlažnosti

$\beta_{c||,H}$ tlačna trdnost pri poljubni, H (%) vlažnosti

$$\alpha_{c||} = 0.04 \text{ (korekcijski faktor)}$$

2.2 TLAČNA TRDNOST PREČNO NA VLAČNA

Mali preizkušanci skladno s standardi DIN, ISO in JUS merijo 20x20x60 mm, veliki pa 50x50x150 mm. Shema preskusa je prikazana na sliki 3a. Ploščica, preko katere deluje obremenitev, je jeklena in enake širine kot je preizkušanec ter debela vsaj 15 mm. Pri natančnem določanju $\sigma-\epsilon$ ali $P-\delta$ diagrama merimo s parom deformetrov specifične deformacije oziroma pomike na dolžini med ploščico in podlago. Na sliki 3b je prikazan način določanja tlačne trdnosti pravokotno na smer vlaken.



Slika 3: Shema preskusa in določitev trdnosti iz σ - ϵ ali P - δ diagrama.

Dimenzije preizkušanca: $a \times b \times c =$ _____

$$\beta_{c\perp} = P_{c\perp} / A_0$$

$\beta_{c\perp}$... tlačna trdnost prečno na vlakna

$P_{c\perp}$... obremenitev določena iz diagrama

A_0 površina ploščice, preko katere deluje sila

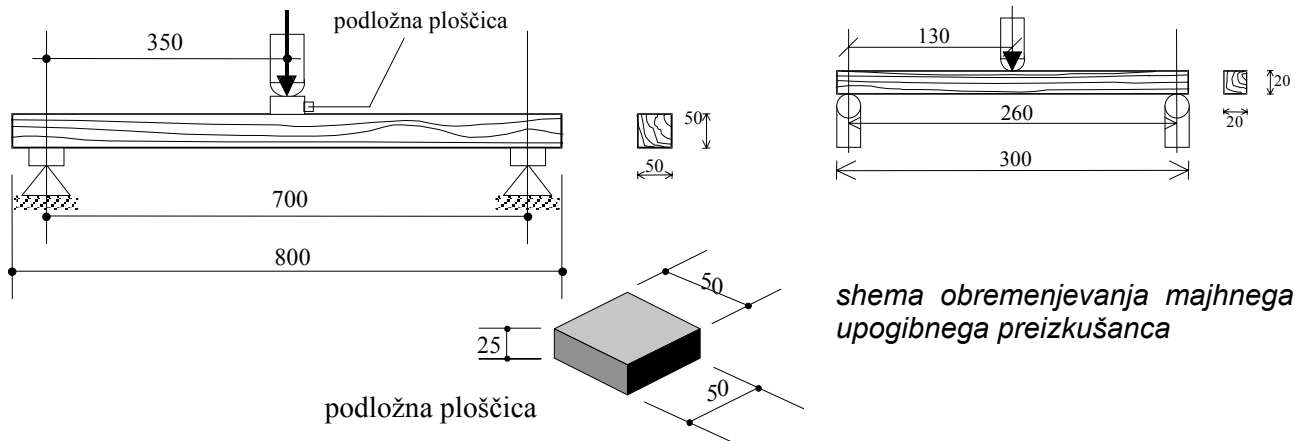
Tudi pri tej preiskavi lahko upoštevamo vpliv vlažnosti lesa ($H \leq 30\%$) s pomočjo izraza, ki je podan v predhodnem poglavju $\beta_{c\perp,12} = \beta_{c\perp,H} [1 + \alpha_{c\perp}(H-12)]$ in je $\alpha_{c\perp} = 0.04$.

3. UPOGIBNA TRDNOST

3.1 UPOGIBNA TRDNOST IN ELASTIČNI MODUL PRI STATIČNI OBTEŽBI

Upogibno trdnost in elastični modul pri upogibu določamo tako, da na preizkušancu ustreznih dimenzij v sredini razpona povečujemo silo do porušitve. Za določitev upogibne trdnosti upoštevamo največjo doseženo silo, za določitev elastičnega modula pa je potrebno meriti povprečno deformacijo preizkušanca pri delovanju obtežbe. Če obtežba počasi in enakomerno narašča je to določitev upogibne trdnosti pri statični obtežbi. Skladno s standardi DIN, ISO in JUS je preizkušanec lahko dimenzij 20x20x300 mm (majhen) ali 50x50x800 mm (velik). S silo na sredini razpetine (3-točkovni upogib) ali z dvema enako velikima silama (4-točkovni upogib) upogibamo preizkušanec enakomerno od ene do dveh minut vse do porušitve.

Razpon preizkušanca je krajši od njegove celotne dolžine za vrednost dveh višin. Tako mora biti mali preizkušanec podprt na razponu 260 mm velik pa na razponu 700 mm (slika 4), da se lahko reakcijska podporna sila pod kotom 45° vnaša v preizkušanec.

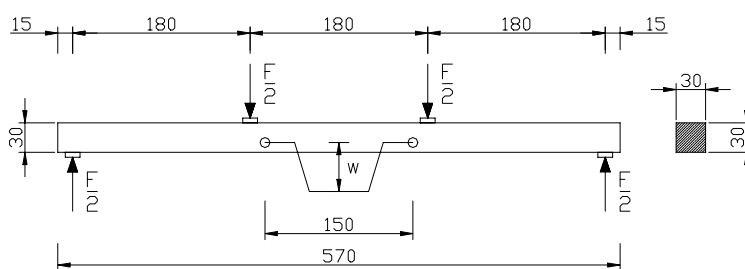


Slika 4: Shema upogibne obremenitve s statično obtežbo.

Statično upogibno trdnost izračunamo z izrazom: $\beta_{up} = 3P_{up} \cdot l / (2b \cdot h^2)$

P_{up} porušna sila; l razpetina; b ... širina prereza; h ... višina prereza.

Standard EN 408 predpisuje preizkušance drugačnih dimenzij, pri čemer je ta standardna preiskava namenjen predvsem določitvi upogibne trdnosti in elastičnega modula elementov višine ≥ 150 mm. Preizkušanec mora biti dolžine, ki je vsaj 19-krat daljša od krajše dimenzije prečnega prereza $h \times b$. Upogibna preiskava je določena kot 4-točkovni upogib, kjer na 1/3 razpona vnašamo dve enako veliki sili. Upogibna deformacija oziroma povprečje v srednjem polju preizkušanca moramo meriti preko jeklene zanke, kot je prikazano na sliki 5.



Slika 5: Primer upogibne preiskave po EN 408.

kjer imajo oznake v zgornjih enačbah sledeč pomen: β_{up} ... upogibna trdnost, a ... razdalja med točko obteževanja in najbližjo podporo, F_{max} ... največja dosežena sila pri preiskavi, E_m ... upogibni modul elastičnosti, l_1 ... razpon mostička, $(F_2 - F_1)$... inkrement obtežbe v prejem delu obtežnega diagrama in $(w_2 - w_1)$... inkrement relativnega pomika.

Vpliv vlažnosti upoštevamo z enakim izrazom kot pri tlačni trdnosti, le da je v tem primeru korekcijski koeficient $\alpha_{up}=0.02$.



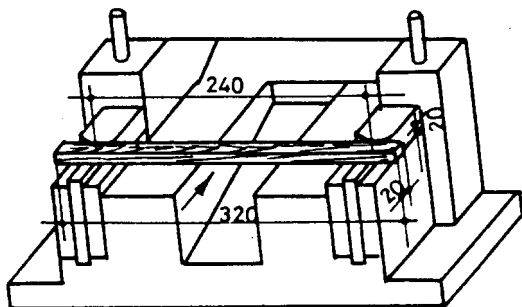
REZULTATI PREISKAV MEHANSKIH LASTNOSTI LESA

Vrsta lesa	Vlažnost	Tlak vzporedno z vlakni				Tlak prečno na vlakna				Upogib s statično obtežbo					
	H (%)	$P_{m }$ (kN)	A_0 (cm ²)	$\beta_{c }$ (MPa)	$\beta_{c ,12}$ (MPa)	$P_{c\perp}$ (kN)	A_0 (cm ²)	$\beta_{c\perp}$ (MPa)	$\beta_{c\perp,12}$ (MPa)	P_{up} (kN)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	β_{up} (MPa)	$\beta_{up,12}$ (MPa)
1.															
2.															
3.															

Ugotovitve:

3.2 UPOGIBNA TRDNOST PRI DINAMIČNI OBTEŽBI

Preizkušanec z dimenzijami 20x20x300 mm vpneemo v napravo, ki je prikazana na sliki 6. Z nihalom povzročimo dinamično (udarno) obtežbo, ki ima energijo 100 J. Upogibno trdnost izračunamo iz izraza, ki je podan ob sliki 6.



$$\rho = A / F_0 \text{ (J/m}^2\text{)}$$

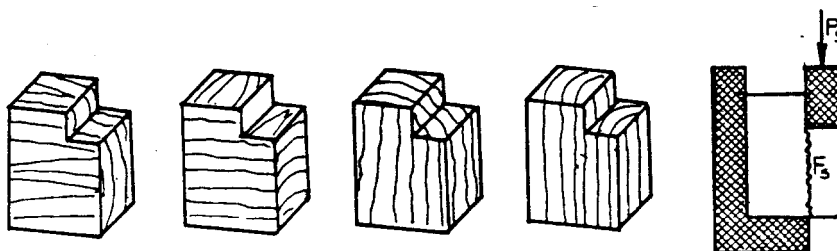
A ...porabljeno delo za prelom preizkušanca

F_0 površina prereza preizkušanca

Slika 6: Shema preiskave upogibne trdnosti pri dinamični preiskavi.

4. STRIŽNA TRDNOST

Na sliki 7 so prikazani preizkušanci in shema strižne obremenitve. Ta lahko deluje vzdolž vlaken ali prečno na njih (tangencialno ali radialno).



Slika 7: Vzorci za strižni preskus lesa in shema preskusa

Največkrat preskušamo strižno trdnost v smeri vlaken, ker je ta običajno kritična pri različnih lesenih konstrukcijah. Določamo jo iz izraza:

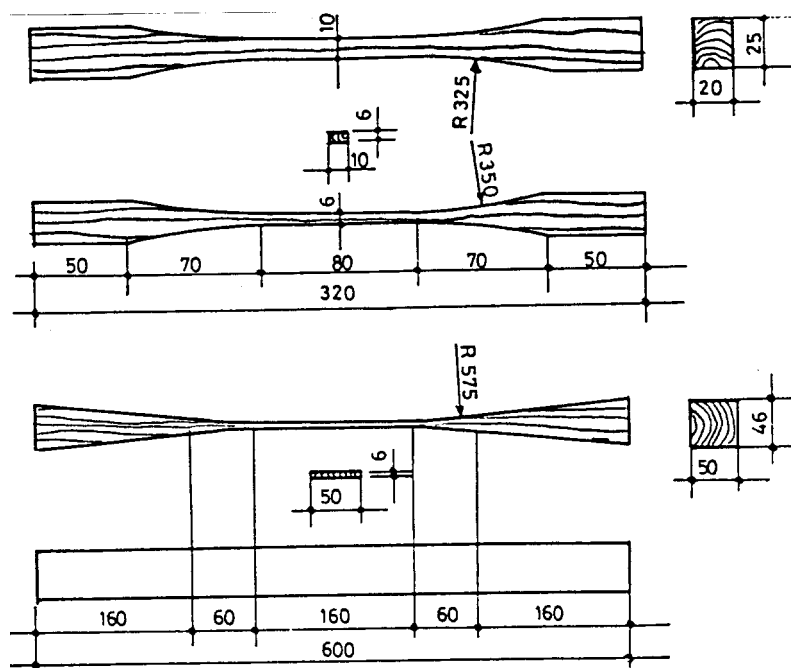
$$\beta_{ts} = P_s / A_s$$

P_s ... strižna porušna sila; A_s ... strižna površina.

5. NATEZNA TRDNOST

5.1 NATEZNA TRDNOST V SMERI VLAKEN

Natezno trdnost določamo s pretrgom posebej izdelanih epruvet prikazanih na sliki 8. Obremenjujemo jih tako, da je sila ves čas vzporedna s smerjo vlaken. Hitrost enakomernega obremenjevanja je tolikšna, da do porušitve pride od ene in pol do dveh minut. Preskus je uspešen, če se epruveta pretrga približno na polovici.



$$\beta_{t||} = P_{t||} / A_0$$

$\beta_{t||}$natezna trdnost v smeri vlaken

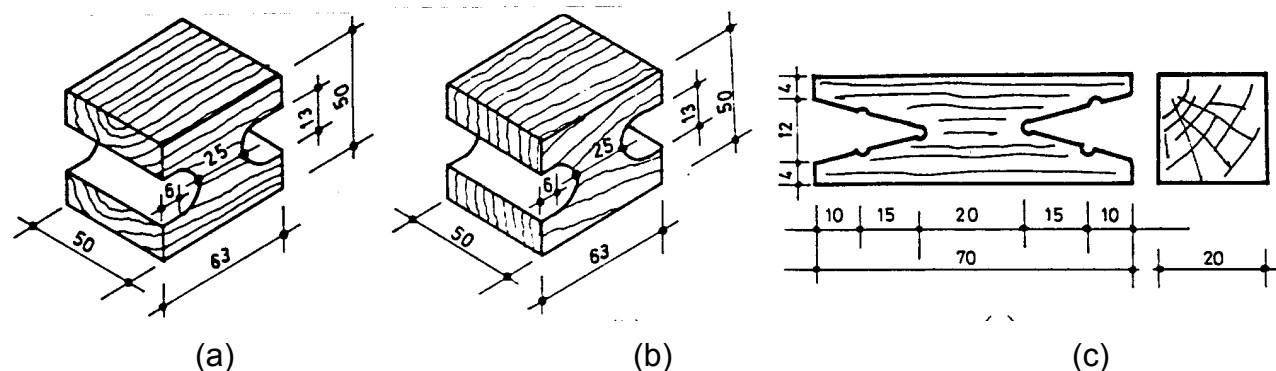
$P_{t||}$.. porušna sila

A_0površina prečnega prereza na sredini epruvete

Slika 8: Vzorci za natezni preskus v smeri vlaken.

5.2 NATEZNA TRDNOST PREČNO NA VLAKNA

Na sliki 9 so prikazane epruvete za preskus natezne trdnosti prečno na vlakna. Porušne obremenitve so zelo majhne in zato take preiskave lahko izvajamo le na strojih z ustreznim območjem in natančnostjo. Obremenitev deluje bodisi na radialno ali tangencialno površino lesa. Epruveti na sliki 9a in 9b sta predpisani z JUS standardom, tretja epruveta pa ni po JUS-u.



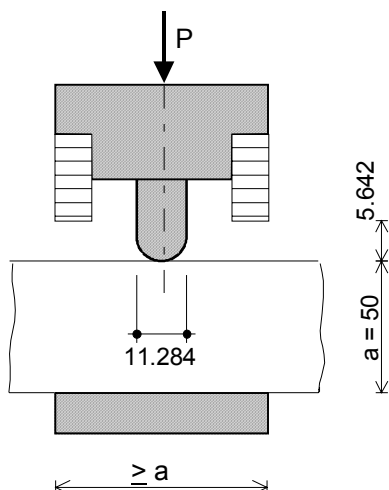
Slika 9: Epruvete za natezni preskus prečno na vlakna.

$$\beta_{t\perp} = P_{t\perp} / A_0$$

$\beta_{t\perp}$ natezna trdnost prečno na vlakna; $P_{t\perp}$ porušna sila; A_0 ...ploščina prereza na najožjem delu. Koeficient korekcije pri upoštevanju vlage znaša $\alpha_{t\perp}=0.04$.

6. STATIČNA TRDOTA

Statično trdoto definiramo kot odpornost lesa na prodiranje standardizirane kroglice. Preskušamo 5 epruvet prečnega prereza 50x50 mm dolžine vsaj 50 mm. V les vtiskamo polirano jekleno kroglico premera $d=11.284\pm0.01$ mm do globine, ki je enaka polovici njenega premera (v primeru lahko cepljivega lesa s cepilno trdnostjo 0.4 MPa je globina vtiskanja 2.82 mm in hitrost nanašanja obtežbe 3 do 6 mm/min). Vtiskanje kroglice vršimo v središču radialne, tangencialne in čelne strani vzorca (Slika 10).



Ko je kroglica vtisnjena do globine 5.642 mm odčitamo na skali manometra preše silo. Ta sila predstavlja trdoto lesa pri določeni vlažnosti. Vlažnost lesa določamo po standardu (JUS D.A1.040) in v tem primeru je zadostna preiskava vlažnosti le na enem vzorcu.

$$H_H = k \cdot P$$

Vtisno silo **P** podamo v (N), faktor **k** pa znaša 1.0 pri globini vtiska 5.64 mm, pri globini vtiska 2.82 mm pa 4/3.

Slika 10: Vtiskanje kroglice.

DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL



VAJA 9 - OGLJIKOVODIKOVA VEZIVA IN MATERIALI NA BAZI OGLJIKOVODIKOVIH VEZIV

1. PRESKUŠANJE OGLJIKOVODIKOVIH VEZIV

Lastnosti ogljikovodikovih veziv so zelo odvisne od tega, kje in v kakšen namen jih bomo uporabljali. Če jih uporabljamo kot premaze, kot zaščito in kot hidroizolacijo, potem od njih zahtevamo zadostno lepljivost, viskoznost, obstojnost in vodoneprepustnost. V primeru, da jih uporabljamo kot veziva za bitumenske zmesi, od njih zahtevamo zadostno duktilnost, temperaturo mehčanja in globino penetracije v določenih mejah.

Med najpomembnejšimi ogljikovodikovimi vezivi so cestogradbeni bitumni. Ločimo standardne cestogradbene bitumne (SIST EN 12591) in trde cestogradbene bitumne (SIST EN 13924). Zadnjih nekaj let pa se vse pogosteje uporabljajo s polimeri modificirani bitumni (PmB). To so bitumni, ki imajo zaradi dodatka naravnega ali umetnega polimera izboljšane reološke in standardne lastnosti: povečano vrednost zmehčišča po metodi prstana in kroglice in znižano pretrgališče po Fraass-u. Poznamo še hladna bitumenska veziva za cestogradnjo, kamor sodijo bitumenske emulzije ter fluksirani (začasno znižana viskoznost z dodatkom težkohlapih mineralnih olj) in rezani (mehki do srednjetrdi cestogradbeni bitumni, ki jim je bila z dodatkom lahkohlapih mineralnih olj začasno zmanjšana viskoznost) bitumni.

Ogljikovodikova veziva so na sobni temperaturi lahko v trdnem stanju, v tekočem stanju, v praškasti ter v zrnati obliki. Priprava laboratorijskih vzorcev in njihovo število je odvisno od vrste materiala, količine materiala, iz katerega jemljemo vzorec in namena za katerega vzorec jemljemo. Odvzem laboratorijskih vzorcev je v grobem podoben za vse vrste agregatnih stanj ogljikovodikovih veziv. Pri trdnih ali delno trdnih bitumenskih vzorcih prostornine do 1l pripravimo laboratorijski vzorec tako, da damo pokrito posodo z vzorcem za največ 120 min v sušilnico segreto na temperaturo, ki ne sme biti več kot 100°C višja od vrednosti zmehčišča ogljikovodikovega veziva. Potem vzamemo posodo z vzorcem iz sušilnice in vzorec previdno premešamo. Iz laboratorijskega vzorca dobimo preskusni vzorec tako, da vzorec vlijemo v ustrezno pripravljen kalup ali posodo. Pri hladnih bitumenskih emulzijah, fluksiranih bitumnih in rezanih bitumnih je postopek priprave laboratorijskega vzorca nekoliko drugačen. Opisan je v točki 7.2 standarda SIST EN 12594.

1.1 DOLOČANJE GOSTOTE BITUMNA (SIST EN 15326)

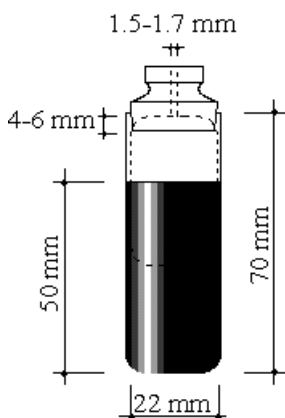
Gostota ogljikovodikovih veziv je odvisna od njihove konsistence, vrste veziva in morebitnih primesi. Za tekoče vrste je običajno manjša od 1 g/cm³, za plastične, poltrdne in trdne pa se na običajni temperaturi giblje med 1,0 in 1,4 g/cm³. **Gostota** je razmerje mase in njene prostornine. **Relativna gostota** pa predstavlja razmerje med gostoto preizkušane materiala in gostoto primerjalnega materiala pod pogoji, ki so isti za oba materiala.

Relativno gostoto izražamo kot:

$$d_{25/25} = \frac{\text{prostorninska masa veziva pri temperaturi } 25^{\circ}\text{C}}{\text{prostorninska masa materiala za primerjavo pri temperaturi } 25^{\circ}\text{C}}$$

in je brezdimenzijska vrednost.

Za določitev relativne gostote bitumna s piknometrom uporabljamo kot primerjalni material destilirano vodo. **Postopek:** Najprej določimo maso suhega in čistega praznega piknometra (m_1). Nato določimo maso piknometra napolnjenega z destilirano vodo pri temperaturi $t=25^{\circ}\text{C}$ (m_2). Določimo maso destilirane vode v piknometru ($m_2 - m_1$). Nato napolnimo piknometer z raztaljenim bitumnom do višine 45-50mm. Da bi se izognili prisotnosti zračnih mehurčkov v bitumnu, vstavimo piknometer v sušilnik (za 30-60 min) s temperaturo za približno $80-90^{\circ}\text{C}$ višjo od vrednosti zmečkščja preskušane bitumna. Ko vzamemo piknometer iz sušilnika, ga ohladimo na 25°C in ga ponovno stehtamo (m_3). Določimo maso bitumna v piknometru ($m_3 - m_1$).



Nato nalijemo na vzorec bitumna v piknometru destilirano vodo do zgornjega roba zamaška. Tako napolnjen piknometer damo v vodno kopel s temperaturo 25°C . Plast vode v kopeli nad piknometrom mora znašati vsaj 40 mm. Po 30 minutah vzamemo piknometer iz kopeli in ga pazljivo obrišemo. Zgornjo površino zamaška samo rahlo obrišemo z jelenjo kožo. Nato piknometer stehtamo (m_4) in določimo maso vode ($m_4 - m_3$), ki se nahaja v piknometru nad bitumnom.

$$d_{25/25} = \frac{m_3 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_4 - m_3)}$$

Slika 1:

Glede na to, da je gostota destilirane vode pri 25°C : $\rho = 0.997 \text{ g/cm}^3$, lahko določimo gostoto bitumna kot: $\rho_{25} = d_{25/25} \cdot 0.997 \text{ g/cm}^3$.

Če pa je določanje gostote bitumna potekalo pri drugi temperaturi (t) kot je predpisano ($t_0=25^{\circ}\text{C}$), potem določamo gostoto po naslednjih formulah:

$$\text{za } t > 25^{\circ}\text{C} \quad \rho_{25} = \rho_t + (t - 25) \cdot 0.00061$$

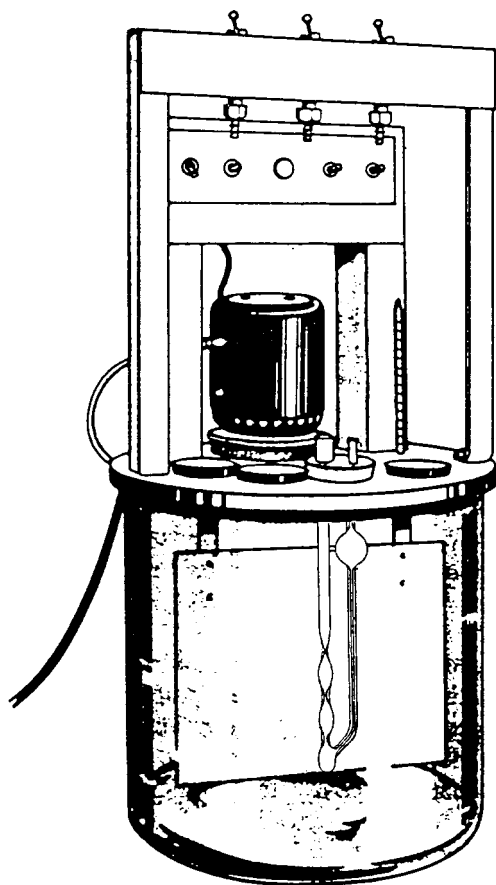
$$\text{za } t < 25^{\circ}\text{C} \quad \rho_{25} = \rho_t - (t - 25) \cdot 0.00061$$

1.2 VISKOZNOST

Obstajata dva pristopa določanja viskoznosti ogljikovodikovih veziv: prvi izhaja iz osnovnih postavk mehanike tekočin, drugi pa je nastal kot posledica empirijskih dognanj. Oba postopka določanja viskoznosti bitumnov po trenutno veljavnih standardih pri nas izhajata iz osnovnih postavk mehanike tekočin. Viskoznost bitumnov določamo kot dinamično viskoznost pri 60°C (enote v $\text{Pa}\cdot\text{s}$; standard SIST EN 12596) ali kot kinematična viskoznost pri 135°C (enote m^2/s ; standard SIST EN 12595). Tukaj bomo obravnavali samo kinematično viskoznost, določeno s Cannon-Fenske-jevim viskozimetrom.

1.2.1 Določanje viskoznosti bitumnov s kinematično metodo pri 135°C - viskozimeter Cannon-Fenske (SIST EN 12595)

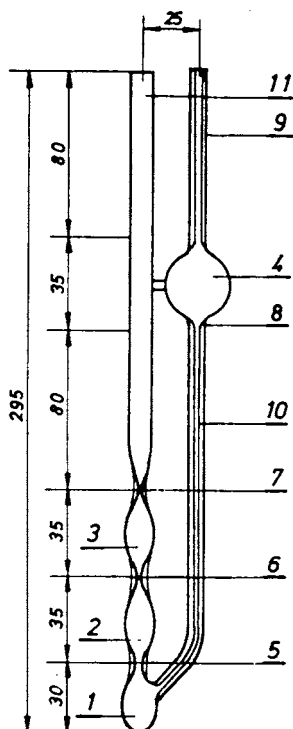
Po definiciji je kinematična viskoznost razmerje dinamične (absolutne) viskoznosti (η) in gostote (ρ). Obenem predstavlja mero upora tekočine proti tečenju pod dejstvom lastne teže. Za vsak kapilarni viskozimeter je čas pretoka tekočine direktno proporcionalen kinematični viskoznosti. Metoda temelji na meritvi časa pretoka tekočine skozi umerjeno kapilarno cev steklenega viskozimetra pri strogo kontrolirani temperaturi in natančno definiranim stolpcem tekočine nad kapilarjem. Aparatura se sestoji iz viskozimetra, termometra, vodne (ali oljne) kopeli in štoparice. Glede na pričakovano kinematično viskoznost imamo 7 vrst viskozimetrov, ki se med seboj razlikujejo le v dimenzijah. Termometer mora imeti merno območje od 133,6 do 136,4°C z natančnostjo 0,05°C. Voda v kopeli mora segati tako visoko, da je rezervoar (4 - slika 3) pokrit z vsaj 20 mm plastjo vode, ko porinemo viskozimeter v vodno kopel.



Slika 2:

Viskozimeter in termometer morata biti vidna skozi zid kopeli. Vzorec bitumna pripravimo tako, da damo najmanj 20 ml materiala v določeno posodo in ga grejemo na temperaturo 135°C. Pri tem ga ves čas pazljivo mešamo toliko časa, da se izločijo iz materiala vsi zračni mehurčki.

Postopek: Kopel (slika 2) segrejemo na 135°C. Izberemo viskozimeter s pretočnim časom večjim kot 60s in ga segrejemo na temperaturo preskušanja. Viskozimeter polnimo tako, da ga obrnemo in cev (9) potopimo v tekočino, ki jo preskušamo. Obenem čez cev (11) izsesavamo zrak dokler ne napolnimo rezervoar (4), do kontrolne črte (8) s tekočim bitumnom. Nato viskozimeter obrnemo in zamašimo cev (11). Viskozimeter postavimo vertikalno v kopel za toliko časa (približno 30 min), da dosežemo potrebno temperaturo preskušanja (135°C). Potem odmašimo cev (11) in merimo čas, ki je potreben da vzorec pod vplivom lastne teže preide od kontrolne črte (5) do kontrolne črte (6).



Slika 3:

Rezultat meritve zaokrožimo na 0,1 s natančno.

Kinematično viskoznost računamo po formuli: $\eta = c \cdot t$ kjer so:

η - kinematična viskoznost (mm^2/s)

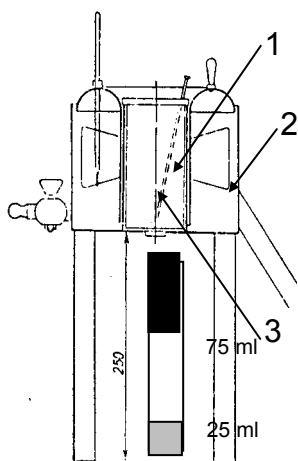
c - konstanta viskozimetra (mm^2/s^2)

t - čas tečenja (s).

Temperaturo preskušanja obvezno zapišemo v poročilo o preiskavi.

1.2.2 Empirično določanje viskoznosti z iztočnim viskozimetrom (SIST EN 12846)

Iztočni viskozimeter, s katerim določamo viskoznost bitumenskih emulzij je naprava, ki jo imenujemo Redwood-ov viskozimeter.



Slika 4:

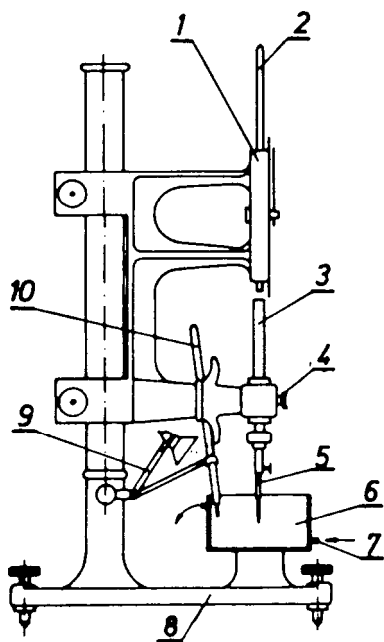
Redwood-ov viskozimeter:

Vzorec, ki ga preskušamo, pripravimo v skladu z zahtevami SIST EN 12594. Nato vzorec vlijemo v posodo z odprtino za iztekanje (1), v vodni kopeli (2) pa vzdržujemo konstantno temperaturo 40°C ali, alternativno, 25°C ali 50°C. Vzorec v posodi (1) pogosto mešamo tako dolgo, da doseže temperaturo preskušanja. Pod odprtino za iztekanje materiala postavimo merni cilinder, v katerega smo predhodno vlili 20 ml mineralnega olja ali ustrezne raztopine. Odstranimo palico (3), ki zapira odprtino in s pomočjo štoparice merimo čas od trenutka, ko tekočina, ki izteka, napolni merni cilinder do nivoja 25 ml do trenutka, ko doseže nivo 75 ml ($V=50 \text{ cm}^3$). Kot rezultat preskušanja zapišemo čas in temperaturo preskušanca. Občasno moramo kontrolirati premer krožne odprtine, ki znaša 10 mm, 4 mm ali 2 mm. Če je čas iztekanja krajši od 5 s, je potrebno uporabiti posodo z drugo (manjšo) odprtino za iztekanje.

Vrsta
preskušanca:

Čas (s)

1.3 PENETRACIJA Z IGLO (SIST EN 1426, ASTM D5)



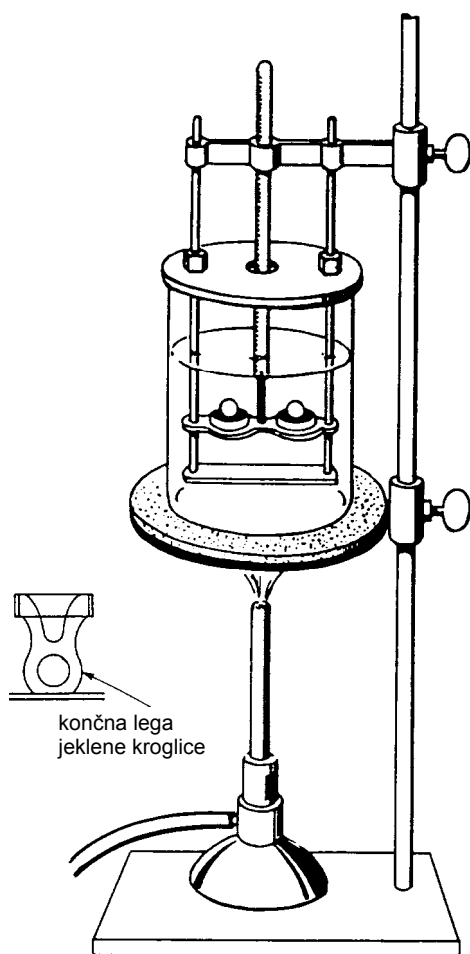
Slika 6:

Giblјivost in velikost deformacij ogljikovodikovih veziv ocenjujemo s stopnjo viskozности. Vendar pa se v tehnični praksi v primeru projektiranja in izvajanja hidroizolacij in pri izgradnji voziščne konstrukcije cest ta karakteristika ne določa s pomočjo viskozimetra, ampak z metodo določanja vrednosti zmehčičja in z metodo penetracije. Tidve metodi sta mnogo bolj praktični in primerni, še posebno ko gre za veziva večje trdote. Penetracija bitumenskega veziva je globina, do katere igla (5) določenih dimenzij, mase in kvalitete pod vplivom sile 1N (mase 100g) prodre v preskušane (6) v času 5 sekund in pri temperaturi 25°C. Že pripravljenim bitumnom napolnimo pločevinast cilindrični kalup. Dimenzije kalupa so odvisne od pričakovane penetracije.

V nadaljevanju se bomo osredotočili na be s penetracijo do 330x0,1 mm. Za vrednosti pričakovane penetracije pod 160 ima kalup notranji premer 55 mm in notranjo višino 35 mm, pri pričakovani penetraciji med 160 in 330 pa premer 70 mm in višino 45 mm.

Kalup napolnimo z bitumnom do višine 30 mm, ko uporabimo manjši kalup in do višine 40 mm, ko uporabimo večji kalup. Paziti moramo, da vzorec ne vsebuje zračnih mehurčkov (za 1 uro ga damo v sušilnik s temperaturo, ki je za 80-90°C višja od vrednosti zmehčičja bitumna, da se odstrani zrak). Potem zaščitimo vzorec pred prahom in ga hladimo pri sobni temperaturi (med 15°C in 30°C) predpisan čas. Kalup z vzorcem damo nato na perforirano pločevino v vodno kopel s stalno temperaturo 25°C±0,1°C. Plast vode nad vzorcem mora biti debela vsaj 100 mm. Vzorec se v vodni kopeli nahaja enako dolgo, kot traja njegovo hlajenje (glej zgoraj). Potem damo kalup z vzorcem v prenosno posodo (7), ki je hkrati z vzorcem odležavala v vodni kopeli. Prenosno posodo z vzorcem vstavimo v penetrometer. Bitumen v posodi mora biti popolnoma prekrit z vodo. Iglo (5) penetrometra pripeljemo do površine vzorca (6), kar kontroliramo s pomočjo zrcala (9). Na skali (1), ki je razdeljena na 360° in kjer vsaka stopinja predstavlja spuščanje igle za 0,1mm, odčitamo začetno lego igle (s_1). S pomočjo vijaka (4) spustimo iglo za 5 sekund. Po izteku 5 sekund ustavimo iglo in na skali odčitamo lego (s_2). Mero penetracije dobimo kot razliko končne in začetne lege igle. Poskus ponovimo vsaj trikrat. Pri tem skrbimo, da vsakokrat uporabimo novo iglo in da je kontakt igle in preskušanca odmaknjen vsaj 10 mm od roba kalupa in vsaj 10 mm od mesta predhodnega preskusa. Merodajno je povprečje treh preskusov. V primeru večjih odstopanj posameznih rezultatov preskusa je potrebno upoštevati določila standarda. Iz tega preskusa izhajajo oznake za bitumne kot so: 20/30, 30/45,..., 160/220, kjer številke pomenijo spodnjo in zgornjo mejo območja, v katerem se nahaja rezultat penetracijskega testa in sicer v enotah 1/10 mm.

1.4 DOLOČANJE ZMEHČIŠČA PO METODI PRSTANA IN KROGLICE (SIST EN 1427)



Slika 7:

Glede na to, da se trdna ogljikovodikova veziva kot materiali amorfne strukture mehčajo v širšem temperaturnem intervalu, vzamemo kot mero viskoznosti temperaturo, pri kateri dobi vezivo določeno gibljivost. Za določanje "vrednosti zmeščišča" se uporablja metoda, ki temelji na določanju temperature, pri kateri predmet določene mase prodre skozi maso veziva določene debeline.

Vrednost zmeščišča po metodi prstana in kroglice je temperatura pri kateri plast bitumna točno določenih dimenzij pod točno določenimi pogoji postane tako mehka, da pri obremenitvi z jekleno kroglico predpisane mase in premera doseže določeno deformacijo. Kompletna aparatura in postopek sta natančno prikazana v standardu. Tukaj bomo le v grobem razložili potek preskušanja.

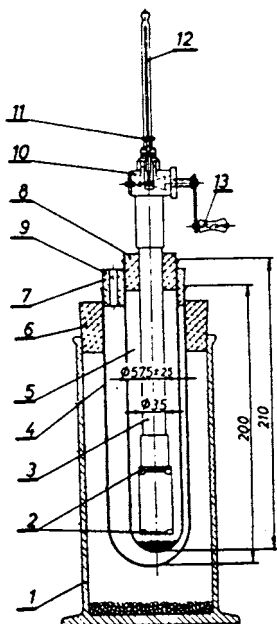
Stopničast prstan iz bakrene zlitine notranjega zgornjega premera $19,8 \pm 0,1$ mm, notranjega spodnjega premera $15,9 \pm 0,1$ mm, skupne višine $6,4 \pm 0,1$ mm in višine ožjega spodnjega dela $2,8 \pm 0,1$ mm zapolnimo z vzorcem materiala, ki smo ga predhodno segreti na temperaturo okrog 90°C višjo od pričakovane vrednosti (temperature) zmeščišča. Material naj gleda malo iznad roba prstana. Vzorec hladimo 30 minut na zraku. Potem odrežemo odvečni del materiala tako, da je površina gladka in ravna.

Na nosilec prstanov postavimo tako pripravljena prstana, napravo za centriranje kroglic in termometer. Vse skupaj vstavimo v posodo, ki jo nato napolnimo s tekočino do višine 50 mm nad gornjo površino prstanov. Vrsta tekočine (destilirana voda ali glicerol) je odvisna od pričakovane vrednosti zmeščišča (vrednost zmeščišča med 28°C in 80°C - destilirana voda; vrednost zmeščišča med 80°C in 150°C - glicerol). Vse skupaj 15 minut vzdržujemo na začetni temperaturi, ki v primeru uporabe destilirane vode znaša 5°C , v primeru uporabe glicerola pa 30°C . V času začetnega vzdrževanja temperature se jekleni kroglici mase 3,5 g in premera 9,5 mm nahajata na napravah za centriranje ali na dnu posode, nikakor pa jih ne smemo položiti na vzorec.

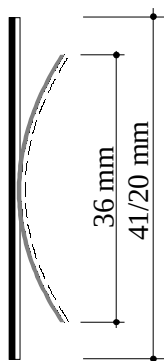
Nato postavimo kroglici na vzorca in začnemo ogrevati tekočino v posodi s hitrostjo $5^\circ\text{C}/\text{min}$. Za vsak prstan in kroglico odčitamo temperaturo na termometru v trenutku ko se vzorec, ki se deformira pod težo kroglice, dotakne spodnje plošče nosilca iz bakrene zlitine, ki se nahaja 25,4 mm pod prstani. Vrednost zmeščišča skupaj s penetracijskim testom uporabljamo za označevanje bitumnov, ki se uporabljajo v industrijske namene. Oznaka bitumna 85/40 pomeni, da ima bitumen vrednost zmeščišča 85°C in penetracijo 4 mm.

1.5 DOLOČANJE PRETRGALIŠČA PO FRAASSU (SIST EN 12593)

Pretrgališče po Fraass-u predstavlja temperaturo izraženo v °C, pri kateri film bitumenskega veziva določene debeline počí, če se pod predpisanimi pogoji hladi in upogiba. Služi kot orientacija za obnašanje bitumnov pri nizkih temperaturah.



Slika 10:



Slika 11:

Za določanje pretrgališča po Fraass-u uporabljamo aparat po Fraassu, ki je sestavljen iz mehanizma za upogibanje, naprave za postopno hlajenje vzorca med preskusom in termometra. Naprava za upogibanje je narejena iz dveh koncentričnih cevi, od katerih je notranja vrtljiva vzdolž osi. Naprava za hlajenje je sestavljena iz notranje epruvete (5), zunanje epruvete (4) in cilindra, ki so izdelani iz stekla. Zamaški (6, 7 in 8) so iz gume ali plute. V zamašku (7) se nahaja odprtina (9) za vnašanje trdnega CO₂. Na dnu notranje epruvete in na dnu cilindra se nahaja sredstvo za sušenje.

Vzorec bitumna v obliki enakomerne plasti naneseemo čez celo površino jeklene ploščice predpisanih dimenzij, s pomočjo preše ali s pomočjo magnetne plošče. Ploščico z vzorcem segrejemo do določene temperature in jo s pomočjo klešč vstavimo v napravo za upogibanje. Napravo za upogibanje skupaj s ploščico postavimo v notranjo epruveto naprave za hlajenje. V ustrezno cev naprave za upogibanje postavimo termometer. Potem začnemo z ohlajanjem tako, da temperatura zraka v notranji epruveti pada s hitrostjo 1°C/min. Ta padec temperature dosežemo tako, da v zunanjo epruveto nalijemo etanol segret na sobno temperaturo do višine najmanj 100 mm, potem pa v etanol dodajamo majhne količine trdnega CO₂. Upogibanje in sproščanje ploščice se mora začeti pri temperaturi, ki je najmanj 8°C in ne več kot 12°C iznad pričakovanega pretrgališča po Fraass-u. Postopek obremenjevanja in razbremenjevanja vzorca ponovimo vsako minuto in sicer tako, da s pomočjo obračanja ročice s hitrostjo 1 obrat/sec upognemo ploščico do skrajne lege in jo nato z isto hitrostjo povrnemo v začetno lego (slika 11), v kateri se mora nahajati 38 sekund, preden začnemo nov cikel. V trenutku ko se na filmu veziva pojavi prva razpoka, odčitamo temperaturo na 1°C natančno.

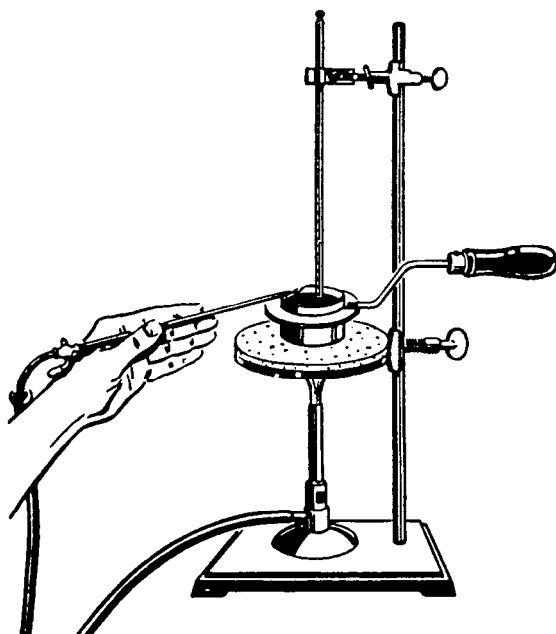
1.6 DOLOČANJE ODPORNOSTI PROTI OTRJEVANJU POD VPLIVOM TOPLOTE IN ZRAKA - METODA RTFOT (SIST EN 12607)

Glede na to, da želimo pri bitumnih doseči čim manjšo viskoznost in čim večjo sprijemnost, moramo bitumen v praksi izpostaviti delovanju visokih temperatur. Pri tem prihaja v bitumnu do kemizmov in do spreminjanja njegovih lastnosti. Z namenom, da bi ocenili te spremembe, vršimo preiskavo giblivosti filma bitumenskega veziva, ki ga segrejemo v peči na določeno temperaturo za določen časovni interval in pri konstantnem dotoku zraka. Vzorec staljenega bitumna mase 35 g vlijemo v valjasto stekleno posodo in ga 75 minut segrevamo pri temperaturi 163°C. Po končanem postopku določimo izgubo mase, ponovimo penetracijski test, možne pa so tudi dodatne preiskave, na osnovi katerih definiramo meje v katerih se nahajajo lastnosti bitumnov v eksploataciji.

Izgubo mase računamo po obrazcu: žarilna izguba = $\frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%$,

kjer so m_1 - masa bitumna v posodi pred žarjenjem, m_2 - masa bitumna po žarjenju.

1.7 DOLOČANJE PLAMENIŠČA (SIST EN ISO 2592)



Slika 13:

Določanje plamenišča predstavlja obenem tudi test varnosti dela z bitumnom.

Glede na to da moramo bitumen, preden ga vgradimo, segreti, da dobimo ustrezno viskoznost in vgradljivost, je včasih zaželeno poznati njegovo plamenišče, ki je v večini primerov precej višje od temperature, na katero moramo segreti bitumen za uporabo v praksi. Določanje plamenišča je relativno preprosta preskusna metoda. Poteka tako, da vzorec enakomerno grejemo hkrati pa nad njegovo površino držimo plamenček s katerim iniciiramo vnetje vzorca. S termometrom širokega obsega neposredno nad površino vzorca ves čas merimo temperaturo. Temperaturo, pri kateri se plamen trenutno pojavi, imenujemo plamenišče.



1.8 PRIMER SPECIFIKACIJE IN OZNAK BITUMNOV - STANDARDNI CESTOGRADBENI BITUMNI

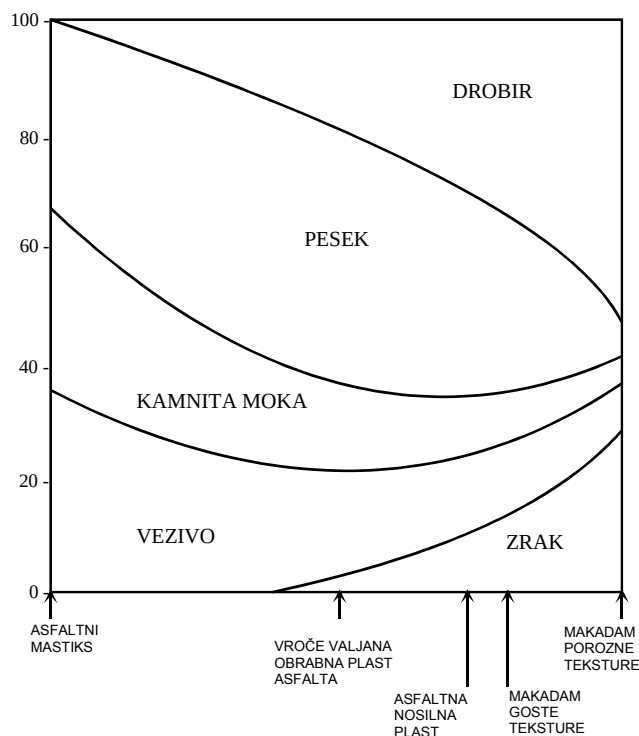
V preglednici prikazujemo okvirne specifikacije za kakovostne zahteve za standardne cestogradbene bitumne in njihovo označevanje.

Lastnosti		Tip bitumna							
		20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/ 100	100/ 150	160/ 220
1	Penetracija pri 25°C [0,1 mm]	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220
2	Zmehčišče [°C]	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43
3	Odpornost proti otrjevanju pri 163°C								
3.1	Ohranjena vrednost penetracije [%]	≥ 55	≥ 53	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
3.2	Zvišanje zmehčišča, največ - zahtevnost 1 [°C]	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
4	Plamenišče [°C]	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
5	Sprememba mase po RTFOT [%]	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
6	Posebni nacionalni pogoji								
6.1	Indeks penetracije	-1,5 do +0,7	-1,5 do +0,7	-1,5 do +0,7	-1,5 do +0,7	-1,5 do +0,7	-1,5 do +0,7	-1,5 do +0,7	-1,5 do +0,7
6.2	Kinematična viskoznost pri 135°C [mm ² /s]	≥ 530	≥ 400	≥ 370	≥ 325	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135
6.3	Dinamična viskoznost pri 60°C [Pa·s]	≥ 440	≥ 260	≥ 225	≥ 175	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
6.4	Pretrgališče po Fraass-u [°C]	-	≤ -5	≤ -5	≤ -7	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15

Opomba: Specifikacije ostalih ogljikovodikovih veziv so podane v določilih ustreznih standardov in jih tukaj ne bomo obravnavali.

2. PRESKUŠANJE ASFALTOV - BITUMENSKIH ZMESI

Asfalt je v naravi nastala ali tehnično proizvedena (tj. naravna ali umetna) zmes bitumenskega veziva in zmesi kamnitih zrn ter morebitnih potrebnih dodatkov za zagotovitev uporabnosti pri graditvi cest.



Obstaja več vrst porazdelitev bitumenskih zmesi: na naravne in umetne, glede na način vgrajevanja, tehnologijo izdelave itd. Projektiranje bitumenskih zmesi je odvisno od lastnosti mešanic, ki jih želimo doseči in od njihovega namena. Pri projektiranju si pomagamo z zahtevami, ki so za posamezni namen uporabe podane v določenih standardov ali drugih tehničnih specifikacij. Na sliki (14) je podana shema procentualnega deleža sestavin za določene vrste bitumenskih zmesi.

Slika 14:

Definicije:

drobir - drobljena zmes kamnitih zrn velikosti nad 4 do 63 mm, ki imajo najmanj 90% lomljenih ploskev.

pesek - zmes drobnih kamnitih zrn, ki jo dobimo s presejavanjem kamnitega agregata skozi sito z odprtinami 4,0 mm. Pesek za asfaltne betone delimo na fini (frakcija 0/2 mm) in grobi (frakcija 0/4 mm)

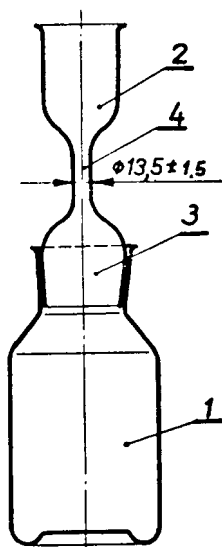
kamena moka - je zmes zrn manjših od 0,71 mm. V kameni moki vsebovano polnilo (zrna velikosti do 0,09 mm, po SIST EN 13043 pa do 0,063 mm) ima skupaj z vezivom - bitumnom funkcijo zapolnjevanja votlin v asfaltni zmesi.

2.1 PRIPRAVA LABORATORIJSKEGA VZORCA

Laboratorijski vzorec je količina bitumenske zmesi odvzeta za potrebe laboratorijskih preiskav, povprečne sestave in brez primesi (nečistoč: voda, prah itd). Bitumensko zmes lahko pripravimo z mešanjem bitumenskega veziva, agregata in polnila v laboratoriju (laboratorijska zmes - SIST EN 12697-35), na določeni temperaturi in v času, ki ni daljši od zahtevanega. Omejitev časa mešanja je posledica zahteve glede najmanjših možnih mehanskih sprememb agregata, zahtevana temperatura mešanja pa je odvisna od tipa bitumna. Bitumensko zmes pa lahko odvezujemo tudi na terenu ali v asfaltni bazi, v skladu

z zahtevami SIST EN 12697-27. Zmanjševanje laboratorijskega vzorca na preskusne vzorce se opravi z metodo četrtinjenja, v skladu z zahtevami ustreznega standarda.

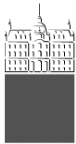
2.2 UGOTAVLJANJE NAJVEČJE GOSTOTE BITUMENSKE ZMESI S PROSTORNINSKIM POSTOPKOM (SIST EN 12697-5)



Slika 15:

Največja gostota se skupaj s prostorninsko maso (tudi specifično gostoto) uporablja za izračun vsebnosti votlin v zgoščenem vzorcu in za določanje drugih prostorninsko odvisnih lastnosti zgoščenih bitumenskih zmesi. Prostorninska masa bitumenske zmesi (ρ_v) je razmerje med njeno maso (m) in prostornino, vključno s prostornino votlin, ki jih material vsebuje, pri znani temperaturi preskušanja. Največja gostota bitumenske zmesi (ρ_{mv}) pa je razmerje med maso (m) vzorca in njegovo prostornino brez votlin, pri znani temperaturi preskušanja. Osnovna preskusna oprema sestoji iz: sušilnika, orodja za ločevanje vzorca, piknometra (slika 15) ustrezne prostornine, (preskusni vzorec zavzema do 2/3 prostornine piknometra, ki pa ne sme biti manjša od 300 cm³), termometra, vodne kopeli, vibracijske mize in vakuumskega sistema, ki omogoča odvajanje zraka iz piknometra do preostalega tlaka 4 kPa ali manj. Preskusni vzorec bitumenske zmesi počasi segrejemo v sušilniku na temperaturi, ki ne presega 110°C, tako da jo lahko ločimo na groba zrna in aglomeracijo. Aglomeracija (z vezivom povezani fini delci) ne sme presegati 6 mm. V primeru da zmes vsebuje vodo, jo segrevamo pri temperaturi 110±5°C do stalne mase in nato ločimo. Masa preskusnega vzorca je odvisna od največjega zrna agregata v bitumenski zmesi. Masa vzorca v gramih naj bo enaka ali večja od 50-kratnika nazivne velikosti največjega zrna agregata v mm, vendar ne sme biti manjša od 250 g.

Postopek: Piknometer z nastavkom stehtamo (m_1), nato vanj vnesemo ustrezno pripravljen preskusni vzorec in pustimo vse skupaj stati na sobni temperaturi, da se vzorec ohladi. Nato piknometer z vzorcem in nastavkom ponovno stehtamo (m_2). Nato napolnimo piknometer s postano tekočo vodo, prekuhano vodo ali topilom, do največ 30 mm izpod obrusa na nastavku piknometra. Zajeti zrak odstranimo s pomočjo vakuumskega sistema in/ali s pomočjo vibracijske mize (odvisno od uporabljene vrste tekočine v piknometru). Nato v piknometer ponovno vstavimo nastavek in dolijemo tekočino skoraj do kontrolne črte (4). Piknometer postavimo za predpisan čas v vodno kopel, ki je sposobna vzdrževati konstantno temperaturo v predpisanih mejah. Nato dopolnimo tekočino v piknometru do kontrolne črte, piknometer vzamemo iz vodne kopeli, zunanjo površino obrišemo do suhega in ga takoj stehtamo (m_3). Največjo gostoto bitumenske zmesi (ρ_{mv}) izračunamo po formuli:



$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \cdot V_p - \frac{m_3 - m_1}{\rho_w}}$$

kjer je

ρ_{mv} - največja gostota bitumenske zmesi v kg/m^3

V_p - prostornina piknometra do kontrolne črte v m^3

ρ_w - gostota tekočine na temperaturi preskušanja v kg/m^3

m_1 , m_2 in m_3 - mase navedene v tekstu v g

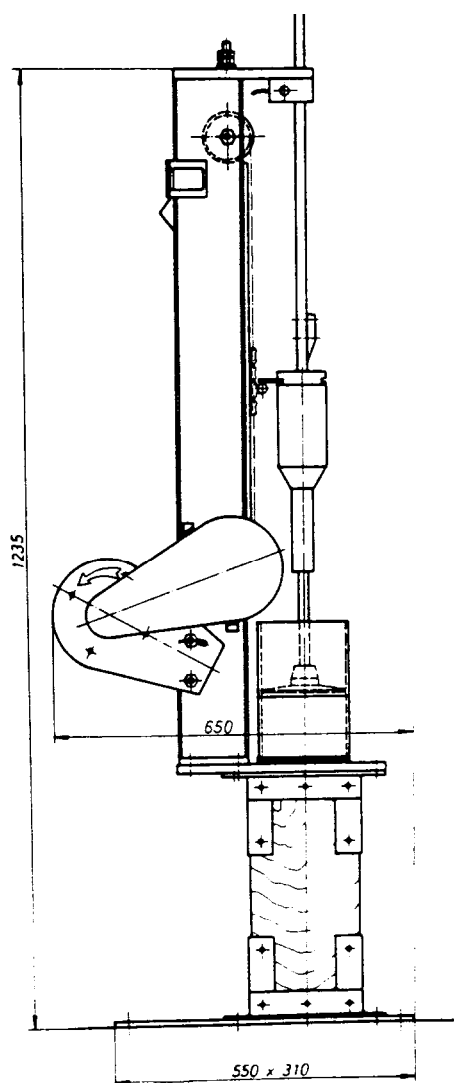
2.3 DOLOČANJE PROSTORNINSKE MASE IN VSEBNOSTI VOTLIN MINERALNIH ZMESI

Vsebnost votlin v mineralni zmesi v zbitem stanju (H) določamo s pomočjo prostorninske mase mineralne zmesi v zbitem stanju (ρ_{vn}) in prostorninske mase zrn mineralne zmesi (ρ_v). Na osnovi te vrednosti približno določimo potrebno količino bitumenskega veziva za bitumensko zmes. **Postopek:** Stehramo vzorec mešanice, katerega masa je odvisna od največjega zrna agregata. Vzorec dajemo v posodo (jekleni cilindri) v plasteh in sicer tako, da vsaka plast predstavlja 20% celotne mase vzorca. Po nasipanju vsake plasti mešanico zgostimo na ta način, da s spodnjim robom cilindra udarjamo ob neelastično podlago (les ali trda guma). Po končanem postopku vgrajevanja vzorca s palico izmerimo višino zbite mešanice v cilindru in izračunamo prostorninsko maso zbite mineralne zmesi: $\rho_v = m/V$, kjer je V odčitana prostornina vzorca v posodi. Vsebnost votlin v zbiti mineralni zmesi izračunamo po formuli:

$$H = \left(1 - \frac{\rho_{vn}}{\rho_v} \right) \cdot 100\%$$

2.4 PRESKUS PO MARSHALLU (SIST EN 12697-34)

Na bitumenskih zmesih izvajamo modificiran tlačni preskus, ki ga imenujemo preskus po Marshallu. Z njim določamo tlačno silo, ki jo lahko prevzame bitumenska zmes pri povišani temperaturi. Rezultate preskusa uporabljamo pri postopku določanja sestave bitumenskih zmesi ter za preverjanje njihove stabilnosti. Preskus po Marshallu je najbolj razširjen preskus za bitumenske zmesi, saj so ga v izvorni obliki prevzeli številni mednarodni in nacionalni standardi (ISO, EN, ASTM itd). V originalni obliki ga uporabljamo za bitumenske zmesi z mineralnimi zrni do 22,4 mm.



Slika 16:

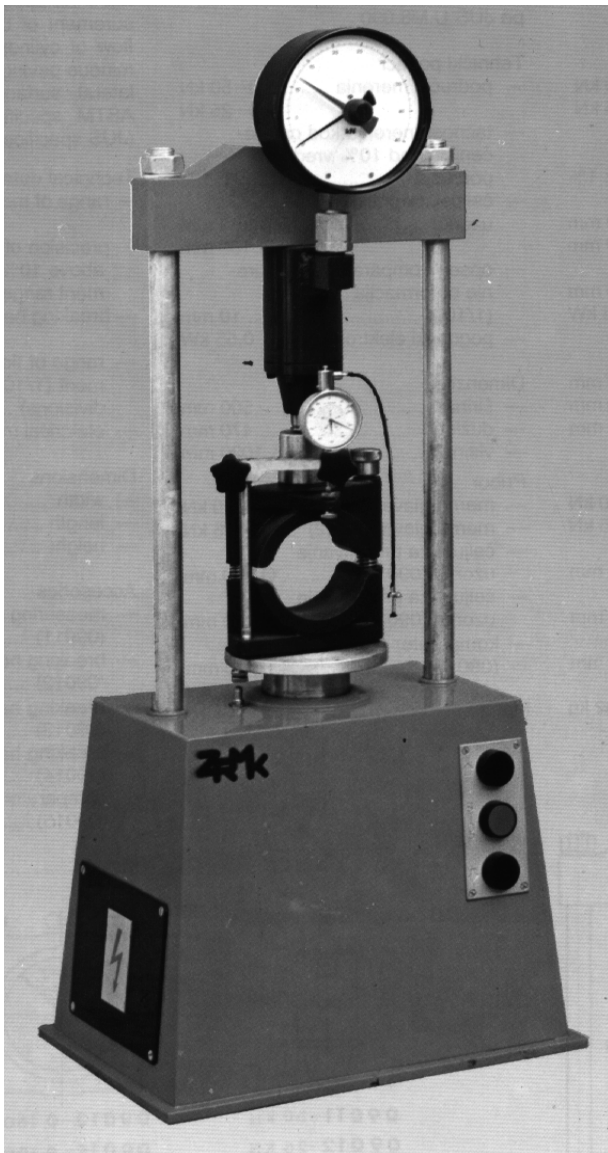
Potrebno opremo sestavljata dve napravi:

1. naprava za izdelavo epruvet in
2. naprava za preskušanje epruvet.

Naprava za izdelavo epruvet je udarni zgoščevalnik. Poznamo več različnih udarnega zgoščevalnika, ki so opisane v standardu SIST EN 12697-30. Tukaj bomo predstavili udarni nabijač z lesenim podstavkom (slika 16). Sestavljen je iz lesenega podstavka, ki je na spodnji strani pritrjen na betonsko ploščo, na zgornji strani pa je nanj pritrjena jeklena plošča. Pravokotno na ploščo je postavljeno udarno kladivo, ki je sestavljeno iz vodilnega droga, drseče uteži mase (4535 ± 15) g in podnožja. Podnožje je sestavljeno iz ohišja vzmeti ter vzmeti iz trdega in vzdržljivega jekla. Ploščat in gladek podstavek kladiva mora biti varno nameščen v podnožje. Cilindrični kalup sestavljata dva dela, in sicer: spodnji, kjer se nahaja epruveta in zgornji ki služi kot vodilo za bat. Cilindrični kalup je nameščen na kalupni podstavek. Naprava je natančno opisana v SIST EN 12697-30.

Naprava za preskušanje epruvet (slika 17) je stiskalnica s čeljustmi, v katere vstavimo epruveto. Preša ima dve skali: skalo, ki kaže silo (obtežbo) in skalo, ki kaže deformacije (tečenje) epruvete. Čeljusti se pomikajo s konstantno hitrostjo 50 ± 2 mm/minuto, najmanjša zahtevana zmogljivost preše pa je 28 kN.

Pri določanju optimalne vsebnosti bitumenskega veziva v bitumenski zmesi izhajamo iz zahtev za kakovost te zmesi, ki so podane v ustreznih tehničnih specifikacijah. Najprej je potrebno smiselno kombinirati kamnita zrna dveh ali več frakcij in izračunati skupno sestavo mineralnega agregata za bitumensko zmes tako, da se njegova zrnavostna krivulja nahaja znotraj zahtevanih mejnih krivulj za kameno zmes. Za tako določeno mešanico mineralnega agregata moramo izdelati niz (praviloma 5) bitumenskih



Slika 17:

zmesi z različnimi deleži bitumna. Delež bitumna je potrebno prilagoditi sestavi mineralnega agregata. Priporočljiva razlika med deleži bitumna v vzorcih bitumenskih zmesi je med 0,3 in 0,5 %_m. Za vsak preskus zmesi moramo pripraviti 4 preskušance (epruvete), pri čemer potrebujemo za vsako epruveto približno 1200 g zmesi (od 1050 g do 1400 g). Da bi dobili potrebno višino epruvete (63,5 mm), moramo po nabijanju prve epruvete obvezno izračunati korekcijski faktor (*f*), ki nam pove ali je potrebno za določeno zmes povečati oziroma zmanjšati količino zmesi za eno epruveto, da bi (po nabijanju) dobili potrebno višino epruvete.

Koeficient *f* izračunamo po formuli:

$$f = m \cdot \left(\frac{63,5}{h} - 1 \right)$$

kjer je *h* - višina prve nabite epruvete in *m* - njena masa.

Višina epruvete se mora gibati med 60,5 in 66,5 mm, premer epruvete po originalni metodi pa je 101,6 mm.

Priprava vzorca: Vzorce je potrebno pripraviti z laboratorijskim mešanjem ali na asfaltni bazi. Bitumen in mineralno mešanico segrejemo na predpisano temperaturo. Cestogradbene bitumne na ciljno temperaturo podano v preglednici v nadaljevanju, mineralni agregat pa na 160 do 190°C. Nato ju zmešamo v bitumensko zmes, ki jo mešamo 3 do 5 minut.



Tip cestogradbenega bitumna	Zahtevana temperatura za: [°C]	
	Vse vrste mešanic razen litega asfalta	Mešanice litega asfalta
20/30	180	250
30/45	175	240
35/50	165	230
40/60	155	220
50/70	150	
70/100	145	
100/150	140	
160/220	135	

Po končanem mešanju bitumenske zmesi in pred vgrajevanjem v kalup je potrebno zmes hraniti v sušilniku pri temperaturi največ 130°C, za največ 3 ure. Potem mešanico segrejemo na temperaturo nabijanja, ki je za cestogradbene bitumne enaka ciljni temperaturi v zgornji preglednici.

Postopek vgrajevanja epruvete: Pred izdelavo epruvet moramo v na temperaturo nabijanja segreti tudi kalupe z osnovno ploščo ter podstavek udarnega kladiva. Bitumensko zmes vgrajujemo v malih količinah z lopatico direktno v kalupe. Zgornjo površino zmesi v kalupu zagladimo in oblikujemo tako, da ostane na sredini zarobljeno nadvišanje. Tako napolnjen kalup takoj pritrdimo na napravo za izdelavo epruvet pod udarno kladivo z vodikom. Epruveto nabijemo s 50 udarci (1 udarec v sekundi) tako, da pada bat s predpisane višine. Nato obrnemo kalup za 180° in ponovimo postopek. Celoten postopek od vgrajevanja zmesi v kalupe do končnega postopka nabijanja ne sme trajati dlje kot 4 minute. Kalup z epruveto nato ohladimo na približno 40°C na zraku (ali z vodnim hlajenjem) in jo nežno razkalupimo. Potem jo pustimo da odleži najmanj eno uro na sobni temperaturi (priporočljivo 24 ur).

Preskušanje stabilnosti in lezenja: Pred preskušanjem epruvet bitumenskih zmesi jih najmanj 40 minut in ne več kot 60 minut negujemo v vodni kopeli na temperaturi 60°C. Čeljusti preše morajo imeti pred začetkom preizkusa temperaturo epruvete. Preden vstavimo epruveto v čeljusti, s pomočjo metalnega cilindra, ki ima iste dimenzije (d=101,6 mm) in temperaturo (60°C) kot epruveta, postavimo kazalce sile in tečenja na nulo. V tako pripravljeno prešo vstavimo epruveto in takoj začnemo z obremenjevanjem s premikanjem potisne čeljusti s hitrostjo 50 mm/min. Stabilnost po Marshallu je dosežena takoj, ko začne sila na skali upadati. V tem trenutku je potrebno odčitati silo obtežbe (kN). Deformacija epruvete, ki je dosežena do tega trenutka predstavlja tečenje (mm). Vrednost odčitamo na skali za tečenje. Čas od jemanja vzorca iz vodne kopeli do končnega preskušanja ne sme biti daljši kot 40 sekund. V primeru, da je višina epruvete različna od 63,5 mm, moramo vrednost za stabilnost pomnožiti s korekcijskim faktorjem, ki je podan v določilih standarda.

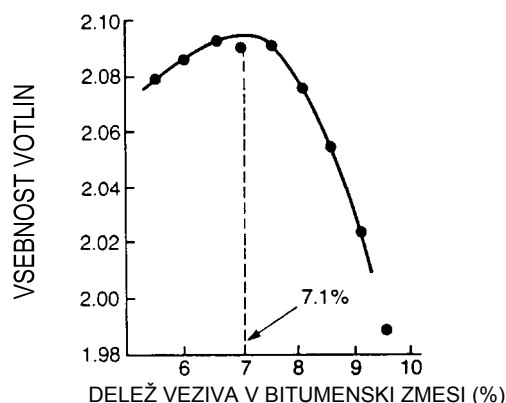
Kot rezultat za stabilnost in tečenje vzamemo povprečje 4 epruvet. Dovoljeno odstopanje posameznega rezultata od povprečne vrednosti je lahko za določeno bitumensko zmes največ 15% za stabilnost in največ 20% za tečenje. Togost asfaltne zmesi pri 60°C po Marshallu oziroma Marshallov količnik izračunamo po formuli:

$$Q_m = \frac{\text{stabilnost (kN)}}{\text{tečenje (mm)}} \cdot \frac{1}{\text{mm}} \quad (1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}).$$

Interpretacija rezultatov: Ko razpolagamo z rezultati vseh preiskav bitumenskih zmesi, lahko izdelamo diagrame sovisnosti med prostorninsko maso bitumenske zmesi, vsebnostjo votlin v mineralni zmesi, stabilnostjo bitumenske zmesi ali tečenjem bitumenske zmesi in deležem veziva v bitumenski zmesi, v odstotkih. Diagrami imajo približno takšno obliko, kot je prikazano na sliki 18 (diagrame A,B,C,D). Iz prvih treh diagramov odčitamo optimalni delež veziva v procentih in izračunamo povprečje teh treh količin. Dobljena vrednost se mora nahajati znotraj mej, ki jih za posamezni namen uporabe bitumenske zmesi predpisujejo ustrezne tehnične specifikacije. Hkrati morajo biti za posamezni namen uporabe izpolnjeni tudi pogoji stabilnosti, lezenja in vsebnosti votlin v bitumenski zmesi.

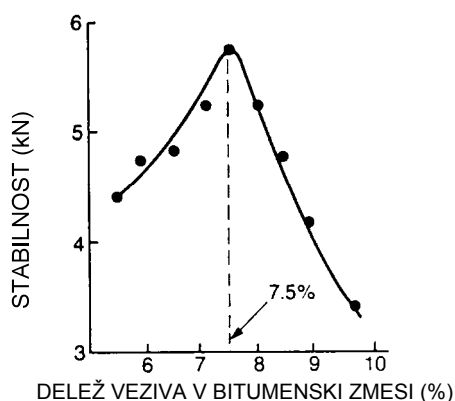


A

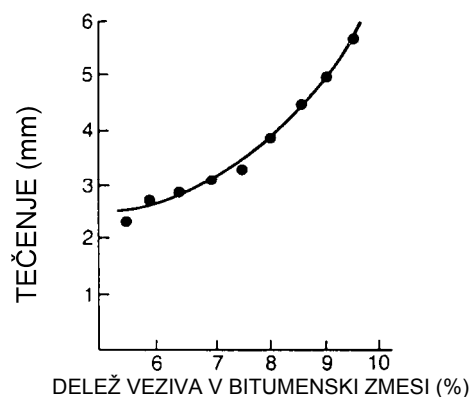


B

Slika 18:



C



D



2.5 KONTROLA IN KOMENTAR MOŽNIH NAPAK BITUMENSKE ZMESI PRI DOSTAVI NA GRADBIŠČE

Prevroč: Za prevročo bitumensko zmes je značilen modri dim, ki izhaja iz dobljene partije asfaltne zmesi. Takoj je potrebno preveriti temperaturo asfaltne zmesi in v primeru, da je višja od maksimalne dovoljene, ki je podana v specifikaciji proizvajalca, je potrebno celotno partijo bitumenske zmesi zavrni. V primeru, da je prekoračena temperatura vgrajevanja, ni pa prekoračena temperatura v specifikaciji, partijo obdržimo in sami naredimo nujne korekcije.

Premrzelo: Za premrzlo bitumensko zmes je značilno, da ima v splošnem bolj togo obnašanje, večja zrna agregata pa so zelo slabo obvita z vezivom. Takoj preverimo temperaturo dobljene partije. V primeru, da je nižja od specifikacije proizvajalca, jo zavrnemo. Če pa je v mejah specifikacije, vendar nižja od temperature vgrajevanja, partijo obdržimo, potrebni pa so dodatni ukrepi pred ugraditvijo bitumenske zmesi.

Preveč veziva: Ko vlivamo partijo bitumenske zmesi v posipalnik se bo nasuta količina materiala, ki oblikuje kopico, naenkrat razlezla in izravnala. Preveč veziva lahko ugotovimo tudi po načinu kako se mešanica vgrajuje.

Premalo veziva: Vizualno zelo hitro ugotovimo, da vsebuje mešanica premalo veziva. Zrna agregata so slabo obvita z vezivom in takšna mešanica tudi nima karakterističnega sijaja. Pri vgrajevanju je plast skoraj rjave barve in jo zelo težko zgostimo.

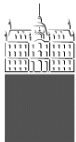
Neenakomerna mešanica: Ima madeže agregata rjave barve na črni podlagi, ki ima sij.

Preveč drobirja: Takšna bitumenska zmes je zelo slabo vgradljiva, po videzu je zelo podobna zmesi s preveč veziva.

Preveč peska: Karakterizira jo drugačna tekstura po končanem postopku vgrajevanja. Po videzu je podobna zmesi s premalo veziva.

Preveč vlage: Ko takšno mešanico vlivamo v zbiralni lijak posipalnika, začne močno izhajati vodna para. Lahko dobimo občutek, da se mešanica kuha. V primeru, da se mešanica v lijaku bolj peni, kot pa da izhajajo mehurčki, je razlog za to preveč veziva v mešanici.

Razno: Slabo rokovanje z mešanico in sicer v takšni meri, da lahko določeno partijo mešanice zavrnemo. V drugem primeru je lahko mešanica onesnažena, v njej se nahajajo bencin, kerozin, olje itd. Takšne mešanice ne smemo vgrajevati v voziščno konstrukcijo.



DATUM OBISKA VAJ

POTRDITEV OBISKA VAJ

PODPIS ŠTUDENTA

PREGLEDAL



DODATEK – RAČUNSKE NALOGE

MINERALNI AGREGAT

1. NALOGA

Skozi sistem sit; 31,5; 16; 8; 4; 2; 1; 0,5 in 0,25 smo presejali 55kg agregata. Kot rezultat tehtanja smo dobili komulativne ostanke agregata na posameznem situ, saj smo najprej stehtali maso agregata, ki je ostal na situ 31,5, potem pa smo agregat, ki je ostal na manjših sitih postopoma dosipavali in vsakokrat odčitali skupno maso.

Določite ostanek na posameznem situ v %, presejek skozi posamezno sito v %, delež posamezne frakcije v celotni masi agregata v % in maso posamezne frakcije.

Sito (mm)	Ostanek na situ		Presejek skozi sito (%)	Delež frakcije		Frakcija mm/mm
	kg	%		kg	%	
31,5	0,0					
16	20,9					16/32
8	34,1					8/16
4	42,35					4/8
2	47,3					2/4
1	50,6					1/2
0,5	52,25					0,5/1
0,25	53,9					0,25/0,5
ostanek	55					0/0,25
Σ					100	



2. NALOGA

Za agregat, ki smo ga presejali skozi sistem standardnih sit z odprtinami 31,5; 16; 8; 4; 2; 1; 0,5 in 0,25 mm smo dobili sledeča podatke:

- a) delež frakcije 0,25/0,5 je 3%
- b) presejek skozi sito 0,5mm je 5%
- c) ostanek na situ 1mm je 92%
- d) delež frakcije $\frac{1}{2}$ je 22%
- e) presejek skozi sito 4mm je 30%
- f) ostanek na situ 8mm je 50%
- g) delež frakcije 4/16 je 45%
- h) delež frakcije 8/32 je 48%

Določite in narišite sejalno krivuljo tega agregata. Kolikšen delež nadmernih zrn vsebuje agregatna mešanica in kolikšen je delež frakcije 2/4?

Sito (mm)	Ostanek na situ (%)	Presejek skozi sito (%)	Delež frakcije (%)	Frakcija mm/mm
31,5				16/32
16				8/16
8				4/8
4				2/4
2				1/2
1				0,5/1
0,5				0,25/0,5
0,25				0/0,25
ostanek				
Σ				



3. NALOGA

V tabeli so podani presejki skozi posamezno sito odprtine d_i za tri agregate: A, B in C.

Odprtina sita d_i (mm)		0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63
Presejek skozi sito Y_i (%)		22,5	58,4	75,2	90	100	100	100	100	100
		4,5	6,2	9,1	20	88,5	100	100	100	100
		0	0	2,5	7,6	14,2	26,3	40,8	61,9	100

Določite potrebno količino vsakega izmed treh agregatov tako, da dobite mešanico D skupne količine 1900kg, za katero velja:

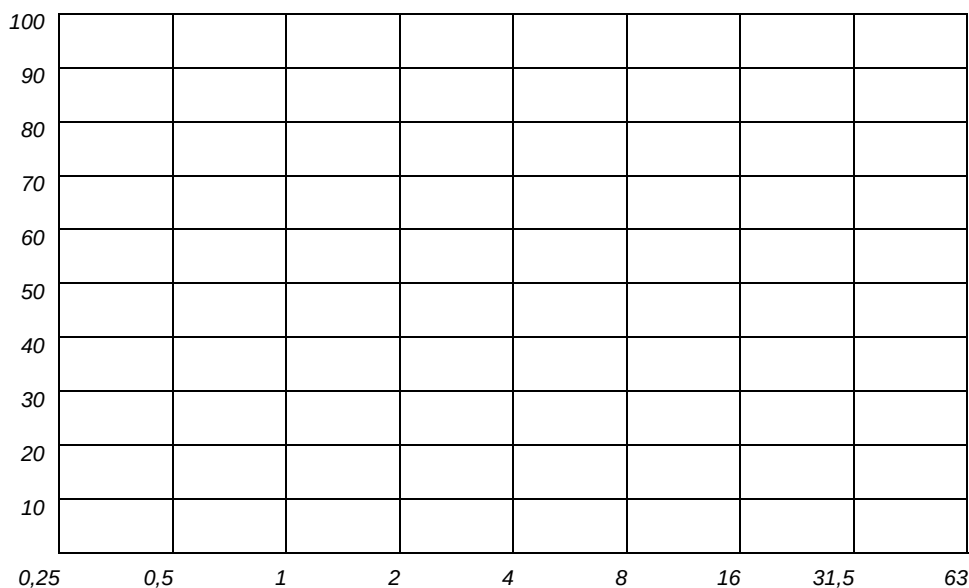
- a) Vsota mas agregatov A in B proti masi agregata C v mešanici je 1:4.
- b) Mešanica D mora vsebovati 30% finih frakcij (agregat, ki gre skozi sito 4mm)

Določite in narišite sejalne krivulje vseh 3 agregatov (A, B in C) ter mešanice D.

Rešitev:

Presejek skozi posamezno sito za agregat D:

Odprtina sita d_i (mm)	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63
Presejek Y_i^D (%)									





4. NALOGA

Gradbišče razpolaga s štirimi frakcijami agregata I, II, III in IV nazivnih velikosti 0/4, 4/8, 8/16 in 16/32. Ker pa so sita v separaciji, ki je dobavila agregat, poškodovana, imajo vse frakcije razen frakcije I določen odstotek nadmernih zrn.

- Frakcija II (4/8) vsebuje 25% zrn velikosti 8/16
- Frakcija III (8/16) vsebuje 25% zrn velikosti 16/32
- Frakcija IV (16/32) vsebuje 10% zrn velikosti 32/63

Izračunajte potrebne deleže vseh frakcij v odstotkih, da dobite mešanico, ki ima presejke skozi sita 4, 8 in 16 35%, 50% in 70%. Na koncu določite sejhalno krivuljo mešanice.

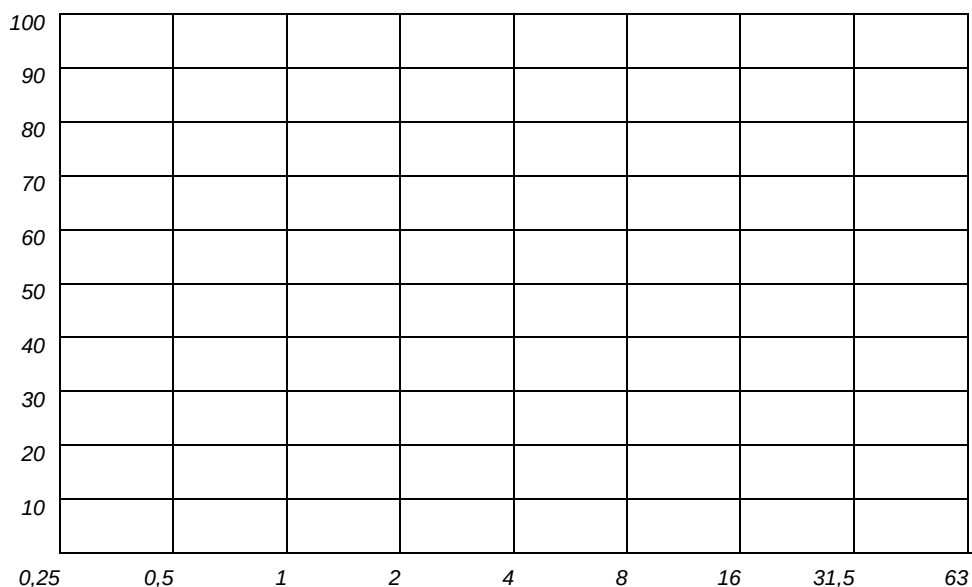
Frakcija I:

Sito d_i/d_{i+1}	0/0,25	0,25/0,5	0,5/1	1/2	2/4
Frakcija (%)	10	35	25	15	15

Rešitev:

Sejhalna krivulja mešanice:

Odprtina sita d_i (mm)	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63
Presejek Y_i^V (%)									





5. NALOGA

V preglednici so podane zrnnavostne sestave treh agregatov (frakcije 1, 2 in 3). Določite module finosti M_i ($i=1, 2, 3$) za vsakega od podanih agregatov. Izračunajte delež vsakega od treh agregatov tako, da dobite z mešanjem frakcij 1, 2 in 3 agregat z modulom finosti enakim, kot ga ima agregat z zrnnavostno sestavo:

$$Y_i = 25 \cdot \frac{d_i}{D_{\max}} + 75 \cdot \sqrt{\frac{d_i}{D_{\max}}}, \text{ kjer je } D_{\max} = 16 \text{ mm.}$$

Pri tem predpostavite, da je v obravnavani mešanici agregata 1 3x več kot agregata 2.

Frakcija	Sito d_i (mm)								
	0.1	0.2	0.4	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	31.5
1. 0/4	10	17	28	42	64	97	100	100	100
2. 4/8	-	-	1	1	2	4	95	100	100
3. 8/16	-	-	-	1	1	3	4	99	100

Rešitev:

Frakcija	Sito d_i (mm)								
	0.1	0.2	0.4	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	31.5
1. 0/4 (%)									
2. 4/8 (%)									
3. 8/16 (%)									
MEŠANICA									



6. NALOGA

Podane so tri frakcije agregata (preglednica): 0/2, 2/8 in 8/32. Če pomešamo 20% frakcije 0/2, 25% frakcije 2/8 in 55% frakcije 8/32 dobimo mešanico agregata, katere zrnavostno sestavo je potrebno določiti in grafično prikazati. Ali je dobljena zrnavostna sestava znotraj mejnih krivulj, ki sta določeni z izrazoma:

$$A = 50 \cdot \left(\frac{d_i}{D_{\max}} + \sqrt{\frac{d_i}{D_{\max}}} \right) \text{ in}$$

$$B = 100 \cdot \sqrt{\frac{d_i}{D_{\max}}}$$

Frakcija	Sito d_i (mm)									
	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	31.5	63
0/2	11	55	74	86	97	100	100	100	100	100
2/8	3	4	5	6	9	57	95	100	100	100
8/32	2	2	3	4	4	5	12	43	91	100

Rešitev:

Frakcija	Sito d_i (mm)									
	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	31.5	63
0/2 (20 %)										
2/8 (25%)										
8/32 (55%)										
MEŠANICA										
A										
B										



7. NALOGA

V preglednici so podani rezultati merjenja dimenzij in mase 10. zrn agregata. Dejanska prostornina 10. preiskanih zrn je $22,7 \text{ cm}^3$. Določite modul oblike in prostorninsko maso agregatnih zrn.

Če je gostota kompaktnega kamnitega materiala v agregatnih zrnih 2650 kg/m^3 , kolikšno poroznost ima agregat?

ZRNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_{\max}$ (cm)	2.53	2.01	2.16	2.83	1.96	2.54	2.92	1.74	1.93	2.55
$l_{\min}$ (cm)	1.22	1.42	1.03	0.5	1.53	2.06	2.04	1.32	1.51	2.26
masa (g)	5.8	3.9	3.5	4.0	4.7	8.5	13.6	2.8	4.1	8.5
$l_{\max}/l_{\min}$										

8. NALOGA

V valjasto posodo z notranjim premerom 15 cm, višino 25 cm in maso 0.45 kg nasujemo (brez kakršnegakoli zbijanja) popolnoma suh kremenčev pesek, ki zapolni posodo do višine 17 cm. Masa posode skupaj s peskom je 4,96 kg. Po določanju skupne mase peska in posode dolijemo v posodo s peskom po 250 g vode v 6-ih poskusih. Pri tem dobimo sledeče višine slojev peska (merjeno od dna):

23 cm; 21.9 cm; 19.4 cm; 16.7 cm; 15.3 cm in 15.1 cm.

Izračunajte spremembo prostorninske mase peska v odvisnosti od vlažnosti. Dobljeno funkcijo prikažite tudi grafično.

	Količina vode (kg)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
Prostornina peska (cm^3)							
Masa peska (kg)							
Vlažnost (%)							
Prostorninska masa peska (kg/m^3)							



9. NALOGA

Popolnoma suh agregat frakcije 4/8 mm mase 7.52 kg potopimo v vodo in ga pustimo, da odležava v vodi do popolnega zasičenja. Masa vlažnega agregata neposredno potem, ko ga vzamemo iz vode in odcedimo znaša 7.78 kg. Masa istega agregata v površinsko suhem notranje vlažnem stanju znaša 7.63 kg. Če je prostorninska masa zrn suhega agregata 2580 kg/m^3 izračunajte:

- Prostorninsko maso zrn z vodo zasičenega površinsko suhega agregata, celotno (absolutno) vlažnost agregata in površinsko vlažnost agregata glede na površinsko suh notranje vlažen vzorec.
- Debelino filma vode okrog zrn vlažnega agregata (agregata, ki smo ga potem, ko smo ga vzeli iz vode, odcedili) če predpostavite, da imajo zrna obliko krogle in da frakcijo 4/8 dovolj dobro predstavlja povprečno zrno premera 6 mm.

10. NALOGA

Za agregat s specifično maso (prostorninsko maso agregatnih zrn) $\gamma_A = 2600 \text{ kg/m}^3$ ste določili prostorninsko maso v nasutem in v zbitem stanju na petih reprezentativnih vzorcih (preglednica). Določite povprečno spremembo deleža votlin med nasutim in zbitim stanjem.

Vzorec	$\gamma_{\text{nasut}} (\text{kg/m}^3)$	$\gamma_{\text{zbit}} (\text{kg/m}^3)$	$\Delta V (\%)$
1	1820	1890	
2	1800	1875	
3	1833	1901	
4	1810	1885	
5	1827	1898	
			Povpr.:



GRADBENI KAMEN

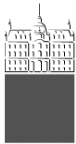
11. NALOGA

S preiskavo apnenca z gostoto kompaktnega kamnitega materiala ρ_A 2700 kg/m³ smo dobili vodovpojnost pri običajnih pogojih 6,5%, s preiskavo pod pritiskom 15MPa pa smo dobili vodovpojnost U_p , s katero smo določili koeficient zasičenosti k_u enak 0,77. Ob predpostavki, da ima obravnavan apnenec izključno odprte pore in da je k_u dobljen pri 100% zapolnjenosti por z vodo izračunajte prostorninsko maso γ_A in poroznost obravnavanega apnenca.

12. NALOGA

V preglednici so prikazani rezultati merjenja mas vzorcev gradbenega kamna, kjer je m_0 masa popolnoma suhega vzorca, m_{0v} masa vzorca popolnoma zasičenega z vodo, m_{0v}' pa masa vzorca popolnoma zasičenega z vodo po končanih preiskavah zmrzlinke odpornosti kamnine. Določite povprečno vodovpojnost obravnavanega kamna in na podlagi povprečne izgube mase po 25 ciklih zmrzovanje/tajanje ocenite zmrzlinško obstojnost kamna. Kamen je zmrzlinško obstojen, če povprečna izguba mase ni večja od 5%.

VZOREC	$m_0(g)$	$m_{0v}(g)$	$m_{0v}'(g)$	$u(\%)$	$\Delta m(\%)$
1	245	267	238		
2	326	359	309		
3	512	553	492		



13. NALOGA

Za določitev prostorninske mase kamna je bila uporabljena metoda merjenja navidezne spremembe mase po potopitvi kamna v vodo (metoda hidrostatične tehtnice). Glede na veliko poroznost materiala je bilo vseh šest vzorcev na površini prevlečeno s tankim slojem parafina. Z merjenjem so bile dobljene sledeče vrednosti:

VZOREC	M (kg)	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	V _{kamna} (dm ³)	γ _A (kg/m ³)
1	11,861	12,055	5,603		
2	7,333	7,480	3,281		
3	6,236	6,362	2,988		
4	10,478	10,663	4,725		
5	11,761	11,960	5,360		
6	6,019	6,155	2,634		

Kjer so: M - masa vzorca brez parafina

M₁ - masa vzorca prevlečenega s parafinom

M₂ - masa vzorca po potopitvi v vodo

Na podlagi podatkov iz priložene tabele izračunajte prostorninsko maso kamna kot povprečje vseh rezultatov meritev. Predpostavite, da je prostorninska masa parafina 930 kg/m³.



OPEČNI ZIDAKI IN BLOKI

14. NALOGA

Določite tlačno trdnost posameznega preskušanca in normirano tlačno trdnost opeke, če ste kot rezultat preiskav opeke normalnega formata dobili naslednje rezultate (preglednica):

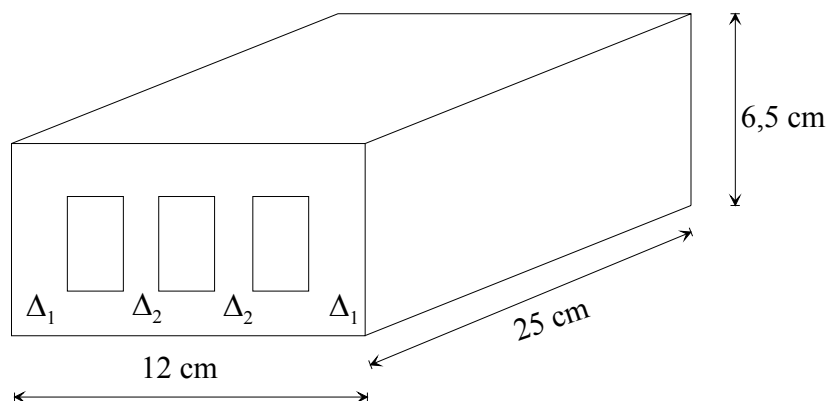
Širina (mm)	50	100	150
Višina (mm)			
40	0,80	0,70	-
50	0,85	0,75	0,70
65	0,95	0,85	0,75
100	1,15	1,00	0,90

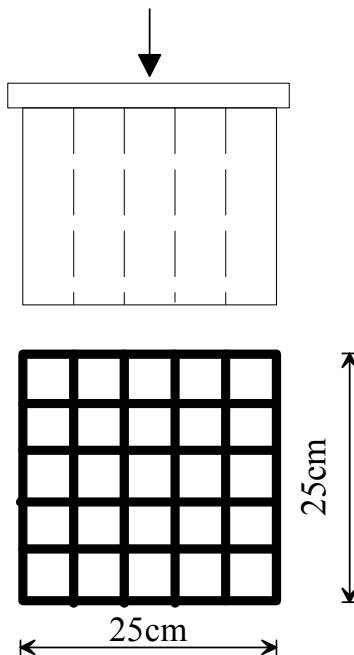
Preglednica:

številka preskušanca	prečni prerez (mm ²)	porušna sila (kN)	Tlačna trdnost (MPa)
1	30000	644	
2	30492	612	
3	30256	550	
4	31250	515	
5	29500	550	
6	31124	520	
Povprečna tlačna trdnost			
Normirana tlačna trdnost			

15. NALOGA

Za luknjičasto opeko na skici določite porušno silo P in debelino sten Δ_1 in Δ_2 , če smo s preiskavo ugotovili, da znaša: tlačna trdnost opeke 8 MPa, tlačna trdnost opečnega materiala pa 20 MPa. Upoštevajte, da je debelina Δ_1 2-kratnik debeline Δ_2 .



**16. NALOGA**

Pri preizkusu votlavega bloka iz pečene gline z vertikalnimi votlinami (glej skico) in debelino sten 1,5 cm so dobljene naslednje vrednosti sile loma: 956 kN, 800 kN, 1075 kN, 962 kN in 894 kN. Določite povprečno tlačno trdnost opečnega bloka in materiala (sten bloka).

17. NALOGA

Polna fasadna opeka iz gline je izpostavljena merjenju vpijanja vode z metodo kapilarnega dviga. Po stabilizaciji procesa vpijanja je izmerjeno, da je opeka omočena do višine 16,5 cm. Če je bila masa popolnoma suhe opeke 3,471 kg in masa vlažne opeke 3,826 kg je potrebno določiti:

- Prostorninsko maso suhe opeke, vpijanje vode in prostorninsko maso vlažnega opečnega materiala.
- Celotno poroznost opečnega materiala ob predpostavki, da sta zaprta in odprta poroznost obravnavanega materiala v razmerju 1:4.
- Specifično maso opečnega materiala.



SVEŽE MALTE IN BETONI

18. NALOGA

Mešanico svežega betona v kateri je masno razmerje cement:pesek:gramoz 1:2:4, V/C razmerje pa 0,67 med vgrajevanjem najprej kratkotrajno vibriramo, potem pa vakumiramo. Z vakumiranjem odstranimo iz mešanice 25% vode. kar predstavlja zmanjšanje mase vgrajenega betona za 50 kg pri 1 m³ betona.

- Določite prostorninsko maso svežega betona pred vakumiranjem.
- Določite prostorninsko maso istega betona in vsebnost posamezne komponente v 1 m³ betona po vakumiranju.

19. NALOGA

Za izdelavo cementne malte je uporabljeno 1,25m³ peska, katerega prostorninska masa znaša 1700 kg/m³, specifična masa pa 2600 kg/m³. Koliko cementa (v kg) in vode (v kg) potrebujete za izdelavo kompaktne malte, to je malte pri kateri cementna pasta zapolni vse votline med zrnji peska. Računamo s specifično maso cementa 3000 kg/m³ in z vodocementnim razmerjem 0,55.

20. NALOGA

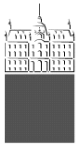
Izračunajte potrebne količine materiala za 200 litrov standardne cementne malte in maso cementne malte, ki smo jo vgradili v tridelni kalup za izdelavo prizem za preverjanje trdnosti cementa, če je delež zraka v sveži malti 3%.

Podatki, ki jih potrebujete:

prostorninska masa cementa brez por in votlin ρ_c	3,10 g/cm ³
prostorninska masa zrn standardnega peska ρ_p	2,7 g/cm ³
gostota vode ρ_v	1,00 g/cm ³

21. NALOGA

Določite poroznost standardne cementne malte s prostorninsko maso 2240 kg/m³. Prostorninska masa cementa brez por in votlin, prostorninska masa zrn standardnega peska in gostota vode so enake kot v nalogi 20.



22. NALOGA

Zamešati morate 50 litrov betonske mešanice z vodocementnim razmerjem 0,55 in 500kg cementa v m^3 betona. Delež zraka v mešanici je 3.5%. Predpisano imate tudi največje zrno agregata $D_{\max}=8\text{mm}$ in presejek skozi sito 4mm 70%. Ko ste določili, koliko agregata posamezne frakcije potrebujete, ste v separaciji naročili za 50% večjo količino frakcij 0/4 in 4/8. Agregat so vam dostavili v laboratorij, kjer ste ugotovili, da je zelo suh in da vpije do površinsko suhega notranje vlažnega stanja 5% vode glede na maso agregata v stanju, v katerem je bil dostavljen. Poleg tega ste s presejavanjem vsake posamezne frakcije skozi zaporedje sit 8 in 4mm ugotovili, da ostane 25% dostavljene frakcije 0/4 na situ 4mm, 25% dostavljene frakcije 4/8 pa gre skozi sito 4mm.

Izračunajte masi agregata, ki ga morate odvzeti iz dostavljenih frakcij 0/4 in 4/8 ter maso vode, ki jo morate dodati suhi mešanici agregata in cementa, da bo sestava 50 litrov mešanice, ki jo boste zamešali v mešalcu enaka sestavi projektirane mešanice.

Podatki: $\rho_{\text{agregata}}=2650\text{kg/m}^3$, $\rho_{\text{cementa}}=3100\text{kg/m}^3$, $\rho_{\text{vode}}=1000\text{kg/m}^3$

STRJENE MALTE IN BETONI

23. NALOGA

Opišite postopek določanja statičnega modula elastičnosti betona. Določite modul elastičnosti betona v primeru, da znaša tlačna trdnost betonske prizme 30MPa, do napetosti 12MPa pa lahko diagram napetost (σ v MPa) – deformacija (ε v ‰) aproksimiramo s premico. Pri napetosti 1MPa je pripadajoča deformacija 0,04‰, pri napetosti 12MPa pa 0,4‰.



24. NALOGA

Dobili ste nalogo, da določite krčenje cementne malte. Zato ste zamešali standardno cementno malto in jo vgradili v standardne kalupe z ustrezno nameščenimi reperji. Prvih 24 ur ste prizmice negovali pri 95% relativni vlagi, potem ste jih razkalupili in negovali v pitni vodi še 48 ur. Nato ste vzeli prizmice iz vode, jih obrisali, označili in izmerili njihovo dolžino. To je bilo 04.03.1996. Meritve krčenja ste opravili v časovnih intervalih, ki jih predpisuje standard. Dobili ste naslednje odčitke:

04.03.2004	320
08.03.2004	313.6
11.03.2004	310.4
25.03.2004	304.8
01.04.2004	304.0

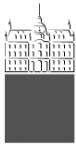
Narišite diagram časovnega poteka krčenja cementne malte tako, da nanesete na X os starost malte v dnevih, na Y os pa deformacijo zaradi krčenja malte v promilih [‰]. Graf-Kaufmanov deformeter, s pomočjo katerega ste določali krčenje prizmic, je opremljen z merilno urico obsega 10mm, ki je razdeljena na intervale po 0,01mm.

LES

25. NALOGA

Kot rezultat preiskav vlažnosti in trdnosti preskušancev iz hrastovega lesa smo dobili vrednosti, ki jih podaja tabela:

Številka serije	Vlažnost H (%)	Tlak vzporedno z vlakni – porušna sila $P_{m }$ (kN)	Tlak prečno na vlakna – porušna sila $P_{c\perp}$ (kN)	Upogib s statično obtežbo – porušna sila P_{sf} (kN)
1	15	136	48	10,4
2	12	150	56	11,7
3	9	158	62	13,6
4	11	150	60	12,3
5	13	142	57	11,0



Določite povprečno tlačno trdnost vzporedno z vlakni, povprečno tlačno trdnost prečno na vlakna in povprečno upogibno trdnost pri statični obtežbi za preskušani hrastov les. Formule in parametri, ki bi jih utegnili potrebovati pri računu, so podani v nadaljevanju.

$$\beta_{sf,H} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2} \quad M - \text{upogibni moment na sredini prostoležeče grede zaradi sile } P_{sf}$$

b - širina preskušanca (velikega); h - višina preskušanca (velikega)

$\beta_{sf,H}$ - upogibna trdnost pri statični obtežbi

$\beta_{c||,H}$ - tlačna trdnost lesa s H % vlažnostjo vzporedno z vlakni

$\beta_{c\perp,H}$ - tlačna trdnost lesa s H % vlažnostjo prečno na vlakna

$$\beta_{sf,12} = \beta_{sf,H} \cdot [1 + 0,02 \cdot (H - 12)] \quad \beta_{c||,12} = \beta_{c||,H} \cdot [1 + 0,04 \cdot (H - 12)] \quad \beta_{c\perp,12} = \beta_{c\perp,H} \cdot [1 + 0,04 \cdot (H - 12)]$$

H - dejanska vlažnost lesa v %

KOVINE

26. NALOGA

S preiskavo jeklene epruvete smo ugotovili, da je diagram napetost-deformacija do napetosti 1000 N/mm^2 premica in da znaša raztezek epruvete pri tej napetosti 0,5%. Za napetosti večje od 1000 N/mm^2 ima diagram napetost-deformacija obliko kvadratne parabole. Epruveta se je pretrgala pri napetosti 1750 N/mm^2 in raztezku 2%.

- definirajte analitično obliko sovisnosti $\sigma = \sigma(\varepsilon)$, to je napetost = f(deformacija) ob predpostavki, da je tangenta na parabolo v točki $\sigma = 1000 \text{ N/mm}^2, \varepsilon = 0,5\%$ enaka naklonu premice iz izhodišča do te točke
- določite natezno trdnost materiala in pripadajočo deformacijo epruvete
- ker gre v tem primeru za kovino, kjer ni vidna izrazita meja elastičnosti, določite mejo elastičnosti in pripadajočo deformacijo s pomočjo definicije, ki velja za tovrstne materiale.