

ISPITIVANJA TRAJNOSTI

VODONEPROPUSNOST (HRN EN 12390-8)

- Ispitivanje propusnosti betonskog uzorka izloženog konstantnom tlaku vode od 5 bara u trajanju od 72 sata
- Nakon ispitivanja uzorak se lomi cijepanjem i mjeri se koliko je voda prodrla u uzorak



VODONEPROPUSNOST (HRN EN 12390-8)

- Ispitivanje se provodi na seriji od tri uzorka iz iste mješavine betona
- Razredi vodonepropusnosti betona (prema HRN 1128: 2007 Beton-Smjernice za primjenu norme HRN EN 206-1)

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

OTPORNOST NA DJELOVANJE SMRZAVANJA SA ILI BEZ SOLI ZA ODMRZAVANJE

Klasifikacija djelovanja iz okoliša prema HRN EN 206-1

5 Korozija uzrokovana smrzavanjem i odmrzavanjem sa ili bez sredstva za odmrzavanje

Kada je beton izložen značajnom djelovanju smrzavanja i odmrzavanja u vlažnom stanju, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:

XF1	Umjereno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjereno zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morska voda	Područja prskanja vode s prometnih površina, sa sredstvom za odleđivanje (ali drugačije od onog za XF4); područje prskanja morskom vodom
XF3	Jako zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Otvoreni spremnici za vodu, elementi u području kvaženja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom	Prometne površine tretirane sredstvima za odmrzavanje; pretežno vodoravni elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja ^{*)} ; elementi u području morske plime; mjesta na kojima može doći do struganja u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije

OTPORNOST NA DJELOVANJE SMRZAVANJA SA ILI BEZ SOLI ZA ODMRZAVANJE

Razred izloženosti	Kriterij	Norma
XF1	28 ciklusa pad $E_d < 25\%$	HRN CEN/TR 15177
XF2	28 ciklusa, srednji $\Delta m < 0,5 \text{ kg/m}^2$ pojedinačni $\Delta m < 1 \text{ kg/m}^2$	HRN CEN/TS 12390-9
XF3	56 ciklusa, pad $E_d < 15\%$	HRN CEN/TR 15177
XF4	56 ciklusa mraza i soli, srednji $\Delta m < 0,5 \text{ kg/m}^2$ pojedinačni $\Delta m < 1 \text{ kg/m}^2$	HRN CEN/TS 12390-9



OTPORNOST NA DJELOVANJE SMRZAVANJA I SOLI ZA ODMRZAVANJE (HRN CEN/TS 12390-9)

- Ispitivanje se provodi na četiri uzorka betona debljine 50 ± 2 mm ispiljena iz kocki brida 150 mm i pripremljenih za ispitivanje. Sva četiri uzorka moraju biti uzeta iz iste mješavine betona.
- Ispitivanje se može provoditi i na valjcima izbušenim iz konstrukcije
- Na uzorke se stavlja 3% 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 , a pojedinačna vrijednost ne smije biti veća od 1.5 kg/m^2 .

PRIMJER BETONA SA SANACIONIM MORTOM KOJI NE ZADOVOLJAVA UVJET OTPORNOSTI NA DJELOVANJE SMRZAVANJA I SOLI ZA ODMRZAVANJE



OŠTEĆENJA U KONSTRUKCIJAMA



BETONSKI KOLNICI

- Različito specificirani razredi djelovanja okoliša na beton prema HRN EN 13877-2 (betonski kolnici) i HRN EN 206-1

Razred	Gubitak mase nakon 28 ciklusa (m_{28})	Gubitak mase nakon 56 ciklusa (m_{56})	Omjer gubitaka m_{56}/m_{28}
FT0	Nema zahtjeva	Nema zahtjeva	Nema zahtjeva
FT1	<1.0 kg/m ² u prosjeku, pojedini rezultat <1.5 kg/m ²	Nema zahtjeva	Nema zahtjeva
FT2	0.5 kg/m ² u prosjeku	1.0 kg/m ² u prosjeku, pojedini rezultat <1.5 kg/m ²	2

OTPORNOST NA HABANJE

Klasifikacija djelovanja iz okoliša prema HRN EN 206-1

7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjereno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu vozila s pneumatskim gumama na kotačima
XM2	Znatno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatskim ili tvrdim gumama na kotačima
XM3	Ekstremno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatskim gumama ili čeličnim kotačima; hidrauličke konstrukcije u vrtložnim (uzburkanim) vodama (npr. bazeni za destilaciju); površine izložene prometu gusjeničara



OTPORNOST NA HABANJE (HRN EN 206-1, dodatak M)

- Ispitivanje otpornosti na habanje betona brušenjem po Bohme-u određuje se prema HRN EN 1097-1, HRN EN 1338, HRN EN 1339, HRN EN 1340
- Ispitivanje se provodi na uzorcima dimenzije 71 ± 1.5 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.



OTPORNOST NA HABANJE

Razredi otpornosti na habanje (prema HRN 1128: 2007 Beton-Smjernice za primjenu norme HRN EN 206-1):

Razred otpornosti na habanje	Najveća dopuštena količina obrušenog betona (cm ³ / 50 cm ²)
XM 1	25
XM 2	21
XM 3	18

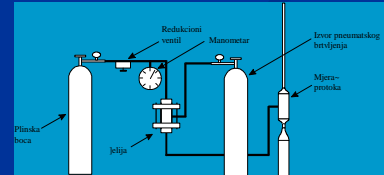
PLINOPROPUSNOST

- Koristi se za:
 - Određivanje propusnosti plina kroz beton
 - Procjenu potencijalne trajnosti



PLINOPROPUSNOST – princip rada

- Mjerenje se sastoji od određivanja količine protoka plina
- Na jednu stranu uzorka zadanog presjeka i debljine nanosi se plin pod tlakom, a na suprotnoj strani se mjeri količina protoka



PLINOPROPUSNOST

- Norma HRN EN 993-4
 - Uzorci su valjci promjera 50, 100 ili 150 mm
 - Uzorci očvrlog betona se prije ispitivanja suše na temperaturi $110 \pm 5^\circ\text{C}$ do konstantne mase
 - Prije ispitivanje se hlade na sobnoj temperaturi



PLINOPROPUSNOST

- Uzorak se postavlja na mjesto za ispitivanje i pušta se kisi da se zabrtvi uzorak
- Nakon toga se pušta dušik pod tlakom kroz uzorak i mjeri se vrijeme prolaza mjehurića plina kroz manometar s tekućinom
- Podiže se tlak plina i ponavlja se mjerenja za 3 različita tlaka plina



PLINOPROPUSNOST

- Specifični koeficijent plinopropusnosti $[\text{m}^2]$ računa se prema izrazu:

$$\mu = \eta \times \frac{h}{A} \times \frac{1}{\Delta p} \times q_v \times k_v$$

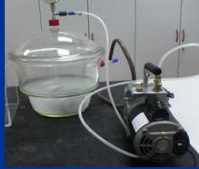
- η – dinamička viskoznost plina pri temperaturi testa (Pas)
- h – visina uzorka (m)
- A – površina uzorka preko koje prolazi plin (m^2)
- Δp – razlika tlakova na površinama uzorka (Pa)
- q_v – količina plina koja je prošla kroz uzorak (m^3/s)
- k_v – korekcijski faktor za uklanjanje hlapljenja vode; koristi se samo kad se strujanje zraka mjeri istiskivanjem vode; njegova vrijednost se mijenja ovisno o temperaturi zraka pa za 16°C iznosi 0,982, a za 24°C iznosi 0,971.

KRITERIJI PLINOPROPUSNOSTI

Koeficijent plinopropusnosti ($\times 10^{-18} \text{ m}^2$)	Otpornost betona
> 1000	Vrlo mala
300 – 1000	Mala
100 – 300	Srednja
30 - 100	Velika
< 30	Vrlo velika

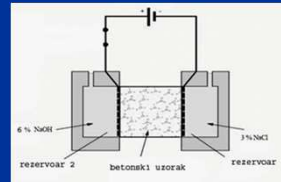
DIFUZIJA KLORIDA

- Norma NT Build 492
 - Uzorci betona su promjera 100 mm i visine 50 mm
 - Ispitivanje se provodi na seriji od 3 uzorka za svaku mješavinu
 - Pripremljeni uzorci se vakumiraju u eksikatoru 3 sata, te se uranjaju u vodu zasićenu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ otopinom u kojoj budu 18 sati



DIFUZIJA KLORIDA

- Uzorak betona, visine $h=5$ cm i promjera $\varnothing 10$ cm, postavlja se u ćeliju koja s obje strane ima rezervoar volumena $V=240$ cm^3
 - Rezervoar 1: 10 % otopina NaCl
 - Rezervoar 2: otopina NaOH



DIFUZIJA KLORIDA

- Nakon početnog ispitivanja u trajanju od 10 minuta ocjenjuje se mjerni napon
- Ispitivanje traje 6 sati
- Nakon toga uzorci se rascijepa te se špricanjem srebrno nitrata promatra dubina prodora klorida



DIFUZIJA KLORIDA

- Koeficijent difuzije klorida u betonu izračunava se prema izrazu:

$$D_{\text{beton}} = \frac{0.0239 \cdot (273 + T) \cdot L}{(U - 2) \cdot t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)L - X_d}{U - 2}} \right)$$

- D_{beton} - koeficijent migracije klorida, $\times 10^{-12}$ m^2/s ,
- U - apsolutna vrijednost napona, V
- T - prosječna temperatura u stupnjecima, $^{\circ}\text{C}$
- L - debljina uzorka, mm
- X_d - prosječna vrijednost dubine prodiranja, mm
- t - vrijeme trajanja testa, h

Kriteriji po Nilssonu za koeficijente difuzije klorida po NT BUILD 492

Koeficijent difuzije klorida ($\times 10^{-12}$ m^2/s)	Otpornost betona
> 15	Vrlo mala
10 - 15	Mala
5 - 10	Srednja
2.5 - 5	Velika
< 2.5	Vrlo velika

ISAT – početno površinsko upijanje

- Norma BS 1881, Part 5
 - Mjeri se početno površinsko upijanje vode u betonski uzorak
 - Ispitivanje se može provoditi na terenu i u laboratoriju



Kriteriji za početno površinsko upijanje

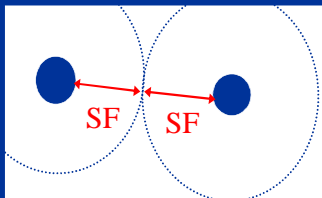
Početno površinsko upijanje (ml/m ² /s)			Kvalitet betona
Nakon 10 min	Nakon 30 min	Nakon 60 min	
0,25	0,17	0,10	Dobar
0,25 – 0,50	0,17 – 0,35	0,10 – 0,20	Srednji
> 0,50	> 0,35	> 0,20	Loš

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE SVJEŽEG BETONA

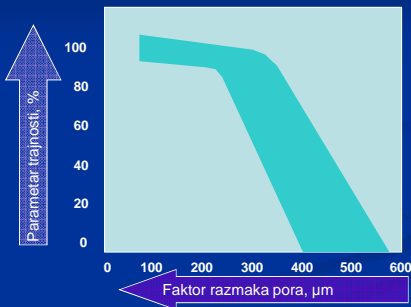


Faktor razmaka = Prosječna maksimalna udaljenost od neke točke u cementnoj pasti do pore uvučene aeriranjem (< 0.20 mm)

Specifična površina = omjer površine pora uvučenih aeriranjem i njihovog volumena (> 25 mm⁻¹)



Trajnost se povećava smanjenjem faktora razmaka pora



Izgled uzoraka koji su prošli 300 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja prema ASTM C 666

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE SVJEŽEG BETONA



- Ispitivanjem sadržaja zraka u svježem betonu ne može se dobiti rezultata o rasporedu pora uvučenih aeriranjem tj. faktor razmaka pora

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE SVJEŽEG BETONA

- Uređaj za određivanje faktora razmaka pora u svježem betonu, prije njegove ugradnje
- Trajanje ispitivanja cca 25 minuta



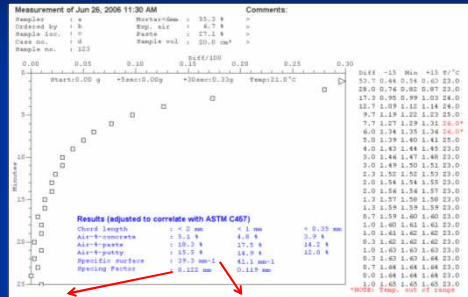
ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE SVJEŽEG BETONA



ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE SVJEŽEG BETONA

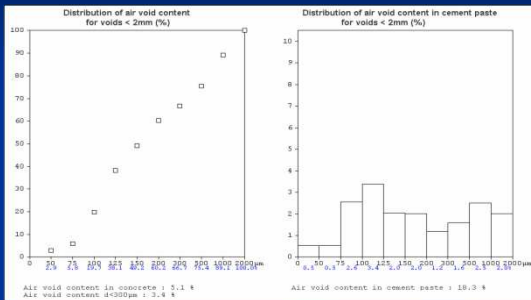


PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA

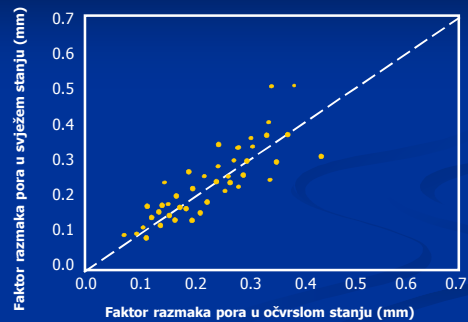


Faktor razmaka 0.122 mm Specifična površina 39.3 mm⁻¹

PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA



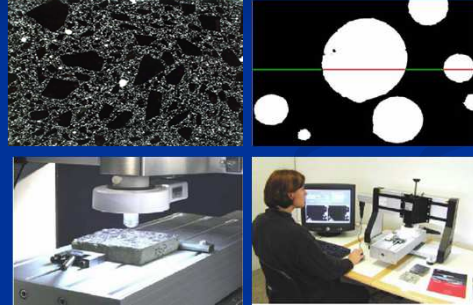
KORELACIJA REZULTATA ODREĐIVANJA FAKTORA RAZMAKA PORA U SVJEŽEM I OČVRSLOM STANJU



ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE SVJEŽEG BETONA tzv. AVA METODA

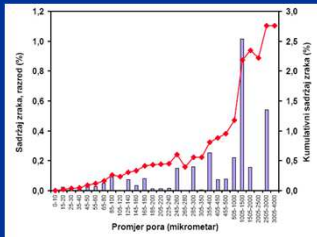


HRN EN 480-11: 2005 ODREĐIVANJE ZNAČAJKI ZRAČNIH PORA U OČVRSLOM BETONU



PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA

Uzorak oznake GMB5/1	
Značajke zračnih pora	Rezultat
Sadržaj zraka (%)	2.73
Specifična površina (mm ²)	18.54
Faktor razmaka (mm)	0.357



PRIPREMA UZORAKA



NERAZORNO MJERENJE APSORPCIJE I PROPUSNOSTI BETONA (tzv. Autoclam)

Koristi se za određivanje:

- apsorpcije vode (ISAT)
- vodopropusnosti
- zrakopropusnosti



ISPITIVANJE ZRAKOPROPUSNOSTI (tzv. Torrent)

