

HIDROTEHNIČKI BETON. MASIVNI BETON. UVALJANI BETON

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

HIDROTEHNIČKI BETON

- ugrađuje se u hidrotehničke konstrukcije ili objekte koji su stalno ili periodično u dodiru s vodom

Zahtjevi za beton:

- Kavitacija
- Erozija
- Vodonepropusnost
- Konstruktivni zahtjevi
- Otpornost na atmosferske utjecaje i agresivnost okoline
- Volumne deformacije

1. Prema položaju objekta u odnosu na nivo vode

- Podvodni beton
- Beton u zoni promjenjivog nivoa vode
- Beton iznad nivoa vode

2. Prema masivnosti konstrukcije

- Masivni beton
- Nemasivni beton

3. Obzirom na utjecaj pritiska vode

- Beton konstrukcija pod tlakom
- Beton konstrukcija sa slobodnim vodnim licem

Vrste hidrotehničkih betona

Projektiranje sastava hidrotehničkog betona

Pri izboru hidrotehničkog betona treba voditi računa o:

1. Dimenzijama betonskih monolita
2. Izloženosti vodi
3. Izloženosti temperaturnim promjenama
4. O vremenu očvršćavanja koje stoji na raspolaganju
5. O izloženosti koroziji
6. O izloženosti kavitaciji i hidrodinamičkim utjecajima



Hidrotehnički objekti

VEZIVO

- količina cementa se kreće od 150 – 300 kg/m³
- podvodni beton → portland – cement pucolanski s dodatkom zgre, te pješčano pucolanski
- sulfatna agresivnost vode → sulfatno otporni portland – cement

VODA

- količinu svesti na najmanju moguću, bez narušavanja uvjeta koji osiguravaju dobro ugrađivanje betona

AGREGAT

- maksimalno zrno agregata u mješavini što krupnije
- D_{max} :
 - treba biti manje od 1/5 najmanje dimenzije konstrukcije koja se betonira
 - ne treba biti veće od 2/3 najmanjeg razmaka između šipki armature

Prilikom izbora agregata treba voditi računa o:

- prednost imaju agregati sa što većim krupnim zrnom agregata (D_{max})
- konstrukcije izložene vibriranju – umjesto šljunka drobljeni kamen
- otpornost na mraz – agregati visoke čvrstoće i potpuno otporni na mraz

ADITIVI

- poboljšanje bitnih osobina hidrotehničkog betona
- prije upotrebe ispitati njihov učinak

VODOCEMENTNI FAKTOR (v/c)

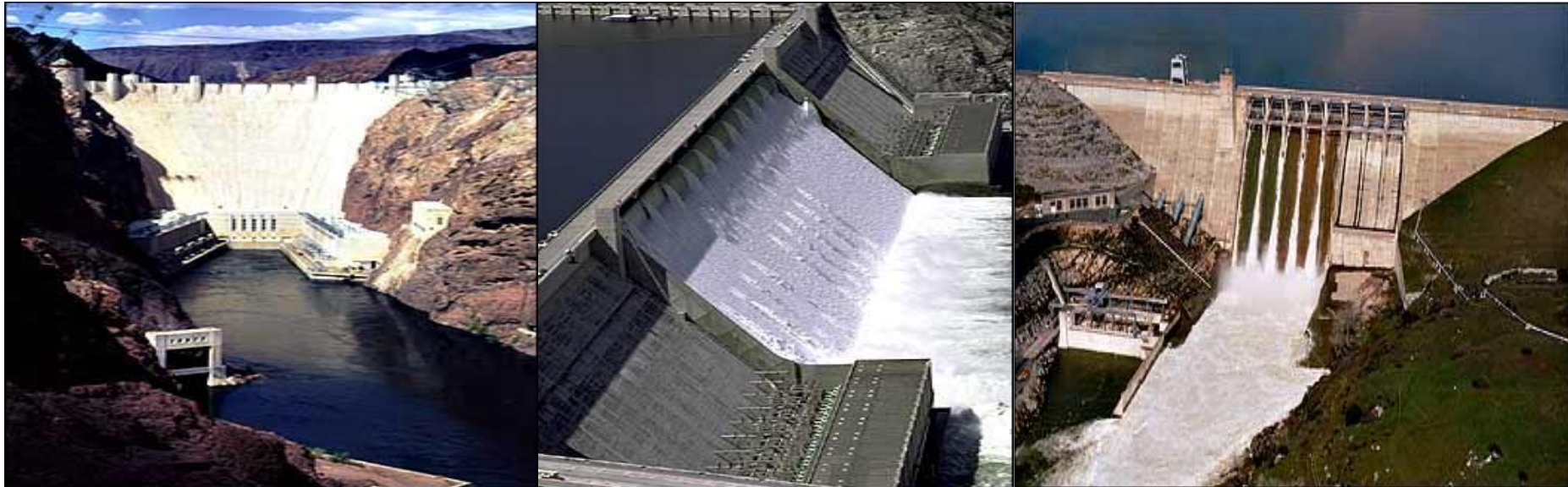
- maksimalna vrijednost v/c faktora određuje se na više načina:
- 1. Prema zahtjevima u pogledu vodonepropusnosti i otpornosti na mraz
- 2. Prema zahtjevima u pogledu čvrstoće

Najveće dopuštene vrijednosti v/c faktora

Uvjeti u kojima se nalazi beton	U armiranobetonskim konstrukcijama		U betonskim i slaboarmiranim masivnim konstrukcijama	
	u morskoj vodi	u slanoj vodi	u morskoj vodi	u slanoj vodi
Zona promjenjivog nivoa vode				
a) u teškim klimatskim uvjetima	0,50	0,55	0,55	0,50
b) u umjerenim i blagim klimatskim uvjetima	0,55	0,66	0,60	0,65
Dijelovi objekta koji se stalno nalaze pod vodom:				
a) pod pritiskom	0,55	0,60	0,60	0,65
b) bez pritiska	0,60	0,65	0,55	0,60
Nadvodni dijelovi objekta koji su povremeno u dodiru s vodom	0,65	0,65	0,70	0,70

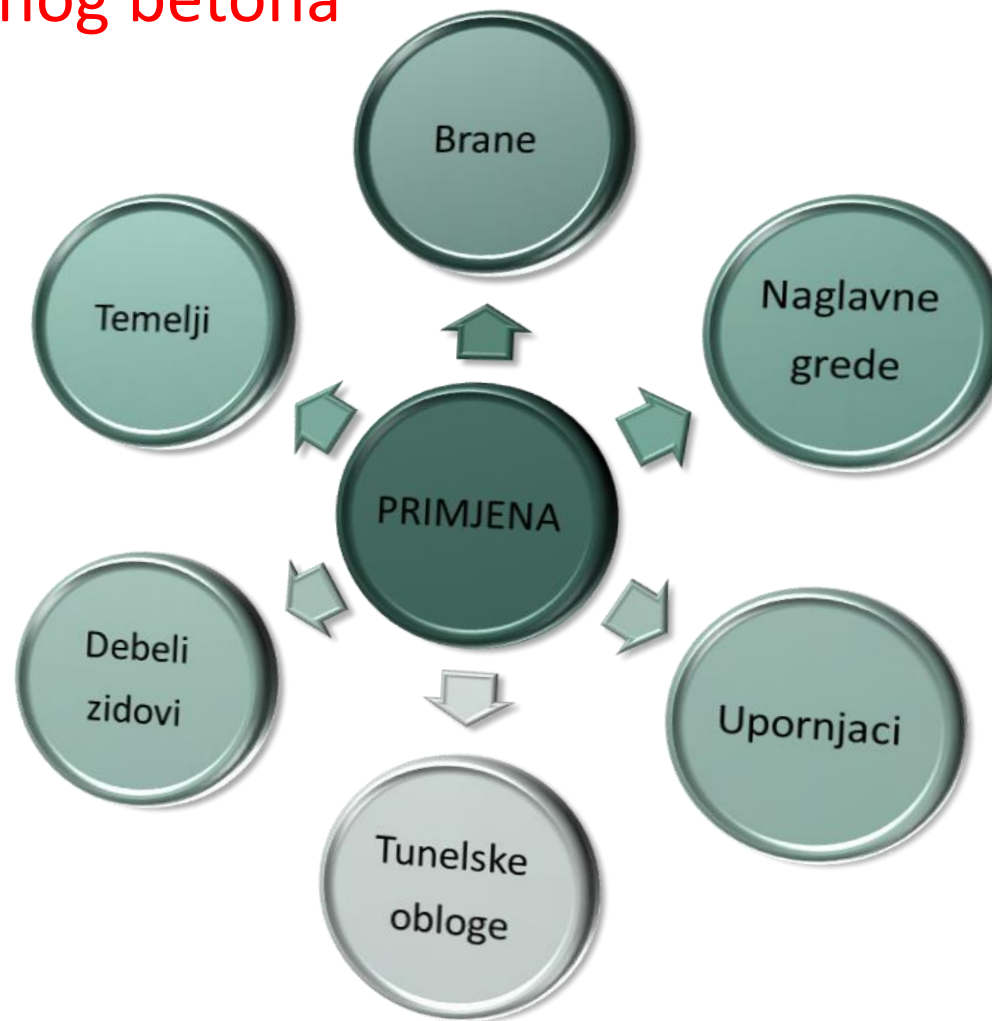
MASIVNI BETON

- Posebna vrsta hidrotehničkog betona
- Beton elemenata čiji je volumen veći od 10 m^3 a najmanje dimenzije u presjeku veće od 1,0 m



Brane od masivnih betona

Primjena masivnog betona

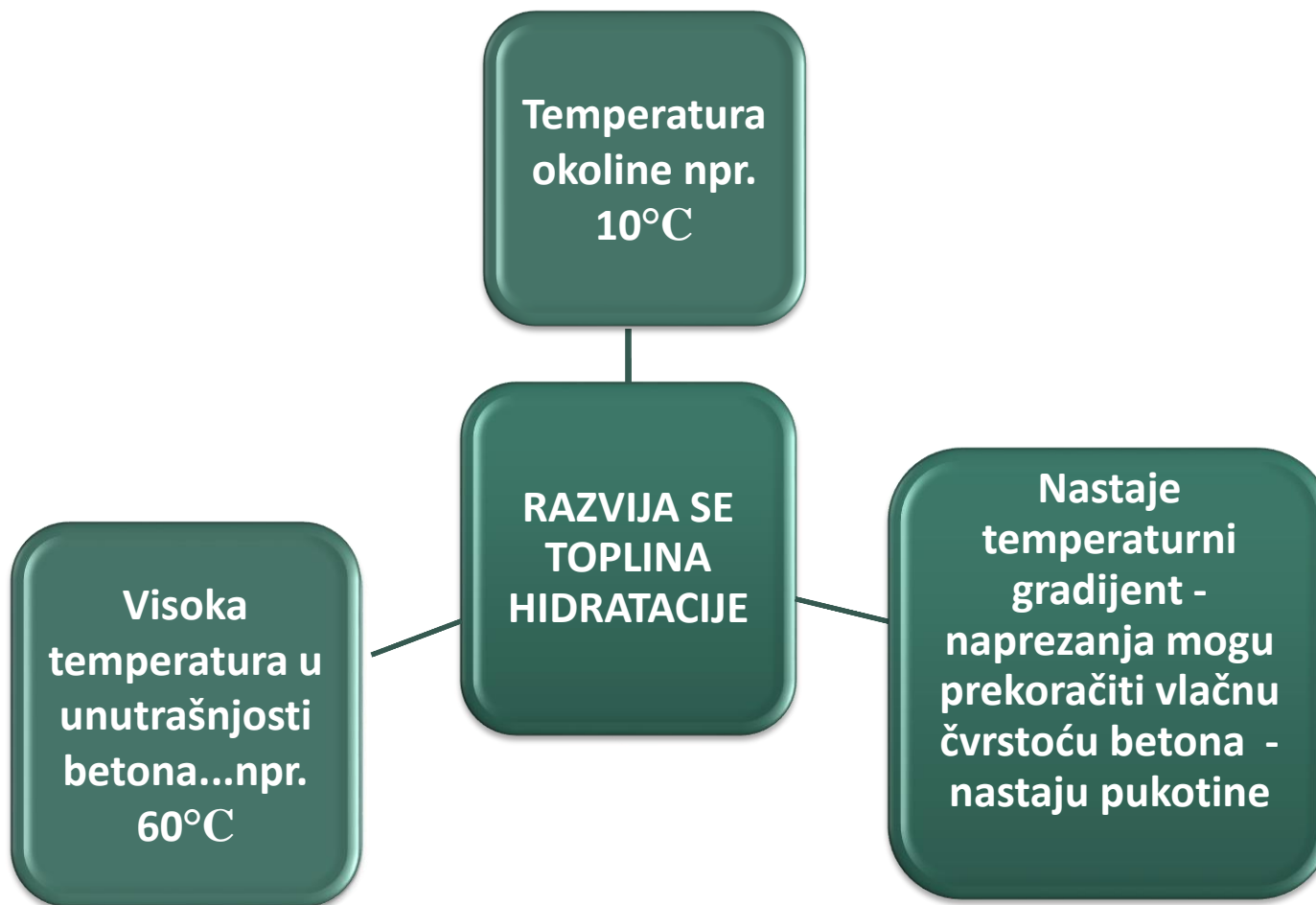


Problemi masivnog betona

- velika količina topline hidratacije
- pojava pukotina u betonskim elementima

Projektom konstrukcije potrebno specificirati:

- najviša dozvoljena temperatura u lokalnim uvjetima
- konstrukcijske mjere → tip konstrukcije
→ dimenzije blokova
→ tehnološke mjere koje se moraju poduzeti



Toplina hidratacije i pojava pukotina

Kontrola temperature:

- $T_{\max} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Kontrola vrste i količine veziva
- Prethodno hlađenje agregata i vode ili dodavanje kristalića leda
- Ispravan odabir dimenzija betonskih blokova
- Dodavanje tekućeg dušika
- Koristiti posebne mješavine i opremu

Kontrola pukotina:

- Minimalizirati razliku vanjske i unutrašnje temperature
- Smanjenje početne temperature betona
- Kontrola sadržaja cementa
- Naknadno hlađenje (voda u sistemu ugrađenih cijevi)

Zahtjevi za masivni beton

Osnovni zahtjevi:

- obradljivost
- vodonepropusnost
- niska toplina hidratacije
- minimalne pukotine
- čvrstoća na tlak
- čvrstoća na vlak
- trajnost
- ekonomičnost

Određeni dijelovi moraju ispunjavati i sljedeće zahtjeve:

- otpornost na mraz
- otpornost na abraziju
- kavitaciju i dr.

Projektiranje sastava masivnog betona

VEZIVO

- količina veziva ograničena
- vezivo ne smije sadržavati više od 15 % sitnih čestica agregata
- cement niske topline hidratacije uključujući zguru ili pucolan
- što manja količina vode

AGREGAT

- povoljan granulometrijski sastav agregat s dovoljno sitnih zrna iznad 0,125 mm
- najčešća primjena drobljenog agregata
- granulometrijski sastav se određuje eksperimentalno
- maksimalno zrno agregata je najčešće 100 mm ili 125 mm
- agregat se frakcionira u 6 frakcija

ADITIVI

- aeranti i plastifikatori smanjuju količinu cementne paste i poboljšavaju obradljivost masivnog betona

Područje granične vrijednosti sastava i svojstva betona

Razred izloženosti	Max v/c omjer	Minimalni razred čvrstoće	Minimalna količina cementa (kg/m ³)	Minimalna količina zraka (%)
XF1	0,55	C30/37	300	/

Betoniranje u vrućim klimatskim uvjetima

Betoniranje u vrućim klimatskim uvjetima:

- može doći do pada kvalitete svježeg ili očvrsnulog betona
- smanjiti temperaturu svježeg betona rashlađivanjem vode ili dodavanjem kristalića leda

Problemi koji se javljaju:

- povećana potreba za vodom
- otežana ugradnja betona
- smanjena konzistencija
- otežano kontroliranje količine pora u betonu
- pojava pukotina uslijed skupljanja betona

Posljedice betoniranja u vrućim klimatskim uvjetima

FAZA	POSljedICE
Proizvodnja	Povećan zahtjev za vodom obzirom na obradljivost
	Otežana kontrola uvučenog sadržaja zraka
Prijevoz	Gubitak vode evaporacijom
	Ubrzan gubitak obradljivosti
Ugradnja, završna obrada i njegovanje	Gubitak vode evaporacijom
	Ubrzan gubitak obradljivosti
	Ubrzana ugradnja
	Povećana tendencija plastičnim pukotinama uzrokovanim skupljanjem
Dugoročno	Veća temperatura tijekom hidratacije vodi povećanoj tendenciji pukotinama i manjoj dugoročnoj čvrstoći
	Manja čvrstoća
	Smanjenja trajnost
	Različit izgled površine

UVALJANI BETON

- Koncept uvaljanog betona nastao 60-tih godina zbog potrebe za kombiniranjem brzine građenja i ekonomičnosti
- Nova tehnologija transporta, ugradnje i zbijanja betona
- Prva primjena – brana Tarbela u Pakistanu (1975).



Primjena uvaljanog betona

Primjena:

- gradnja brana i srodnih masivnih objekata
- gradnja prometnica

PREDNOSTI

- dobro se ponaša u ekstremnim temperaturnim uvjetima
- brzina građenja i jednostavnost ugradnje
- mogućnost korištenja otpadnih materijala
- kod izgradnje kolnika → postižu se veće čvrstoće uz smanjene troškove, jednostavniju i bržu ugradnju

MANE

- pojava iznenadnih nekontroliranih pukotina
- kvaliteta između slojeva i građenja hladnim spojnica
- kod izgradnje kolnika problem → pojava pukotina
 - površinska tekstura
 - otpornost na smrzavanje i odmrzavanje

Vrste uvaljanog betona

Podjela uvaljanog betona:

- Mršavi uvaljani beton
- Beton uvaljan u debelim slojevima
- Uvaljan beton s visokim sadržajem paste

Projektiranje sastava uvaljanog betona

VEZIVO

- manja količina veziva → obični portland – cement u količinama 75 – 150 kg/m³
- količina vode od 80 do 120 l
- v/c od 0,75 do 1,00
- cementu se dodaju pucolani (leteći pepeo) – količina veća od 50 %

AGREGAT

- prirodno kopani ili drobljeni agregat
- maksimalno zrno agregata ne treba prelaziti 75 mm
- 3 – 4 frakcije: 0 – 4; 4 – 16; 16 – 31,5; 31,5 – 100 mm
- sitne čestice u količinama od 3 – 8 %

ADITIVI

- dodavanje usporivača vezanja, ponekad superusporivača
- dodavanje plastifikatora (štetan utjecaj na svojstva svježeg uvaljanog betona)

Primjer projektiranja sastava uvaljanog betona

Sastav betonske mješavine		Masa		Gustoća	Volumen
		%	(kg)	(kg/dm ³)	(dm ³)
Portland – cement		/	150,00	3,14	47,77
Voda		/	130,00	1,00	130,00
v/c = 0.85		/	/	/	/
Usporivač vezanja – Sika VZ4		0,4	0,60	1,16	0,52
Sitne čestice (filer)		4,0	60,00	2,69	22,30
Zrak		2,0	/	/	/
Agregat (drobljeni, dolomit)	0 – 4 mm (drobljeni)		560,02	2,85	196,50
	4 – 16 mm (drobljeni)		328,49	2,85	115,26
	16 – 31,5 mm (drobljeni)		676,45	2,85	237,35
	31,5 – 100 mm (drobljeni)		713,36	2,85	250,30
Ukupno		/	2618,92	2,62	1000,00

Proizvodnja, transport, ugradnja i njega

Proizvodnja

- velikokapacitetne betonare za obični beton
- posebna postrojenja kontinuiranog rada s pužnim transportom i homogenizacijom mase

Transport

- kabel – kranovi ili toranjske dizalice
- damperi velikih kapaciteta
- najpovoljnije – sustav transportnih traka

Prilikom dopreme i ugradnje voditi računa o:

- dinamici dopreme
- razastiranju u specificiranim slojevima
- stanju vlažnosti
- broju prijelaza vibrovaljka
- vlažnoj njezi uvaljanog betona

Ugradnja

- U horizontalnim slojevima (3-5 slojeva) debljine 50-75 cm
- Zbijanje jednostrukimili tandem vibrovaljcima
- Za sloj debljine 50-100 cm broj prelazaka iznosi 6-15



Proces ugradnje



Njega uvaljanog betona

Njega

- Zaštititi ugrađeni beton od isušivanja, visokih i niskih temperatura
- Zaštita plastičnom folijom ili cisternama s raspršivačima vlage

Preporučene vrijednosti slijeganja za pojedine betonske konstrukcije

TIP KONSTRUKCIJE	SLIJEGANJE (mm)
Slabo armirani ili nearmirani temelji	10 – 50
Armirani temelji, zidovi, ploče nosači i stupovi	30 – 100
Jako armirani dijelovi zidova, ploča, nosača i stupova	60 – 140
Cestovne ploče, industrijski podovi	10 – 50
MASIVNI HIDROTEHNIČKI BETON	10 – 50
Betoniranje pod vodom	80 – 160

Tlačne čvrstoće kontrolnih uzoraka brana od uvaljanog betona

Brana/ Projekt	Cement (kg/m ³)	Pucolan (kg/m ³)	v/c	Tlačna čvrstoća (N/mm ²)				
				7 dana	28 Dana	90 dana	180 dana	365 dana
Camp Dyer	82	81	0,55	6,1	10,1	/	/	25,4
Concepcion	90	0	1,03	4,0	5,5	7,6	8,8	/
Galesville	53	51	1,09	2,1	4,0	7,0	/	11,2
Middle Fork	66	0	1,43	/	8,8	11,4	/	/
Santa Cruz	76	75	0,67	7,5	18,8	22,2	/	30,5
Upper Stillwater	79	173	0,37	10,8	17,7	24,8	38,5	48,1
Willow Creek	104	47	0,73	7,9	14,2	27,3	/	28,6

Ispitivanje vodonepropusnosti betona

Metoda sa spriječenim izlazom vode na bočnim stranama

- uzorak oblika valjka promjera baze i visine 15 cm
- Prema HRN U. M1. 015 razlikujemo marke vodonepropusnosti:
V – 2; V – 4; V – 6; V – 8; V – 12

Metoda s nespriječenim izlazom vode na bočnim stranama

- uzorak oblika valjka promjera baze i visine 20 cm ili kocke s bridom 20 cm
- vrijeme trajanja i veličina pritiska:
 - 48 sati → 1 bar
 - 24 sata → 3 bara
 - 24 sata → 7 bara
- marka vodonepropusnosti V – 2 → maksimalna dubina prodiranja vode 10 – 12 cm

BETONI KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA. BETONI U TUNELIMA

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

BETONI KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA

Betonski kolnici - se počinju graditi u 19. stoljeću u Velikoj Britaniji, Francuskoj, Njemačkoj i SAD-u

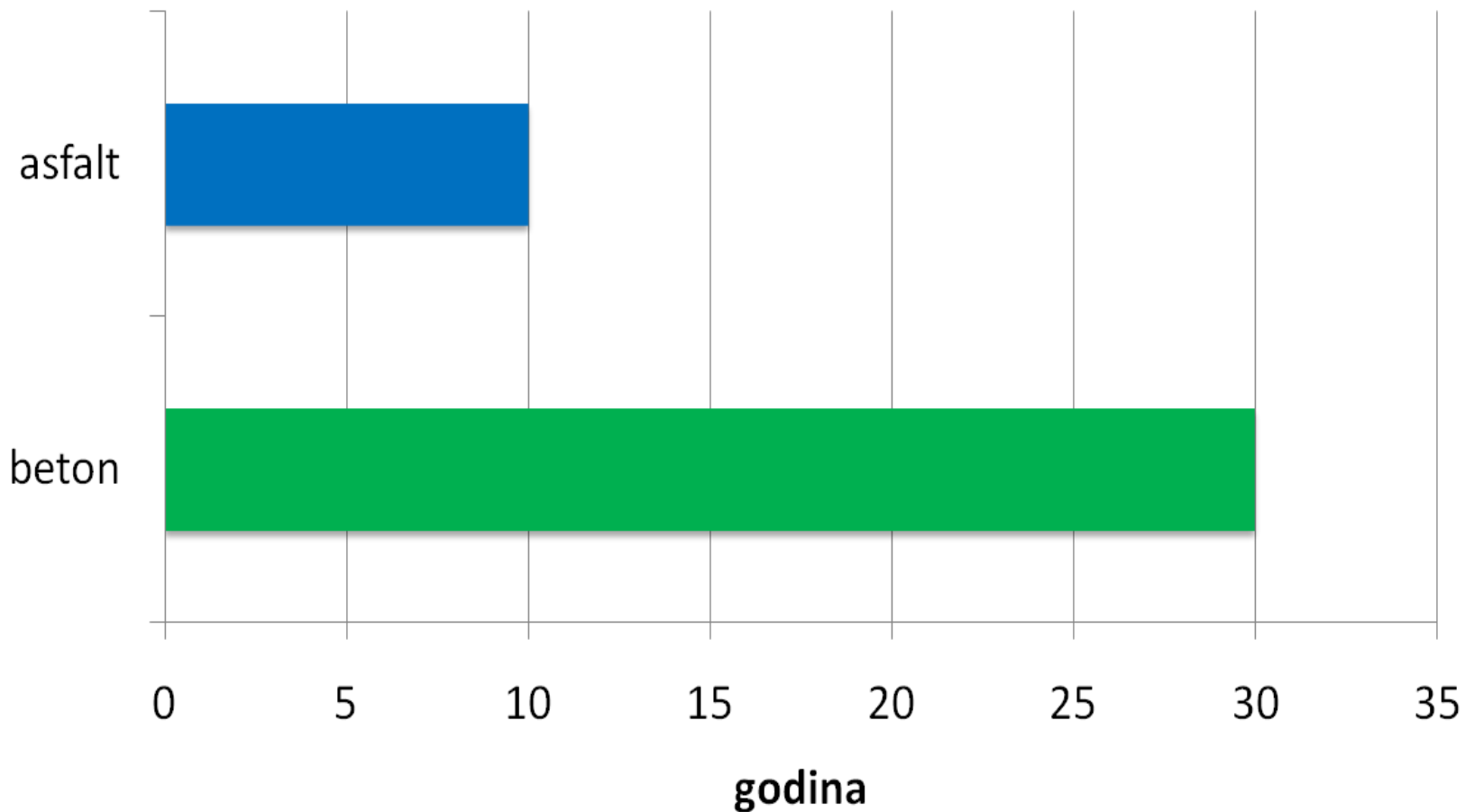
- Betonski kolnici izvode se kao:
 - klasični betonski kolnici bez armature
 - armiranobetonski kolnici
 - besprekidno armiranobetonski kolnici
 - prednapregnuti betonski kolnici
- Betonski kolnik se sastoji od:
 - betonske ploče
 - podloga od stabiliziranog i nevezanog mehanički zbijenog zrnatog kamenog materijala

Preporučene minimalne debljine betonske ploče

Kategorija ceste	Minimalna debljina betonske ploče [cm]
Autoceste, ceste 1. razreda	22
Ceste 2. i 3. razreda	20
Ostale ceste	16

Prednosti betonskih kolnika u odnosu na asfaltne:

- dugotrajniji
- jeftinija izvedba i održavanje
- manji tzv. efekt urbanih toplinskih otoka
- manje ugibanje nego na asfaltnim kolnicima



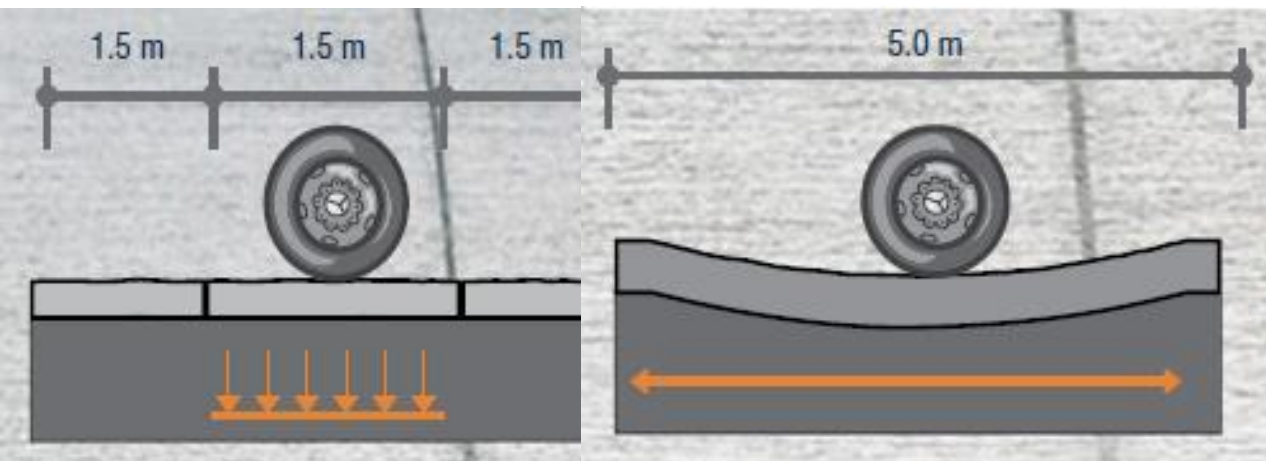
Vrijeme do prve rekonstrukcije

Tanki betonski kolnik

- inovativno rješenje koje smanjuje troškove gradnje
- širina ploče od 1,5 do 3m

Prednosti tankih betonskih kolnika

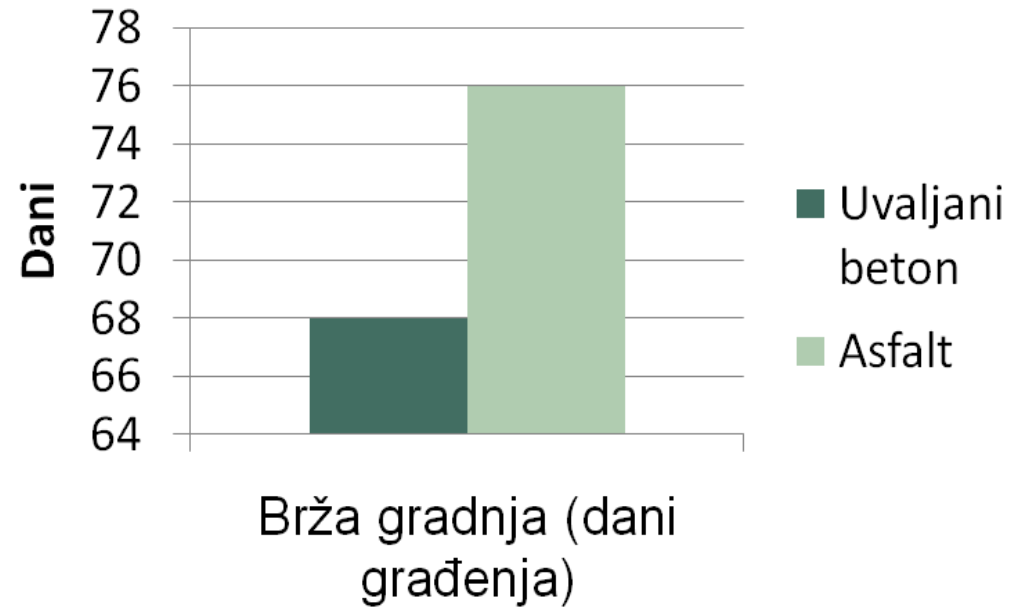
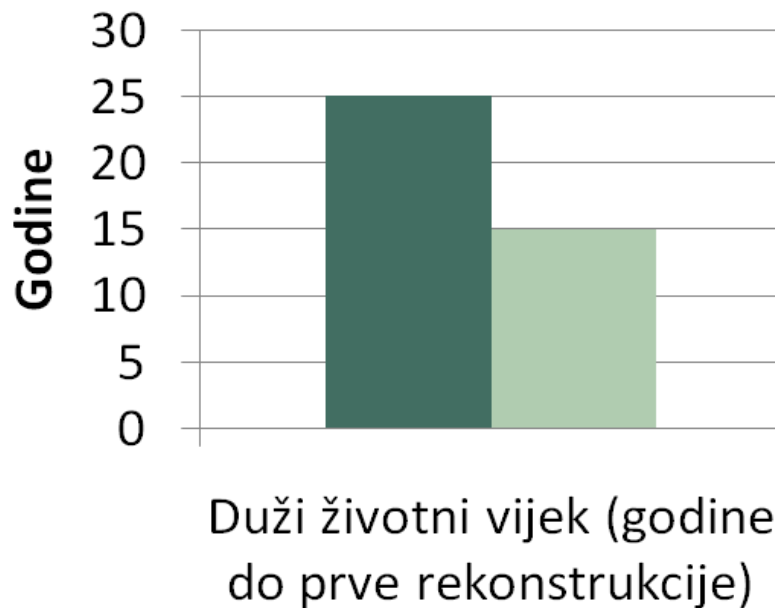
- - niži troškovi održavanja
- - manja cijena izgradnje za 20%
- - potrebno manje građevinskog materijala



Usporedba savijanja kolnika betonske ploče i uobičajno široke betonske ploče

Uvaljani beton

- brza izvedba
- završni sloj nije gladak kao kod običnog betona
- početni troškovi približno jednaki troškovima za asfalt



Izgradnja ceste od 15 cm uvaljanog betona u odnosu na 5 cm asfalta

Porozni beton

- Nakon drugog svjetskog rata u Njemačkoj zbog nestašice materijala za građenje počela upotreba poroznog betona
- Nešto kasnije, porozni beton se primjenjuje za izgradnju parkirališta i manjih cestovnih traka diljem SAD-a
- Porozni beton - sadrži malo ili gotovo ništa sitnih čestica, a sastoji se uglavnom od krupnog agregata i cementne paste te 15 do 35% volumena pora
- Porozni beton se u kolničkim konstrukcijama pojavljuje kao:
 - površinski sloj - površina za parkirališta i manje cestovne trake
 - propusne baze i rubne slivnike – za odvodnju vode
 - bankine

Prednost poroznog betonskog kolnika nad običnim betonskim kolnicima:

- kontroliranje kišnih onečišćenja
- održavanje parkirališta suhima, bez stajaćih voda na površini
- kontroliranje otjecanja oborinske vode
- smanjenje klizanja vozila na cestama i autocestama
- smanjuje odsjaj na cestovnim površinama
- smanjuje buku koja nastaje između gume i pločnika



Usporedba brzine sušenja običnog betonskog kolnika i kolnika od poroznog betona

PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONA KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA

- Agregat za beton mora zadovoljavat uvjete prve klase kakvoće prema EN 12620
- Maksimalno zrno agregata nesmiije biti veće od 1/3 debljine sloja
- Upotrebljava se portland cement klase 32,5 ili 42,5 s hidrauličnim dodacima ili bez njih
- Tlačna i vlačna čvrstoća savijanjem betona trebaju biti uvjetovane projektiranom karakterističnom čvrstoćom 5%-tnog fraktila prema tablici

Najmanja 28-dnevna karakteristična čvrstoća betona

Predviđeno prometno opterećenje	Tlačna čvrstoća [N/mm ²]	Vlačna čvrstoća savijanjem [N/mm ²]
Vrlo teško	35/45	5,0
Teško	30/37	4,5
Ostalo	25/30	4,0

Projektiranje sastava poroznog betona

- Najveće preporučene veličine čestica su oko 9,5-19 mm
- Dodavanje sitnog agregata može povećati tlačnu čvrstoću i gustoću, ali zato smanjuju brzinu protoka vode kroz masu poroznog betona
- Dodaci koji se koriste u poroznom betonu:
 - dodaci za smanjenje vode – ovisno o vodocementnom faktoru
 - dodaci za usporavanje vezanja – za kontrolu hidratacije
 - za ubrzavanje vezanja - ugradnja po hladnom vremenu
 - primjese aeranta – u okruženjima osjetljivim na smrzavanje
 - usporivači isparavanja – kako nebi došlo do pukotina
 - umjetna vlakna – za poboljšanje trajnosti

Tipični omjer materijala u poroznom betonu

Cement	270-415 [kg/m³]
Agregat	1190-1480 [kg/m³]
v/c	0,27-0,3
a/c	4-4,5:1
Sitne čestice/agregat	0-1:1

BETONI U TUNELIMA

Prskani beton

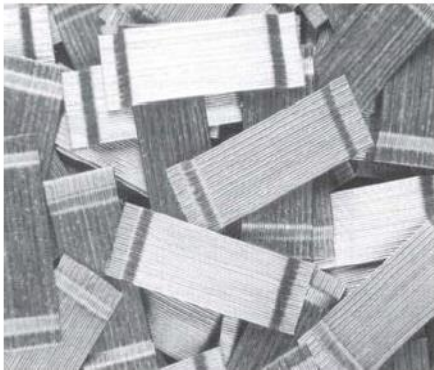
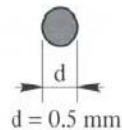
- Razlika u odnosu na klasični beton samo po tehnologiji ugradnje
- Ugrađuje se bez oplata u slojevima do 50 mm debljine
- Metode ugradnje
 - suhi postupak - vlažnost agregata između 3 i 6%
 - voda se dodaje u mlaznici
 - mokri postupak

Usporedba suhog i mokrog postupka

Faktor	Suhi postupak	Mokri postupak
Oprema	Jednostavno održavanje	60% manja potrošnja zraka
Mješavina	Spravlja se na licu mjesta ili u betonari	Mješanje u betonari
Kapacitet	Do 5 m ³ na sat	Do 10 m ³ na sat
Odskok	15 – 40% od vertikalnog zida	Odskok manji od 10%
Kvaliteta	Visoka čvrstoća zbog malog vodocementnog faktora	Teško postiže visoke čvrstoće zbog visokog vodocementnog faktora
Brzina prskanja	Visoka brzina prskanja	Aдекватna za podzemne radove
Aditivi	Prašnasti	U tekućem stanju
Prašina	Puno prašine	Vrlo malo prašine

Mikroarmirani prskani beton

- 70-ih god. 20 st. Rade se prvi pokusi s armiranjem betona čeličnim vlaknima
- Mikroarmirani beton - koristi se kao zamjena za varene mreže i žičana pletiva
- Za ugradnju se primjenjuje i suhi i mokri postupak



Čelična mikrovlakna i beton
pripremljen za ugradnju

PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONA ZA TUNELE

Prskani beton

Cement

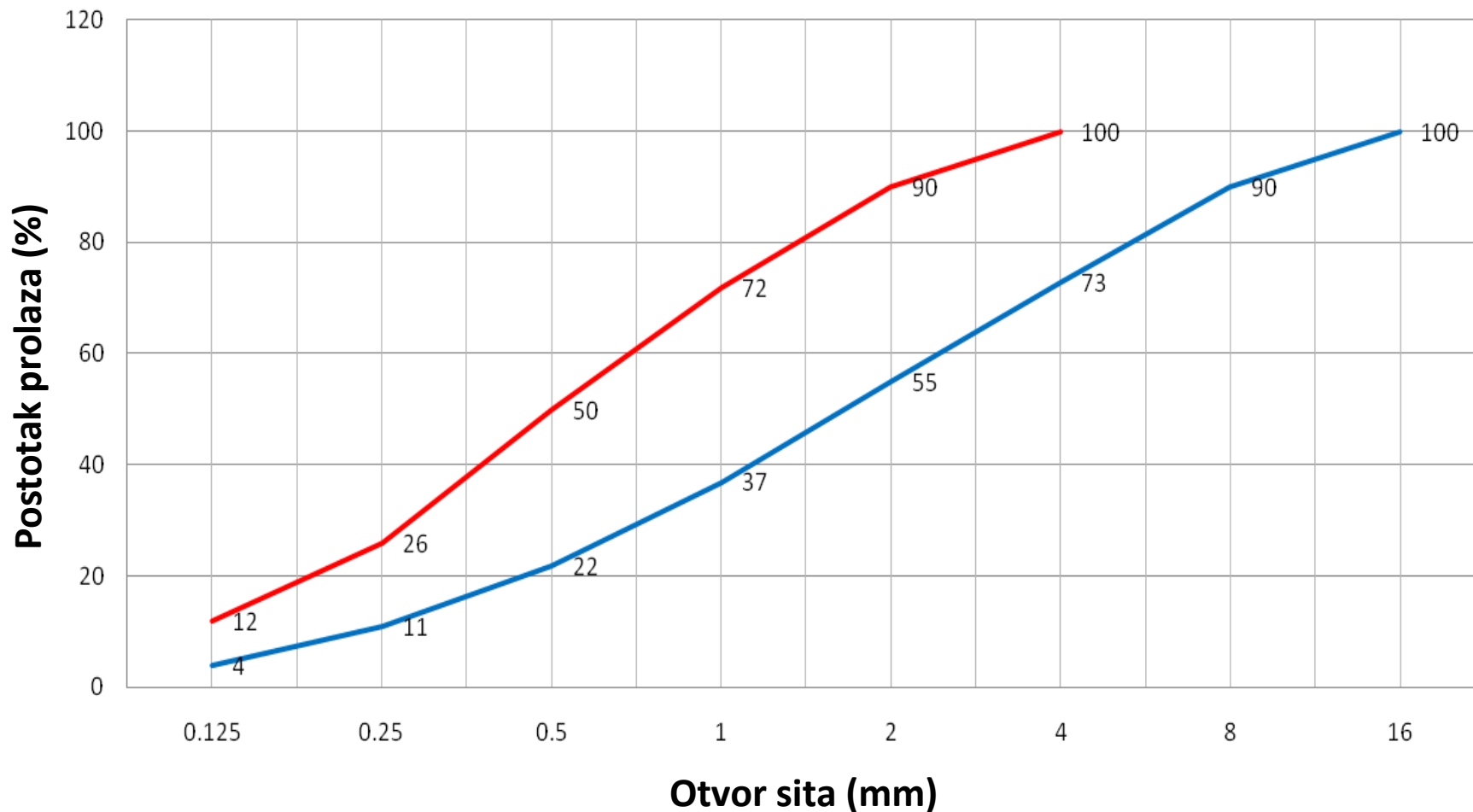
- Poželjno je koristiti cement klase čvrstoće 42,5
- Poželjno je da cement sadrži 7 – 11% mase C_3A

Agregat

- Pogodni granulometrijski sastav uglavnom odabire izvoditelj radova
- Za suhu ugradnju, prirodna vlažnost agregata nebi smjela prelaziti 6%

Voda

- Voda za izradu mješavine mora zadovoljavati uvjete propisane u EN 1008
- Može se koristiti destilirana voda



Preporučena zona granulometrijskog sastava agregata

Omjeri mješavine za prskani beton

Materijal	Količina za 1m ³
Cement	500kg ± 5kg
Voda	225kg ± 5kg
Agregat	Preostala količina do 1m ³

Mikroarmirani beton

Preporučena receptura za mokri postupak

Granulometrija	0 – 8 mm
Količina cementa	425 – 450 kg/m³
Čelična vlakna	40 – 50 kg/m³

Napomene:

- gubitak vlakana u prskanom betonu kod mokrog postupka je 10 – 20%
- kod suhog prskanja, gubitak vlakana iznosi do 50%

Razredi tlačne čvrstoće za obične betone

Razredi tlačne čvrstoće	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka (N/mm ²)	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke (N/mm ²)
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
C55/67	55	67

Razredi tlačne čvrstoće za mlazne betone

Razredi tlačne čvrstoće	Najmanja karakteristična čvrstoća valjka (N/mm ²)	Najmanja karakteristična čvrstoća kocke (N/mm ²)
C 24/30	24	30
C 28/30	28	30
C 32/40	32	40
C 36/45	36	45
C 40/50	40	50
C 44/55	44	55
C 48/60	48	60

Dubina prodiranja vode pod tlakom

- Ispitivanje se provodi na seriji od tri uzorka iz iste mješavine betona
- Ispitni se uzorak nakon 28 dana očvršćavanja stavlja u uređaj i izlaže tlaku od 500 kP kroz 72 sata
- Nakon toga se ispitno tijelo vadi iz uređaja, izbriše suvišna voda i uzorak rascijepa na dva dijela
- Mjeri se najveća dubina do koje je prodrla voda u mm

Razredi vodonepropusnosti betona

Razred vodonepropusnosti	Dopušteni prodor vode (u mm)
VDP 1	50
VDP 2	30
VDP 3	15

Otpornost na djelovanje smrzavanja i soli za odmrzavanje

- ispitivanje se vrši na četiri uzorka betona debljine 50 mm
- sva četiri uzorka moraju biti uzeta iz iste mješavine betona
- na uzorak se stavlja 3%-tna otopina NaCl, te se oni podvrgavaju ciklusima smrzavanja i odmrzavanja
- jedan ciklus traje 24 sata
- srednja vrijednost oljuštenog betona ne smije biti veća od 1 kg/m^2
- pojedinačna vrijednost ne smije biti veća od 1.5 kg/m^2



Primjer betona koji ne zadovoljava uvjete otpornosti na djelovanje smrzavanja i soli za odmrzavanje

Ispitivanje otpornosti na habanje

- Ispitivanje se provodi na uzorcima dimenzija 71 mm
- Jedna serija se sastoji od minimalno tri uzorka
- Uzorak se brusi brusnim prahom na rotacijskoj brusnoj ploči
- Nakon 16 okretaja brusne ploče utvrđuje se obrušeni volumen ispitane betonske površine



Ispitni uzorak



Uređaj za ispitivanje habanja

Ispitivanje propusnosti poroznog betona

- utorci za ispitivanje su oblika kocke visine 8 cm
- čuvaju se u vlažnoj komori
- uzorak star sedam dana podvrgava se ispitivanju
- mjeri se vrijeme protjecanja određene količine vode



Priprema uzorka za testiranje



Ispitivanje protočnosti