

Predmet: Nerazorna ispitivanja

6. Predavanje

Svojstva propusnosti betona



1

Uvod

- Danas je osnovni, gotovo egzistencijalni problem građenja betonom problem trajnosti betonskih konstrukcija
- Beton se nalazi u uvjetima gdje se javljaju vrlo visoke ali i niske temperature



2

Uvod

- Određenim promjenama temperature može doći do smrzavanja i odmrzavanja betona
- Ciklusi smrzavanja i odmrzavanja su jedan od čimbenika koji doprinose preranom oštećenju betona
- Kod konstrukcija izloženih ciklusima smrzavanja i odmrzavanja uz prisutnost vode i soli za odmrzavanje dolazi do ljuštenja (eng. spalling) površine betona



3

UVOD

- Trajnost armiranog betona primarno je određena
- sposobnošću agresivnih tvari da prodiru (penetriraju) u beton.



UVOD

- Kako bi se predvidjela trajnost betona, potrebno je poznavati svojstva betona i mehanizme pomoću kojih agresivne tvari prodiru u beton.

5



- Neadekvatno održavanje na našim autocestama (deponiranje zasoljenog snijega)

UVOD

- Mnogi degradirajući mehanizmi u betonu uključuju prodiranje agresivnih materijala kao što su:
 - sulfati,
 - ugljični dioksid i
 - ioni klora,
- a u većini slučajeva potrebna je i voda da bi podržala mehanizme degradacije.

7

UVOD

- Trajnost betonskih konstrukcija, može se dakle poboljšati proizvodnjom betona koji je otporan na prodiranje agresivnih tvari iz okoliša.

Mehta:

- **“Nepropusnost betona trebala bi biti najvažniji način obrane protiv fizikalno kemijskih procesa degradacije betonskih konstrukcija”.**



UVOD

- Ako se ovaj koncept namjerava koristiti za osiguranja trajnosti betonskih konstrukcija, potrebno je procijeniti potencijal trajnosti betona **in situ**,
 - i to mjerenjem transportnih svojstava betona blizu površine,
-
- zbog toga što je **površinska zona (zaštitni sloj)** u većoj mjeri odgovorna za životni vijek konstrukcije

9

UVOD

- Sposobnost betona da se odupre okolišu ovisi o:
 - materijalima koji su bili upotrijebljeni za izradu betona,
-
- njihovu međusobnom odnosu u mješavini,
 - stupnju zbijenosti te uvjetima njege.

10

UVOD

- Kvaliteta površinskog područja sve se više smatra glavnim faktorom koji utječe na stupanj degradacije betonske konstrukcije.
-

11

UVOD

- Da bi se postigla potencijalna trajnost betona,
-
- potrebno je usmjeriti se na metode koje omogućuju da površinsko područje spriječi prolaz vanjskih uzročnika koji mogu dovesti do izravnoga oštećenja betona ili do korozije armature.

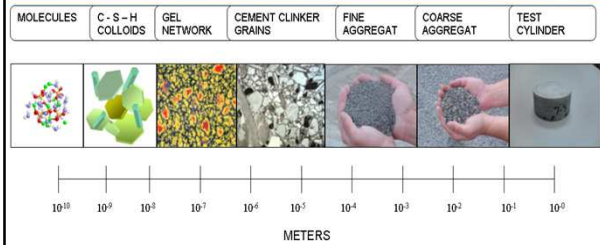
12

Struktura betona

- o Beton - heterogena struktura - tri razine promatranja **makro, mezo i mikro razina**
 - o Makro razina - homogen materijal s makroskopskim svojstvima
 - o - kompozit agregata i zračnih pora u cementnoj pasti
-
- o Mezo razina - sferične šupljine unesene dodavanjem aeranta promjera 50 do 100 μm
 - o Na mikro razini vidljivo je da struktura kalcij-silikat-hidrata nije homogena, u nekim područjima je gusta, a u drugim visoko porozna

13

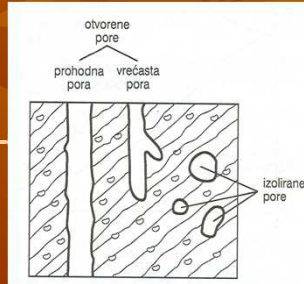
Struktura betona



14

Pore u betonu

- o U betonu razlikujemo:
 - o zatvorene ili izolirane pore



- o otvorene pore
 - o prohodne pore
 - o vrečaste pore

15

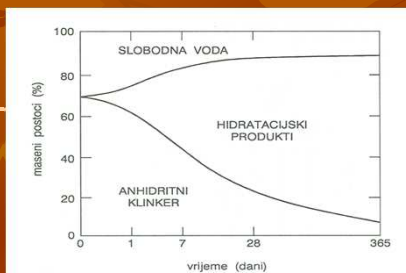
Pore u betonu

Veličina pora	Orijentacijski ϕ pora
Gel pore (mikropukotine)	2 nm
Kapilarne pore	50 nm
Pore uvučenog zraka	0,05 mm
Mikropukotine	0,2 mm
Pukotine	0,5 mm
Šupljine	1,0 mm

16

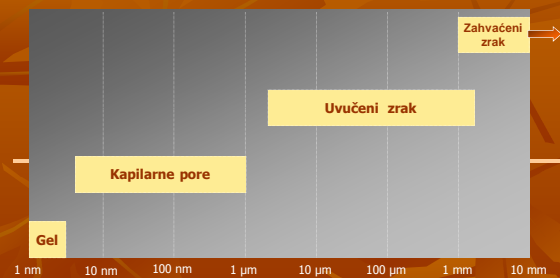
Pore u betonu

U trenutku miješanja cementa i vode dolazi do formiranja sustava pora



17

Zračne pore u betonu



18

Mehanizmi smrzavanja - Hidraulički pritisak

- o Razaranje betona djelovanjem smrzavanja → povećanje volumena 9%
- o Voda koja se smrzava u porama (dosegnuto kritično zasićenje 90%) istiskuje iz pora dio nesmrznute vode u nesmrznuti okolni dio
- o Ako ima dovoljno blizu razmještenih pora da se može proširiti voda (< 0,2 mm), neće biti stvoren pritisak koji bi ga razorio

19

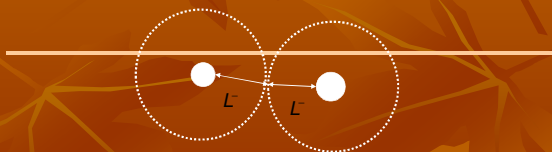
Difuzija vode u gelu-osmoza

- o Ako dođe do smrzavanja vode u većim porama - stvoreni led ima manju slobodnu energiju nego nesmrznuta voda u susjednim manjim porama → razlika potencijala - nesmrznuta voda difundira k formiranom ledu → stvaranje tlaka
- o Primjena soli za odmrzavanje povećava konc. otopine u površinskim porama - razlika koncentracija

20

Karakteristike zračnih pora

- o Ukupni sadržaj zračnih pora, A
- o Specifična površina zračnih pora, α
- o Faktor razmaka zračnih pora, L



Slika Faktor razmaka zračnih pora

21

METODE ISPITIVANJA KARAKTERISTIKA ZRAČNIH PORA

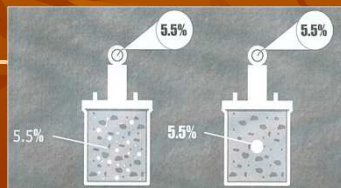
- o U svježem stanju betona:
 - o Ispitivanja sadržaja pora pomoću porometra
 - o Ispitivanje sadržaja zračnih pora pomoću analizatora zračnih pora
- o U očvrslom stanju betona:
 - o Ispitivanje karakteristika zračnih pora pomoću linijske mikroskopske analize

22

Određivanje sadržaja pora metodom porometra (HRN EN:12350 -7:2000)

Određivanje sadržaja zračnih pora zasniva se na **Boyle – Mariotteovom zakonu**:

pri konstantnoj temperaturi umnožak tlaka i volumena nekog plina je konstantan



23

Ispitivanja na očvrslom betonu

- Volumenska masa



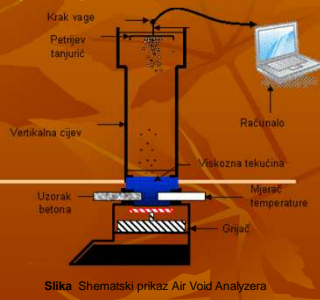
24

Ispitivanje zračnih pora pomoću analizatora zračnih pora (AVA)

- Služi za određivanje sadržaja i distribucije zračnih pora betona u svježem stanju.

- Princip rada se temelji na Stokesovom zakonu:

brzina prolaza zračnih mjehurića ovisi o njihovoj veličini.



Slika Shematski prikaz Air Void Analyzera

25

Ispitivanje otpornosti betona na djelovanje MS na svježem betonu

- “AVA-metoda”



Uzorak morta iz betona uzima se pomoću vibrirajuće žičane košarice u količini 20 cm³

26

Analizator zračnih pora - AVA



27

Analizator zračnih pora - AVA

- AVA određuje količinu i distribuciju zračnih pora < 3 mm
- Nužno je da temperatura tekućine tokom mjerenja ostane u rasponu na koji je sistem baždaren (21-25°C)
- Uređaj je primjenjiv samo na svježem betonu s minimalnim slijeganjem od 1 cm i količinom uvučenog zraka između 3,5 i 10% volumena betona

28

Linijaska mikroskopska analiza – RapidAir HRN EN 480 – 11:2004

- Određuje sadržaj zraka, specifičnu površinu i faktor razmaka i betona u očvršnulom stanju.



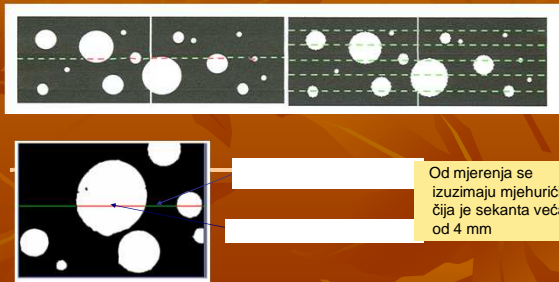
29

Linijaska mikroskopska analiza – RapidAir



30

Linijna mikroskopska analiza – Rapid Air



31

Linijna mikroskopska analiza – RapidAir

- o Kao rezultate mjerenja dobivamo:
 - o Ukupan broj presječenih zračnih pora,
 - o Ukupnu duljinu presjeka preko pora,
 - o Ukupnu duljinu preko cementne paste i agregata,
 - o Ukupnu duljinu koju je kamera snimila po cijelom uzorku
- o formulama koje su propisane spomenutim normama izračunavamo:
 - o Mikroskopski sadržaj pora,
 - o Specifičnu površinu zračnih pora,
 - o Faktor razmaka zračnih pora,
 - o Omjer zraka i cementne paste.

32

EKSPERIMENTALNI DIO



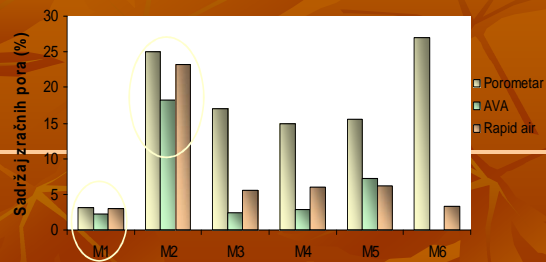
33

PROVEDENA ISPITIVANJA



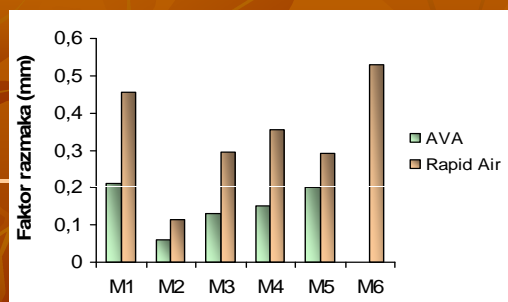
34

Rezultati ispitivanja ukupnog sadržaja zračnih pora



35

Rezultati ispitivanja faktora razmaka zračnih pora



36

ZAKLJUČAK

- o Dobiveni rezultati ispitivanja karakteristika zračnih pora pomoću tri opisane metode pokazuju znatna odstupanja
-
- o Korelacija nemoguća zbog malog broja rezultata
 - o Potrebna su daljnja istraživanja

37

MEHANIZMI ULASKA

- o Postoje tri glavna mehanizma uz pomoć kojih vanjska djelovanja mogu prodrijeti u beton:
 - o Adsorpcija

-
- o **apsorpcija,**
 - o **propusnost**
 - o difuzija.

U ovom predavanju će se opisati samo mehanizme djelovanja apsorpcije i propusnosti.

38

ADSORPCIJA

- o Proces koji se dešava kada se plinska ili tekuća otopina akumulira na površini nekog čvrstog materijala ili, rjeđe, tekućine (adsorbenta), formirajući molekularni ili atomski film (adsorbat).
-
- o To može biti zbog sila adhezije
 - o (van der Waals-ove sile) ili kao rezultat kemijskih veza

39

APSORPCIJA

- o Apсорpcija je pojava da tvar iz jedne faze prolazi graničnu površinu i u drugoj se fazi više ili manje jednolično raspoređuje u koncentraciji većoj nego što je u unutrašnjosti prve faze.

40

APSORPCIJA

- o U betonu apсорpcija se odnosi na ulazak tekućina zbog
 - o **kapilarnih sila.**
 - o Djelovanja kao što su ioni klora i sulfati prenose se tekućinom
-
- o Termin apсорpcija rabi se za opisivanje tendencije materijala za apсорbiranjem tekućina.

41

APSORPCIJA

- o Pri jednodimenzijskoj apсорpciji vode u početno suhu masu, opseg apсорbirane tekućine može se povezati s vremenom uz pomoć sljedeće empirijske jednadžbe

$$A = w \cdot \sqrt{t}$$

-
- o A - količina upijene tekućine (kg/m^2)
 - o w - koeficijent vodoupojnosti ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1/2}$)
 - o t - vrijeme (s)

42

PROPUSNOST

- o Propusnost je:
 - o proces pri kojem se tvari transportiraju iz jednog dijela materijala u drugi zbog
 - o **hidrauličkog gradijenta**.

- o Ako je tvar koja se transportira **voda**, govori se o **vodopropusnosti**,
- o a ako je to **plin** radi se o **plinopropusnosti**.

43

PROPUSNOST

- Za fazu mirovanja, jednosmjerni protok tvari kroz zasićeni porozni materijal,
- stupanj protoka opisan je **Darcyjevim zakonom**:

$$Q = k \cdot A \cdot I$$

- Q - *stupanj protoka* (m^3/s)
- k - *koeficijent propusnosti* (m/s)
- A - *poprečni presjek područja protoka* (m^2)
- I - *hidraulički gradijent* (m/m)

44

PROPUSNOST

- Koeficijent propusnosti ovisi o strukturi materijala i svojstvima tekućine.
- Kod betona koeficijent propusnosti ponajprije ovisi o mješavini betona, vodocementnom omjeru i zrelosti.

- Ako je u pitanju plin, može se primijeniti analogna jednadžba za proračun jednosmjernog protoka u okviru razlike tlaka.

45

DIFUZIJA

- Proces kod kojeg tekućine, plinovi ili ioni migriraju kroz beton pod utjecajem
- **gradijenta koncentracije**.

- Obično se definira koeficijentom difuzije ili vrijednošću difuzije (difuzivnosti)

46

METODE ISPITIVANJA PRODIRANJA

- Za određivanje potencijalne trajnosti površine betona razvijene su razne ispitne metode.
- Većina tehnika nastoji modelirati jedan od prije navedenih transportnih mehanizama.

47

METODE ISPITIVANJA PRODIRANJA

- Izraz **ispitivanje prodiranja** obuhvaća sve metode ispitivanja i upotrebljavati će se kao opći termin za opisivanje te skupine ispitnih metoda.

48

METODE ISPITIVANJA PRODİRANJA

- Ispitivanje prodiranja može se grupirati u tri sljedeće kategorije:
 1. kategoriju temeljenu na apsorpciji vode
 2. kategoriju temeljenu na propusnosti vode
 3. kategoriju temeljenu na propusnosti zraka

49

ISPITIVANJE APSORPCIJE

- Pri ispitivanju apsorpcije mjeri se stupanj na kojem beton upija vodu pod
 - niskom tlačnom visinom.
- Stupanj apsorpcije je funkcija
 - kapilarne poroznosti,
 - koja ovisi o vodocementnom omjeru i
 - tijeku sušenja.

50

ISPITIVANJE APSORPCIJE

- Ispitivanja apsorpcije uključuju usisavanje tekućine zbog kapilarnog upijanja u porama.
- U savršenim uvjetima kapilarna elevacija prati linearni odnos s korijenom vremena
- **Konstanta** se naziva **SORPCIJA**

51

ISPITIVANJE APSORPCIJE

- U idealnom slučaju, **SORPCIJA** bi bilo svojstvo koje se mjeri kod ispitivanja apsorpcije
- U praksi postoje ograničenja koja ometaju mjerenje sorpcije kao što su:
 - Poteškoće u postizanju jednosmjerne penetracije vode
 - I problemi u određivanju dubine prodiranja vode bez razaranja uzorka.

52

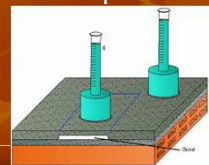
ISPITIVANJE APSORPCIJE

- Zbog navedenih poteškoća, apsorpcijske karakteristike betona se obično mjere indirektno jednim od sljedećih načina ispitivanja:
 1. Ispitivanje apsorpcije pomoću **cijevi** – (Standpipe Test)
 2. Ispitivanje početne-površinske apsorpcije - (Initial Surface Absorption Test (**ISAT**))
 3. Ispitivanje sorpcije **Autoclamom** - (Autoclam Sorptivity Test)
 4. Ispitivanje apsorpcije prema **Figu** - (Figg Water-Absorption Test)

53

Ispitivanje apsorpcije pomoću cijevi (Standpipe Test)

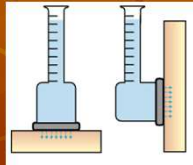
- Jedna od najjednostavnijih tehnika za mjerenje apsorpcije vode betonskih konstrukcija
- Sastoji se od vertikalne cijevi pogodnog promjera zalijepljene na horizontalnu površinu betona koju se ispituje.



Ispitivanje apsorpcije pomoću cijevi (Standpipe Test)

- Postoje različite verzije ovog ispitivanja koje se mogu pronaći u literaturi:

1. Metoda dimnjaka (chimney method)
2. Karsten-ova cijevna metoda (Karsten's pipe test)
3. Australaska metoda (Australian test)



55

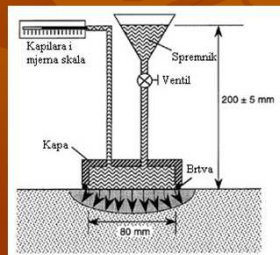
Ispitivanje apsorpcije pomoću cijevi (Standpipe Tests)

- Cijev se do određenog nivoa ispuni vodom i pusti se da beton apsorbira vodu.
- Količina apsorbirane vode u jedinici vremena se izražava **indeksom vodoupojnosti**

56

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

- ISAT – *Initial Surface Absorption Test*



57

ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

- Početna površinska apsorpcija se definira kao:
 - brzina toka vode u jediničnu površinu betona u definiranim intervalima vremena za konstantnu temperaturu.

58

ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

- U ovoj je metodi kružna kapa minimalne ploštine od 5000 mm² pričvršćena (zabrtvljena) za površinu betona.
- Spremnik spojen na kapu puni se vodom tako da je njezina razina 200 mm iznad površine betona.

59

ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

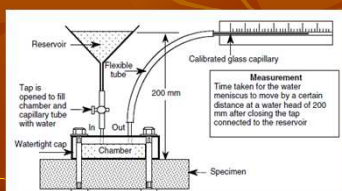
- Kapa je spojena i s horizontalnom kapilarnom cijevi smještenoj na istoj razini kao voda u spremniku.
- U specificiranim intervalima
- (10 min; 30 min; 1 sat i 2 sata)
- od početka ispitivanja ventil ispod spremnika se zatvara,

60

ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

- o Stupanj apsorpcije u beton mjeri se kretanjem vode u kapilarnoj cijevi spojenoj za kapu.
- o Metoda je normirana britanskom normom BS 1881.



ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

- Glavna prednost metode ISAT-a je:
 1. brza i jednostavna za terensko nedestruktivno ispitivanje
 2. Može se koristiti za mjerenje prodiranje vode u površinu betona
 3. Može se koristiti i na mjestima gdje je izložen agregat i oštećenoj površini (pod uvjetom da se postigne savršeno prijanjanje)

62

ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

Glavni nedostaci metode ISAT-a je:

1. Problem postizanja nepropusnog spoja u praksi je vjerojatno najveći nedostatak metode
2. Još jedan nedostatak je taj da je mjereno svojstvo uvelike ovisno o vlažnosti betona.
3. Ali problem vlažnosti betona se javlja kod svih metoda ispitivanja površinskog upijanja i plinopropusnosti

63

ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

- Može se dogoditi da su niske vrijednosti površinskog upijanja posljedica:
 1. svojstva betona da ima malo površinsko upijanje ili
 2. zbog činjenice da su pore u lošem betonu već zasićene vodom.



64

ISAT

Ispitivanje početne-površinske apsorpcije

- Promatrajući navedene prednosti i mane može se navesti **glavna primjena** ISAT-a:
 1. Metoda za kontrolu kvalitete predgotovljenih elemenata koji se mogu ispitivati kad su "suhi"
 2. Može se koristiti i kao in situ metoda za usporedbu betona za procjenu njegove trajnosti.



65

ISPITIVANJE AUTOCLAMOM

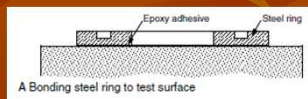
- Autoclam je usavršen 1990-tih godina
- Ispitivanje se kontrolira mikroprocesorom i prikuplja cjelokupni set podataka za kompjutersku analizu.
- Njime se mogu obavljati ispitivanja:
 1. apsorpcije vode,
 2. zrakopropusnosti i
 3. vodopropusnosti



66

ISPITIVANJE SORPCIJE AUTOCLAMOM

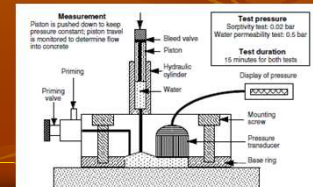
- Potrebno je osigurati nepropusnost spoja autoclama za betonsku površinu koja se ispituje
 1. Hvatalkama
 2. Lijepljenjem



67

ISPITIVANJE SORPCIJE AUTOCLAMOM

- Nakon toga postiže se pritisak vode od
- 0.02 bara
 - Koristi se pritisak od 0.02 bara jer on odgovara visini stupca vode od 200mm
 - koji se koristi kod ispitivanja ISAT-om



ISPITIVANJE SORPCIJE AUTOCLAMOM

- Napredovanjem ispitivanja beton upija vodu i pritisak počinje padati, ali klip u glavi uređaja kretanjem prema dolje regulira tlak i drži ga konstantnim
- Ovaj pomak klipa se prati svake minute u trajanju od 15 minuta
- A poznavanjem površine presjeka klipa, može se odrediti volumen apsorbirane vode

69

ISPITIVANJE SORPCIJE AUTOCLAMOM

- Ako se ukupna količina apsorbirane vode prikaže grafički u odnosu na korijen vremena postiže se linearan odnos
- Indeks sorpcije je tada jednak nagibu spomenutog pravca i ima jedinicu $m^3/\sqrt{\text{min}}$.

70

ISPITIVANJE SORPCIJE AUTOCLAMOM

- Glavne prednosti ovog načina ispitivanja su:
 1. jednostavnost provođenja,
 2. zabilježeni rezultati imaju veliku točnost,
 3. oprema je prijenosna (moguća ispitivanja na terenu i u laboratoriju)



71

ISPITIVANJE SORPCIJE AUTOCLAMOM

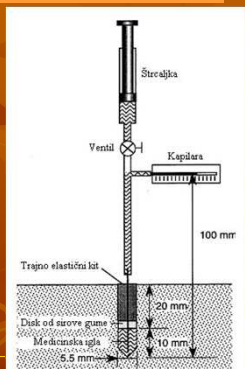
- Najveća mana su:
 1. Praktični problemi kod postizanja nepropusnosti spoja na betonsku površinu



72

Ispitivanje apsorpcije prema Figgu

- Od **Figgo**va početnoga rada napravljene su brojne modifikacije na opremi i procedurama za poboljšanje točnosti i ponovljivosti rezultata ali princip je ostao isti.
- Komercijalni naziv uređaja je **“Poroscope”**



Ispitivanje apsorpcije prema Figgu

- Figgova originalna procedura ispitivanja zahtijeva da se:
 1. u betonu izbuši rupa promjera 5,5 mm i dubine 30 mm, rupa se mora dobro očistiti
 2. disk od sirove gume se stavlja u rupu na dubinu od 20 mm od površine,
 3. rupa se zatvara trajno elastičnim kitom.
 4. Iгла se zabija kroz trajno elastični kit i spaja sa štrcaljkom i kapilarnom cijevi preko niza konektora

74

Ispitivanje apsorpcije prema Figgu

1. Voda se unosi do visine 100 mm,
2. Mjeri se vrijeme putovanja meniska duž 50 mm horizontalne kapilarne cijevi (slično kao u ISAT-u).
3. Dobivena vrijednost nazvana je indeksom apsorpcije i mjerena je u sekundama.
 - Veći indeks apsorpcije odgovara boljoj kvaliteti betona.

75

Ispitivanje apsorpcije prema Figgu

- Glavna **prednost** ispitivanja apsorpcije prema Figgu su:
 1. Jednostavnost provođenja ispitivanja
 2. Niska cijena opreme



76

Ispitivanje apsorpcije prema Figgu

- **Mane** su:
 1. moguće stvaranje mikropukotina u betonu prilikom bušenja rupe
 2. što može poništiti smisao ispitivanja jer se mijenja mehanizam apsorpcije.
 3. činjenica da se ispituje beton otprilike na dubini od 20 mm,
 4. a onda se on više ne može koristiti za određivanje svojstava površinske obrade

77

Ispitivanje apsorpcije prema Figgu

- Postoji i literatura koja posljednju manu spominje kao **prednost** jer
 1. Na rezultate ne utječu lokalizirani površinski defekti kao što je karbonatizacija površinskog sloja betona

78

Prednosti ispitivanja apsorpcije

1. Najopsežnija su ispitivanja provedena u Velikoj Britaniji, pa su se dobili brojni podaci i stečeno je iskustvo u radu s opremom.
2. Ispitivanje površinske apsorpcije (ISAT) daje uvid u stanje površine betona i modele apsorpcije vode, što je najčešći mehanizam unosa agresivnih materijala u beton.

79

Prednosti ispitivanja apsorpcije

- Ispitivanje je sasvim nerazarajuće, a može se primijeniti i na vertikalnim i horizontalnim površinama

80

Ograničenja ispitivanja apsorpcije

- Ograničenja metode su sljedeća:
 - kod betona s malom površinskom apsorpcijom put protoka može se smatrati približno jednosmjernim, a ISAT mjerenja se odnose na jednosmjerna mjerenja apsorpcije. Međutim, kako se apsorpcija površinskog sloja povećava, radijalni protok postaje znatan pa nema pouzdanih veza između ispitivanja površinske apsorpcije i mjerenja apsorpcije;

81

Ograničenja ispitivanja apsorpcije

- brtvljenje između kape i površine betona na mjestu ispitivanja može biti teško;
- metodom se ispituje samo površinski sloj betona do dubine od 10 do 15 mm. Kada se ispitivanje provodi u svrhu ocjene stanja armature poželjno bi bilo obuhvatiti cijeli zaštitni sloj;
- rezultati ispitivanja ovisni su o stupnju vlažnosti betona i načinu sušenja i/ili načinu pripreme površine za ispitivanje.

82

Ograničenja ispitivanja apsorpcije

- Figgovo ispitivanje zahtijeva bušenje rupa u betonu, a vanjskih 20 mm betona mora biti očišćeno. Svojstva površinske ljuske stoga se ne mjere. Ispitivanje nije pod utjecajem površinskog premaza.
- ispitivanje apsorpcije betona također zahtijeva bušenje rupe, no mjerenje uključuje učinak okolnog betona koji okružuje rupu, uključivo i površinsko područje.

83

ISPITIVANJE PROPUSNOSTI

84

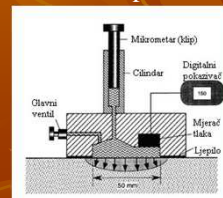
ISPITIVANJA PROPUSNOSTI

- Ispitivanjem propusnosti mjeri se protok tekućine ili plina u beton zbog razlike tlaka
- Mogu se ispitivati
 1. stacionarnim i
 2. nestacionarnim stanjem
- ovisno kakvo je stanje protoka ostvareno unutar pora u betonu

85

Ispitivanje vodopropusnosti Autoclamom

- Ova metoda uključuje mjerenje protoka vode u površinskom sloju betona pod **fiksним tlakom**.
- Specijalno dizajnirana kapa lijepi se za površinu betona, a voda pod tlakom unosi se uz pomoć klipa (mikrometra).
- Tlačno crijevo u komori mjeri tlak vode.



86

Ispitivanje vodopropusnosti Autoclamom

- Da bi se provelo ispitivanje:
 1. komora se puni vodom,
 2. uključuje se mikrometar da bi se održao konstantan tlak vode od približno 1,5 bara iznad atmosferskog tlaka,
 3. kretanje klipa bilježi se u vremenskim intervalima od 20 i 30 minuta.

87

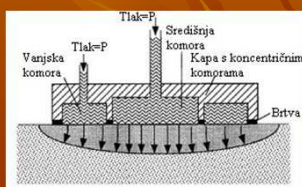
Ispitivanje vodopropusnosti Autoclamom

4. Pomak klipa pomnožen s ploštinom valjka daje obujam vode koja prodire u beton.
5. Obujam vode u jedinici vremena mjera je propusnosti betona.
6. Budući da protok vode u beton nije iz jednog smjera i budući da se ne postiže stabilno stanje, ispitivanje daje indeks propusnosti,
7. a ne koeficijent propusnosti.

88

Steinertova metoda

- Ova ispitna metoda koristi se principom vodećeg prstena za postizanje boljeg približavanja indirektnog protoka pod tlakom



89

Steinertova metoda

- Kapa, koja se sastoji od dviju koncentričnih komora razdvojenih okruglom gumenom brtvom, lijepi se za površinu betona.
- Koncentrične se komore pune vodom i tlače s pomoću zraka dok se ne postigne tlak od 600 kPa.

90

Steinertova metoda

- Protok ispod unutrašnje komore je približno indirektan,
- bilježenje protoka kao funkcije vremena jednostavnije je objasniti nego kod Clamova testa

91

Prednosti i ograničenja ispitivanja vodopropusnosti

- Oba ispitivanja propusnosti vode,
 1. metodom CLAM i
 2. metodom Steinerta,
- daju empirijski indeks propusnosti određenoga betona.

92

Prednosti i ograničenja ispitivanja vodopropusnosti

- Mjerenja apsolutnih svojstava povoljnija su nego empirijski indeks propusnosti jer postoji
- dobro definiran odnos između:
 1. koeficijenta propusnosti i
 2. drugih faktora trajnosti.

93

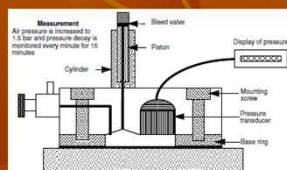
Prednosti i ograničenja ispitivanja vodopropusnosti

- Metode temeljene na propusnosti vode, provedene na licu mjesta, nisu u vezi s tim faktorima trajnosti.
- Drugi su nedostaci ispitivanja propusnosti vode:
 1. dugo vrijeme ispitivanja i
 2. potreba lijepljenja ili spajanja opreme s površinom betona
 3. da bi se efikasno suprotstavilo tlaku nanese vode.

94

Ispitivanje plinopropusnosti Autoclamom

- Postiže se pritisak u komori od **0.5 bara**
- Bilježi se opadanje pritiska svake minute u vremenu od 15 min ili dok pritisak ne padne na nulu



95

Ispitivanje plinopropusnosti Autoclamom

- Grafički odnos prirodnog logaritma pritiska u odnosu na vrijeme je linearan
- Koeficijent nagiba pravca regresije u vremenu između 5 i 15 min je indeks plinopropusnosti
- Ukoliko pritisak padne na nulu prije isteka 15 minuta,
 - podaci od početka ispitivanja se koriste za određivanje indeksa plinopropusnosti

96

Ispitivanje propusnosti Autoclamom

- o Rezultati ispitivanja vodo i plino propusnosti se izražavaju kao:
 - o indeksi propusnosti
- o zbog toga što se navedenim ispitivanjima ne može postići stacionarno stanje
- o u suprotnosti s ispitivanjima kad je ono postignuto i kad se rezultati izražavaju kao:
 - o koeficijenti propusnosti

97

Ispitivanje propusnosti Autoclamom

- Slično kao kod ispitivanja apsorpcije...
- ispitivanje plino i vodopropusnosti autoclamom je
- brzo i jednostavno za provođenje i u laboratoriju i na terenu

98

Figgovo ispitivanje propusnosti zraka

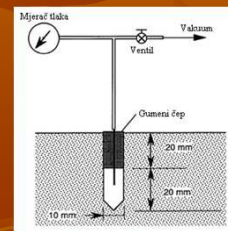
- Originalno Figgovo ispitivanje propusnosti zraka uključuje istu proceduru pripreme rupe kao i pri već opisanom ispitivanju apsorpcije vode.



99

Figgovo ispitivanje propusnosti zraka

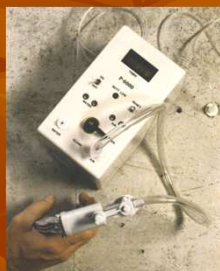
- Crijevo je, međutim, povezano s vakuumskom pumpom umjesto sa štrcaljkom i manometrom koji se upotrebljava za ispitivanje vode.



100

Figgovo ispitivanje propusnosti zraka

- Vakuumska pumpa je aktivirana dok se tlak u rupi ne smanji na vrijednost od **55 kPa** ispod atmosferskog tlaka.



101

Figgovo ispitivanje propusnosti zraka

- Mjeri se vrijeme da bi se dobilo propisano povećanje tlaka u rupi od 5 kPa, a vrijeme u sekundama naziva se **indeksom zrakopropusnosti**.



Gumeni čep



Kompletna oprema

102

Ispitivanje propusnosti zraka

- Veći indeks zračne propusnosti karakterizira manju propusnost betona.
- Prednosti i mane su jednake kao i kod ispitivanja apsorpcije prema Figgu

103

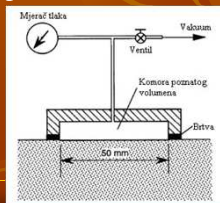
Ispitivanje prema Schönlinu

- Figgovo ispitivanje daje mjeru propusnosti zraka zaštitnog sloja premošćenog s otvorenim dijelom rupe i zahtijeva bušenje rupe u betonu.
- **Da bi se izbjeglo bušenje rupe, i oštećivanje betona**
- Razvijena je metoda prema Schönlinu.

104

Ispitivanje prema Schönlinu

- Glavna razlika između metode prema Figgu i Schönlinu
- je u tome što se ispitivanje prema Schönlinu u potpunosti obavlja na površini betona



105

Ispitivanje prema Schönlinu

- U Schönlinovoj metodi, komora promjera 50 mm i poznatog opsega postavlja se na površinu,
- vakuumska se pumpa koristi da bi tlak u komori bio manji od -99 kPa.

106

Ispitivanje prema Schönlinu

- vrijeme kada tlak vakuuma dođe do -95 kPa, uzima se kao početak ispitivanja.
- Mjeri se vrijeme potrebno da se tlak vakuuma smanji na -70 kPa.
- Kod gustoga se betona umjesto toga mjeri promjena tlaka vakuuma u 120 sekundi.

107

Ispitivanje prema Schönlinu

- Na temelju tih mjerenja i poznatog volumena komore, izračunava se
- indeks propusnosti u m^2/s .
- Radi dobivanja normalnih uvjeta vlage prije ispitivanja, površina se suši toplim zrakom 5 minuta prije ispitivanja.



108

Ispitivanje prema Schönlinu

- Glavna prednost ispitivanja prema Schönlinu je u tome što ne treba pričvršćivati aparaturu na površinu **betona**, a sve zbog toga što se vakuum stvara u samoj komori koja se pričvršćuje.

109

Ispitivanje prema Schönlinu

- Mana mu je veliki utjecaj vlažnosti betona na rezultate ispitivanja
- (kao i kod svih do sad opisanih metoda)

110

Ispitivanje prema Schönlinu

- Kako bi se uklonio utjecaj vlažnosti betona,
- Schönlin i Hilsdorf predlažu
- da se površina betona suši vrućim zrakom
- barem 5 min prije početka ispitivanja

111

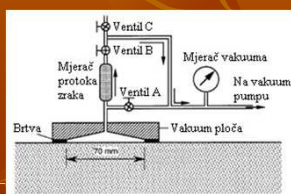
Ispitivanje prema Schönlinu

- Ovo je čini se odlična ideja za postizanje što realnijih rezultata mjerenja
- Za što bolje podatke potrebno je na neki način utvrditi i vlažnost betona

112

Ispitivanje protoka zraka u površinskom sloju - SAF

- Ispitivanje protoka zraka u površinskom sloju (SAF) temeljeno je na metodi koja se koristi u naftnoj industriji za brzo određivanje propusnosti kamene jezgre



113

Ispitivanje protoka zraka u površinskom sloju - SAF

1. Vakuumska ploča s mekim gumenim prstenom (brtvom) postavlja se na površinu betona.
2. Da bi se provelo ispitivanje, ventili A, B i C se zatvaraju i aktivira se vakuumska pumpa.
3. Pumpa je takvog kapaciteta da se vakuumski tlak treba stabilizirati na približno -83 kPa u vremenu od 15 sekundi.

114

Ispitivanje protoka zraka u površinskom sloju - SAF

1. Ventil A se otvara i podtlak se opet mora stabilizirati na -83 kPa.
2. Otvara se ventil B, a ventil A se zatvara, usmjeravajući protok zraka kroz mjerač protoka zraka.
3. Nakon 15 sekundi bilježi se očitavanje mjerača protoka zraka.

115

Ispitivanje protoka zraka u površinskom sloju - SAF

1. Stupanj protoka u ml/m se koristi se kao indikator zračne propusnosti na površini.
2. Eksperimenti su pokazali da je efektivna dubina mjerenja oko 13 mm.

116

Ispitivanje protoka zraka u površinskom sloju - SAF

1. Kao i pri ispitivanju prema Schönlinu,
2. površinu treba osušiti toplim zrakom
3. ako postoji sumnja da u površinskom sloju postoji veliki postotak vlage.

117

Prednosti i ograničenja ispitivanja plinopropusnosti

- Tehnike za ispitivanje propusnosti zraka uglavnom su brze i jednostavne za provedbu.
- U slučaju uređaja za vakuum, nije potreban nikakav stalni priključak.

118

Prednosti i ograničenja ispitivanja plinopropusnosti

1. Za razliku od ispitivanja propusnosti vode,
2. ispitivanja propusnosti zraka ne utječu na svojstva prodiranja kroz beton.
3. Kao rezultat, ispitivanje propusnosti zraka može se ponoviti na istoj lokaciji.
4. Ispitivanja propusnosti zraka su također pod utjecajem postotka vlage u betonu.

119

Prednosti i ograničenja ispitivanja plinopropusnosti

- Ispitivanja površine, kao što je:
 - ispitivanje metodom SAF ili
 - metodom prema Schönlinu,
- prvenstveno su pod utjecajem gornjeg sloja betona od 15 mm
- te ne daju indicaciju svojstava prodiranja kroz cijeli zaštitni sloj betona.

120

Prednosti i ograničenja ispitivanja plinopropusnosti

- Ispitivanja temeljena na Figgovoj metodi
- zahtijevaju bušenje rupe i
- isključuju obližnji površinski sloj u mjerenjima.

121

Prednosti i ograničenja ispitivanja plinopropusnosti

- Općenito, rezultat svake ispitne metode jest
- indeks propusnosti zraka,
- što se može povezati s drugim faktorima koji se odnose na trajnost betona.

122

Prednosti i ograničenja ispitivanja plinopropusnosti

- Međutim, u većini slučajeva indeks dobiven specifičnom metodom
- nije povezan s indeksom koji se dobiva kod primjene drugih metoda koje primjenjuju drukčiju geometriju i ispitni tlak.

123

OPĆA OGRANIČENJA

- Tehnike ispitivanja propusnosti povezane su s mehanizmom koji utječe na trajnost betona.
- Kod primjene određene ispitne metode u praksi potrebno je uzeti u obzir određena ograničenja koja uključuju:
 1. osjetljivost na vlagu i temperaturne razlike,
 2. promjene prijenosnog mehanizma tijekom ispitivanja (npr. apsorpcija u difuziju),
 3. različitosti propusnosti zraka kod primijenjenog tlaka
 4. utjecaj bušenja na ispitne vrijednosti

124

OPĆA OGRANIČENJA

- Najvažnije ograničenje jest utjecaj postotka vlage u betonu u momentu mjerenja.
- Suhi će beton apsorbirati više vode i omogućiti veći protok zraka, nego isti beton u zasićenom stanju.
- Beton loše kvalitete ispitivan u vlažnim uvjetima može pokazati mnogo bolje rezultate izdržljivosti nego što to može beton više kvalitete koji je ispitivan u suhim uvjetima.

125

OPĆA OGRANIČENJA

- Neke metode pokušavaju riješiti taj problem specificirajući da se ispitivanje ne smije provoditi u određenom razdoblju nakon kiše.
- Međutim, budući da je sušenje betona funkcija temperature okoline i relativne vlage, specificiranje prirodnog vremena sušenja ne jamči da je postotak vlage na «standardnoj» razini.
- Druge metode specificiraju vrijeme sušenja uz pomoć toplog zraka prije ispitivanja.

126

OPĆA OGRANIČENJA

- o Kod metoda temeljenih na bušenju ispitne rupe, udarno djelovanje čekića može imati narušavajući i nekontrolirani efekt na beton koji je u blizini rupe.
- o Može doći do pucanja betona, što bi omogućilo da se zrak i voda odmah šire.
- o To stanje može dovesti do nesuglasja ispitnih rezultata, posebno pri ispitivanjima apsorpcije vode.

127

ISPITNE METODE

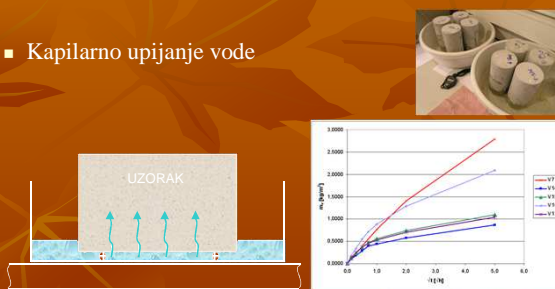
- Ispitivanje propusnosti na uzorcima betona

Svojstvo	metoda	Izmjerena veličina
Kapilarno upijanje	HRN U.M8.300:1985	Koeficijent vodoupojnosti
Početno površinsko upijanje	ISAT- modif.	Koeficijent početnog površinskog upijanja
Plinopropusnost	HRN EN 993-4	Koeficijent plinopropusnosti
Zrakopropusnost	FCE in-situ metoda	Indeks zrakopropusnosti

128

MJERENJE APSORPCIJE

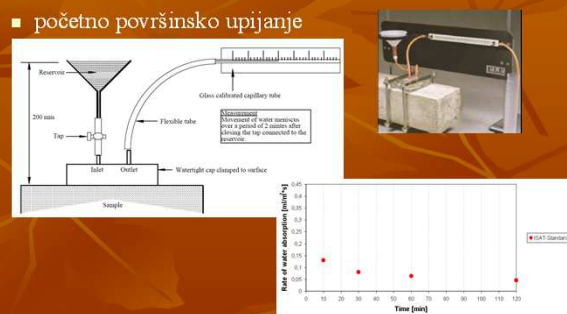
- Kapilarno upijanje vode



129

MJERENJE APSORPCIJE

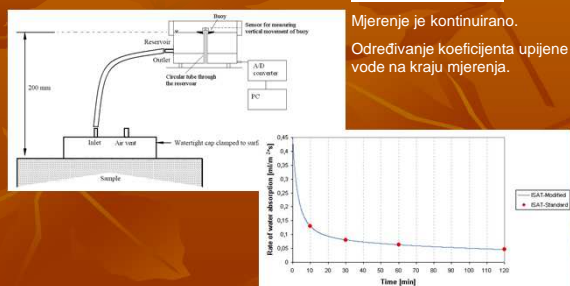
- početno površinsko upijanje



130

MJERENJE APSORPCIJE- FCE

- ISAT – modif.



131

Usporedba s ISAT-om:

Mjerenje je kontinuirano.
Određivanje koeficijenta upijene vode na kraju mjerenja.

Modificiran ISAT i priprema uzoraka



Spremnik vode

Unutrašnjost spremnika vode

Brtvljenje kružne kape

132

Modificiran ISAT - provođenje ispitivanja



Pričvršćenje kružne kape na površinu betonskog uzorka



Spajanje kružne kape sa spremnikom vode

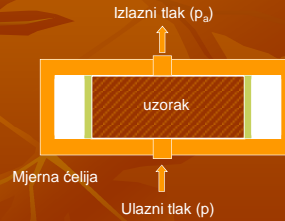


Spajanje s PC pomoću A/D pretvarača

133

MJERENJE PLINOPROPUSNOSTI

- ispitivanje plinopropusnosti u lab.



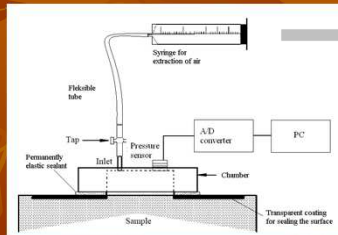
- Proračun specifičnog koeficijenta plinopropusnosti

$$K = \frac{2Q \eta L}{A} \frac{2p_a}{(p^2 - p_a^2)}$$

134

ISPITIVANJE PLINOPROPUSNOSTI- GF

- Zrakopropusnost- GF in-situ metoda



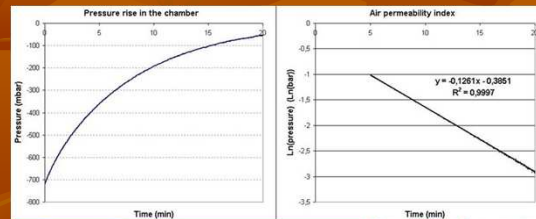
Usporedba s Autoclam-om

Isisavanje zraka umjesto pritiska.

135

MJERENJE PLINOPROPUSNOSTI

- Zrakopropusnost- GF in-situ metoda



- Indeks zrakopropusnosti
- Autoclam



MJERENJE PLINOPROPUSNOSTI- GF in-situ metoda i priprema uzoraka



Brtvljenje površine betona s autolakom



Mjerna ćelija



Pričvršćenje brtveće trake na mjernu ćeliju

137

MJERENJE PLINOPROPUSNOSTI- GF in-situ metoda i prikaz ispitivanja



Isisavanje zraka iz ćelije



Priključenje na PC pomoću A/D pretvarača

138

ZAKLJUČNO

- Odabir metode ispitivanja na temelju koje će se procijeniti potencijalna trajnost betonske konstrukcije prvenstveno ovisi o:
 - utjecajima iz okoliša kojima će biti izložena konstrukcija

139

ZAKLJUČNO

- Kako za ispitivanje određenog svojstva postoji više različitih metoda ispitivanja, odabir također ovisi o:
 - prednostima i ograničenjima pojedine metode,
 - što naravno zahtijeva znanje i iskustvo ispitivača.

140

ZAKLJUČNO

- Rezultati ovih ispitivanja uglavnom su indeksi
 - indeks apsorpcije,
 - indeks plinopropusnosti
- Preko kojih ispitivač donosi procjenu o potencijalnoj trajnosti betonske površine
- uzimajući u obzir sve uvjete:
 - makrolokacije i
 - mikrolokacije (vlaga, temperatura i sl.).

141