



STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12

VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA

Građevinski fakultet, Zagreb, 18. listopada 2019. godine

Prilikom projektiranja betonskih konstrukcija od projektanta se očekuje definiranje razreda okoliša i zahtjeva za beton, kako bi se osiguralo dostizanje projektiranog uporabnog vijeka. Norma HRN EN 206 te Tehnički propis za betonske konstrukcije pokrivaju pravila projektiranja betona za postizanje uporabnog vijeka od 50 godina. Problem kod ovakvog načina definiranja zahtjeva za beton je nemogućnost kontrole kvalitete tijekom izvedbe, nemogućnost provođenja proračuna uporabnog vijeka te nemogućnost uključivanja alternativnih materijala. Da bi se produljila trajnost konstrukcija i izbjeglo prerano dotrajavanje, a time i znatno povećanje troškova održavanja potrebno je ozbiljnije pristupiti projektiranju trajnosti betona. Na usavršavanju će polaznici dobiti informacije o osnovnim uzrocima degradacije betonskih konstrukcija u različitim uvjetima okoliša te praktične preporuke što u projektu betonske konstrukcije propisati kao zahtjeve za beton za različite uvjete okoliša, te što propisati i zašto kao metodu kontrole kvalitete izvedenog betona, a sve kako bi se osigurala trajnost betonskih građevina tijekom zahtijevanog uporabnog vijeka.

PROGRAM		
Vrijeme	Predavanje	Predavač
8.00 – 8.30	Registracija sudionika	
8.30 – 9.15	Mehanizmi degradacije betona u ovisnosti o razredu okoliša	Prof. Emerita dr.sc. Dubravka Bjegović Građevinski fakultet, Zagreb dubravka@grad.hr
9.15 – 9.45	Projektiranje betona na osnovu svojstava	Doc.dr.sc. Marijana Serdar Građevinski fakultet, Zagreb mserdar@grad.hr
9.45 – 10.15	Mjerne metode za kontrolu i osiguranje kvalitete izvedbe	Doc.dr.sc. Ana Baričević Građevinski fakultet, Zagreb abaricevic@grad.hr
10.15 – 10.45	Pauza za kavu	
10.45 – 11.30	Examples of good practice - South African case studies	Prof. Emeritus dr.sc. Mark Alexander University of Cape Town, South Africa mark.alexander@uct.ac.za
11.30 – 12.15	Ispitivanje konstrukcija bez razaranja – važnost inicijalnog mjerenja	Prof.dr.sc. Nenad Gucunski Rutgers University, SAD gucunski@soe.rutgers.edu
12.15 - 13.15	Pauza za ručak	



100
Years



STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“
 Građevinski fakultet, Zagreb, 18. listopada 2019. godine


**Mehanizmi degradacije
betona u ovisnosti o
okolišu**

Prof. Emerita dr.sc. Dubravka Bjegović,
Građevinski fakultet, Zagreb

1

**Degradacijom betona-
narušena trajnost betona**

- ▶ Beton u raznim klimatskim okolnostima dolazi u kontakt s mnogim agresivnim medijima koji mogu značajno utjecati na trajnost konstrukcije i utjecati na njenu stabilnost i sigurnost.
- ▶ **Trajnost betona** definirana je kao sposobnost betona da izdrži promjene svojstava.



2


**Mehanizmi degradacije
kao dio mehanike trajnosti**

Shvaćanje mehanizma degradacije	Mehanika trajnosti obuhvaća sva djelovanja na beton tijekom eksploatacije		
Dijagram tijeka mehanizma degradacije	Modeli za opis pojedinih djelovanja		
<ul style="list-style-type: none"> •Razvoj topline hidratacije •Skupljanje •Korozija •AAR •Puzanje •Smrzavanje •Izluživanje •Kemijski napad itd 	Razina materijala	Razina konstrukcije	
	Kemijske reakcije	Prijenos tvari	Deformacije Mehanika loma
Predviđanje ponašanja betonske konstrukcije			

3

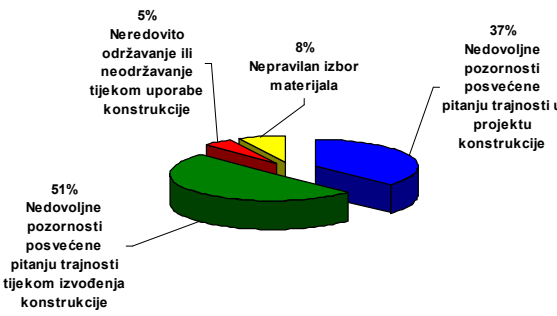
Degradacija betona

- ▶ Postupci ili reakcije koje mijenjaju svojstva betona, elemenata konstrukcije ili cijelog sustava tako da se više ne ponašaju kako su namjeravali.
- ▶ Manifestira se različito (promjene u boji, pukotine, površinska oštećenja, ljuštenje, skupljanje, abrazija, ...)



4

**Uzroci preranog
dotrajavanja konstrukcija**

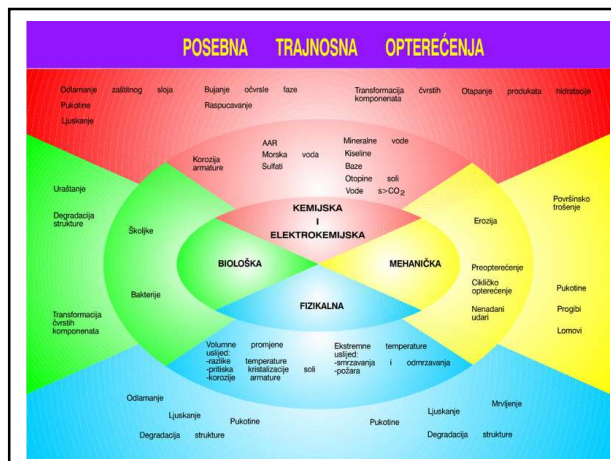


51% **Nedovoljne pozornosti posvećene pitanju trajnosti tijekom izvođenja konstrukcije**

8% **Nepravilan izbor materijala**

5% **Neredovito održavanje ili neodržavanje tijekom uporabe konstrukcije**

5



6

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Udar

- ▶ Učinci sila udara (najčešće uzrokovanih udarima vozila / ili projektila) su:
 - ▶ promjene u obliku (dimenzije presjeka) građevinskog elementa,
 - ▶ u težim slučajevima također smanjenje nosivosti elementa i/ili konstrukcije





<http://dx.doi.org/10.1590/1679-78253753>

Krater uslijed
velike brzine
projektila -
1083.3m / s.

Krater uslijed
male brzine
projektila -
341.7m/s

13

Udar



<http://dx.doi.org/10.13167/2015.11.4>




<https://www.denverpost.com/2007/08/15/two-truckers-die-in-flery-70-crash/>
https://safety.fhwa.dot.gov/geometric/pubs/mitigationstrategies/chapter05_verticalclearance.cfm

14

Preopterećenje

- ▶ Oštećenja, deformacija i / ili propadanje betona mogu biti znakovi da je konstrukcija preopterećena, npr. jasno vidljivi otkloni i savijanja konstrukcijskih elemenata




Beam deflection... years of overloaded structure

15

15

Preopterećenje




https://www.uno.nh.gov/trucks/overloaded-truck-causes-bridge-collapse-in-china_209087/
<http://toconkadun.gov.sk/cintilatos.com/bridge-fall-bridge-fall-harbin-collapse-poor-construction-or-overloaded-trucks/>



16

Kretanja/slijeganja

- ▶ Rotacijska kretanja najčešće zbog asimetričnog opterećenja ili bočnih pomaka
- ▶ razna specifična kretanja






17

17

Ciklička djelovanja

- ▶ Gravitacijske i ubrzavajuće sile motornih vozila na kolnicima i mostovima, vibracije motora u zabavnim parkovima, sile uzrokovane naletom vjetrova ili periodičnim udarnim silama morskog valova nameću brojna ponavljajuća opterećenja na betonske konstrukcije.
- ▶ Kada se građevina opterećuje u obliku velikog broja ponavljanih ciklusa, beton se podvrgava pojavi umora.





18

Ciklička djelovanja

- ▶ Umor u konstrukcijskom elementu uzrokuje trajne unutarnje promjene u materijalu, dok se unutarnje mikro pukotine javljaju na površini u početku u obliku vidljivih pukotina, a kasnije beton postane krhki što dovodi do odlamanja betona.
- ▶ Ciklička opterećenja mogu dovesti do oštećenja uslijed umora iako su sva opterećenja znatno ispod statičke čvrstoće materijala

- ▶ CT slike presjeka uzorka izrađene od betona, a) prije ultrazvučnog ispitivanja zamora, b) nakon $1,8 \times 10^9$ ciklusa pri maksimalnom naprezanju $S_{max} = 0,44 f_c$, strelice označavaju novonformirane ili proširene pukotine

19

Djelovanja koja uzrokuju degradaciju ASB konstrukcije			
DEGRADACIJA BETONA		KORODACIJA ARMATURE	
MEHANIČKI	KEMIJSKI	FIZIKALNI	KORODACIJA ARMATURE
<ul style="list-style-type: none"> ▶ statički opterećenje ▶ zamor ▶ udarni udar ▶ eksplozivno opterećenje ▶ vjetrovi ▶ temperatura ▶ sušenje ▶ zamrzavanje ▶ odvajanje 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ alkalijske reakcije ▶ kloridna korozija ▶ sulfatna korozija ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ciklička djelovanja ▶ zamrzavanje ▶ odvajanje ▶ odvajanje ▶ odvajanje ▶ odvajanje ▶ odvajanje ▶ odvajanje ▶ odvajanje 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ oksidacija ▶ kloridna korozija ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije ▶ kiselinske reakcije

Beton – Kemijska djelovanja

20

- ▶ Alkalno – agregatne reakcije (AAR):
 - ▶ **Alkalno-silikatna reakcija (ASR)**
 - ▶ **Alkalno-karbonatna reakcija (ACR)**

} unutarnja djelovanja

- ▶ Agresivne tvari
- ▶ (e.g. sulfati, soli, meka voda)

} vanjska djelovanja

- ▶ Biološka djelovanja

21

Alkalno – agregatne reakcije (AAR)

- ▶ Alkalno reaktivne vrste agregata su:
 - ▶ opal,
 - ▶ andezit,
 - ▶ riolit,
 - ▶ dolomitni vapnenci,
 - ▶ kremen sa slabom kristalnom rešetkom,
 - ▶ deformirani kremen (iz metamornih stijena) i
 - ▶ vrlo sitnozrnati kremen.

22

Alkalno-silikatna reakcija (ASR)

Reakcijom alkalnih oksida iz cementa i silikatnog agregata nastaje vodeno staklo u obliku gela na njihovoj kontaktnoj površini

$Na_2O \times SiO_2$
 $K_2O \times SiO_2$

Ekspanzija očvrdsle faze – vlažna naprezanja – pukotine

U praksi se pokazalo da se u običnom betonu neće pojaviti ASR ako je sadržaj alkalijskih u cementu manji od 0,6%, bez obzira na vrstu agregata koji se koristi.

<https://www.thwa.dot.gov/publications/pavements/concrete/061317/>

23

Alkalno-silikatna reakcija (ASR)

- ▶ Vizualna oštećenja (a-d) i unutarnji znakovi oštećenja alkalno-silicijeve reakcije (ASR) opaženi u slučaju mosta Du-Vallon

M. A. Brühel, S. G. Brühel, B. F. Brühel, *Alkali-Silica Reaction: Evaluation of the Alkali-Silica Reaction in Concrete Structures*, Part 10: Application to concrete structures, Special Report of the Canadian Society of Civil Engineers, 32(1):63-479, February 2011

Vijadukt autoceste Du Vallon – Charest, u gradu Quebec u Kanadi, nedavno srušen zbog ASR

Pukotine se obično pojavljuju u područjima s čestom vlagom, kao što su blizina vodene linije u pristaništima, u blizini tla iza potpornih zidova, u blizini zglobova i slobodnih rubova u kolniku ili u stupovima ili stupovima koji su pod utjecajem oštećenja. Petrografskim pregledom može se pouzdano utvrditi ASR.

24

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH
GRAĐEVINA“

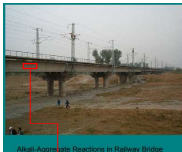
Alkalno-karbonatna reakcija (ACR)

- ▶ Alkalno-karbonatna reakcija (ACR) opažena je kod određenih dolomitnih stijena.
- ▶ Dedolomitizacija, razgradnja dolomita, obično je povezana s ekspanzijom.
- ▶ Ova reakcija i naknadna kristalizacija brucita mogu uzrokovati značajno širenje.
- ▶ Degradacija uzrokovana alkalno-karbonatnim reakcijama slično je onome uzrokovanom ASR-om; međutim, ACR je relativno rijedak jer su agregati osjetljivi na taj fenomen rjeđi i obično nisu prikladni za upotrebu u betonu iz drugih razloga.
- ▶ Agregati osjetljivi na ACR imaju tendenciju da imaju karakterističnu teksturu koju mogu prepoznati petrografi.




25



Examples of AAR



Daqing Railway Bridge, China



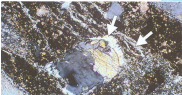
Shek Wu Hui Treatment plant, Hong Kong



26

Sulfatno djelovanje




- ▶ Napad sulfata događa se u betonu kada sulfati iz okruženja reagiraju s kalcijevim hidroksidom i kalcijevim aluminat hidratom u očvrstloj cementnoj pasti.
- ▶ Sulfati u betonu uzrokuju ili omeđavanje i propadanje betonske matrice („kiselinski“ oblik sulfata) ili ekspanzivno pucanje i druga oštećenja povezana sa stvaranjem ettringita (kalcijev sulfoaluminat hidrat) i ostalih produkata reakcije unutar očvrstlog betona.
- ▶ Glavni izvori sulfata su:
 - ▶ Unutarnji izvor napada sulfata
 - ▶ Vanjski izvor napada sulfata



27

Unutarnji izvor napada sulfata

- ▶ Nastaje kada se izvor sulfata ugradi u beton tijekom postupka miješanja. Na primjer, upotreba agregata bogatog sulfatom ili višak dodanog gipsa u cementu.
- ▶ Odgođeno stvaranje ettringita poseban je slučaj napadaja unutarnjeg sulfata. Nastaje u betonu koji je očvrstnuo na povišenim temperaturama kao što je zavarivanje ili u slučaju masivnih konstrukcija.
- ▶ Pojavljuje se nekoliko tjedana, mjeseci ili godina nakon betoniranja. Oštećenja betona nastaju kada kristali ettringita djeluju ekspanzivno u betonu kako rastu.



28

Vanjski izvori sulfata

- ▶ Glavni vanjski izvori sulfata su:
 - ▶ Podzemne vode
 - ▶ Sulfatima bogate soli
 - ▶ Morska voda
 - ▶ Reciklirani agregat koji sadrži gipsanu žbuku
 - ▶ Agro-industrija - farme

29

Vanjski izvori sulfata

- ▶ Sulfatni ion + hidrirani kalcijev aluminat i / ili komponente kalcijevog hidroksida očvrstnute cementne paste + voda = **ettringit** (kalcijev sulfoaluminat hidrat)
- ▶ Sulfatni ion + hidrirani kalcijev aluminat i / ili komponente kalcijevog hidroksida očvrstnute cementne paste + voda = **gips** (kalcijev sulfat hidrat)
- ▶ $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaOH}$
- ▶ $\text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Mg}(\text{OH})_2$

30

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Vanjski izvor sulfata – magnezij sulfat

Mehanizam dekalifikacije faze CSH u prisutnosti magnezijevog sulfata

C-S-H → otpušta CH (pH ≈ 12.5) → CH reagira sa Ms → nastaje MH (sniženje pH) → C-S-H (nestabilan jer je nizak pH ≈ 10.5)

31

Primjeri napada sulfata

Slika elektronskim mikroskopom u slučaju napada sulfata u betonu

Taumasite formacije u betonu, polirani uzorak presjeka oštećenog betona iz infrastrukturne građevine u UK

32

Primjeri građevina u slučaju sulfatnog napada

(a) Položaj gravitacijske brane Mequinenza i akumulacije u provinciji Zaragoza (Španjolska)
 (b) Nizvodno lice brane.

(a) Zid u galeriji na razini 22 m. Označena zona odgovara bjelkastim čvrstim proizvodima. Ovi proizvodi analiziraju se SEM-om i otkrivene su dvije zone ili vrste:
 (b) K i Ca sulfati; (c) gips, kalcit i taumasit

33

Djelovanje soli

- ▶ Neke soli mogu reagirati s produktima hidratacije cementa → **povećavajući volumen** što za posljedicu ima **razaranje strukture betona** (npr. sulfatna agresivnost (korozija) i razaranje uzrokovano solima iz morske vode)
- ▶ Djelovanjem soli na cementni kamen dolazi do otapanja cementnog kamena → **razrahljena struktura povećane propusnosti i smanjene čvrstoće betona**

Estetska posljedica – iscvjetavanje

34

Soli – tvornice dušičnih gnojiva

Proizvode se uporabom prirodnih mineralnih sirovina, prirodnog plina, atmosferskog dušika i kisika. Iz ovih sirovina se odgovarajućim tehnološkim postupcima proizvode dušična (N) gnojiva, dušično - sumporna (NS) gnojiva, dušično - fosforna (NP) gnojiva i dušično - fosforna - kalijeva (NPK) gnojiva.

35

Soli – tvornice dušičnih gnojiva -KAN

- ▶ Jedan od proizvoda je i Kalijev amonijev nitrat (KAN).
- ▶ Budući da je higroskopičan u prirodi, KAN akumuliran na površini RC-a, privuče vlagu iz atmosfere, taloži se na vanjskoj površini elementa, ošteti vanjski sloj cementne paste i prodire unutar betonskog presjeka elementa kroz mikro pore betona koji više nemaju zdravu strukturu.
- ▶ Uslijedi kemijska reakcija:
 $CaCO_3 + NH_4NO_3 = CAN$ (25 to 28%) (72 to 75%)
- ▶ $Ca(OH)_2 + 2NH_4NO_3 = Ca(NO_3)_2 + 2NH_4OH + Calcium Nitro Aluminat$
- ▶ Tako se sastojci betona / cementa, uglavnom $Ca(OH)_2$, pretvaraju u $Ca(NO_3)_2$, što je dezintegracija cementa što rezultira gubitkom svojstva vezivanja i čvrstoće betona.

36

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Soli – tvornice dušičnih gnojiva -KAN

Ammonium Nitrate (FGAN)



- ▶ Čestice KANA u obliku prašine koja leti u atmosferi također uzrokuje abraziju na vanjskoj površini betonskog elementa i erodira cementnu pastu koja tvori završni sloj na gornjem dijelu betonskog elementa.

37

Soli – tvornice dušičnih gnojiva -KAN

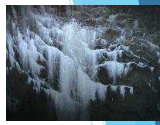
- ▶ Ostavlja otvorenu strukturu krupnog agregata izloženog djelovanju KANA saća.
- ▶ Takva situacija omogućuje da čestice KANA prodiru kroz jezgro betona.



Concrete in Aggressive Aqueous Environments, Performance, Testing and Modeling 3-5 June 2009, Toulouse, France

38

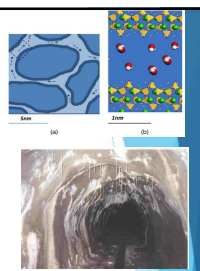
Meka voda -izluživanje



- ▶ Pojam izluživanje (*engl. leaching*) predstavlja otapanje produkata hidratacije (portlandita i CSH gela) iz očvrstule cementne matrice uslijed djelovanja čiste vode
- ▶ Pojavljuje se tijekom dugotrajnog izlaganja običnoj i/ili mekoj vodi:
 - ▶ brane, vodovodne cijevi, odlagališta radioaktivnog otpada

39

Izluživanje



- ▶ Posljedice na mikro-razini (na razini materijala) - otapanje kalcijevog hidroksida i dekalifikacija CSH gela
- ▶ Posljedice na makro-razini (na razini konstrukcije) - povećana poroznost i propusnost, gubitak gustoće i čvrstoće, vidljivi tragovi na betonu

http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/read_tunnels_protection_guide_book2_tvp.pdf

40

Biološka djelovanja

- ▶ Mahovina
- ▶ Morske alge
- ▶ školjke
- ▶ Bakterije/Otpadne vode



- ▶ Beton mogu oštetiti živi organizmi poput biljaka, spužvi, školjki.....

41

Biološka djelovanja

- ▶ Školjke djeluju štetno na beton jer prodiru u dubinu betona i na taj način uništavaju zaštitni sloj betona
- ▶ u beton prodiru uzimanjem tvari iz betona za svoj metabolizam ili visokofrekventnim vibracijama dube put u unutrašnjost betona


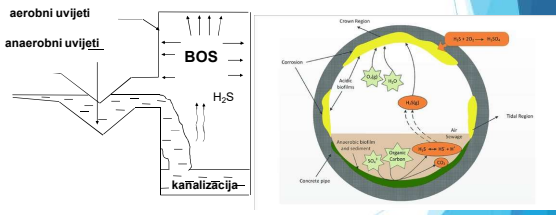


42

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Bakterije

- Djelovanju su posebno izložene konstrukcije koje sadrže **otpadne vode** (kanalizacijske cijevi, crpne stanice, pogoni za pročišćavanje i sl.)

43

43

Bakterije


- Degradacija betona u ovom slučaju događa na betonskim dijelovima iznad razine otpadne vode
- posljedica opisane biogene korozije betona je stvaranje kalcijevog sulfata, gipsa, ili kalcijevog sulfoaluminat hidrata, etringita




44

44

Beton – Fizikalna djelovanja

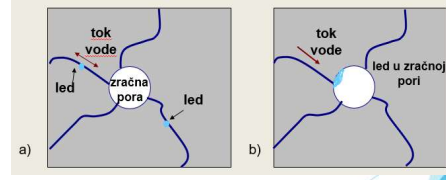


45

45

Zamrzavanje/odmrzavanje

- U krupnim kapilarama voda se počinje smrzavati kod 0°C
- prijelazom vode u led volumen se povećava za oko 9%, pa preostala voda u kapilarama dolazi pod tlak



46

46

Zamrzavanje/odmrzavanje

- Kako smrzavanje počne najprije površini, to se led i voda šire pre unutrašnjosti betona → sljedeće odmrzavanje omogućava upijanje količina vode → upumpavanje u strukturu betona,
- razaranje betona uz djelovanje odmrzavanje je znatno brže.




47

47

Zamrzavanje/odmrzavanje






▶ Neadekvatno održavanje na našim autocestama (deponiranje zasoljenog snijega)

48

48

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Zamrzavanje/odmrzavanje



Autocesta Ivanja Reka – Lipovljani
(zima 1980/81.)



Poluautocesta Oštrovica-Delnice - Kupjak
(zimi 1997/98.)



Danas

49

Zamrzavanje/odmrzavanje







50

50

Toplinska nekompatibilnost cementa i agregata

- ▶ Kod betona koji su izloženi čestim toplinskim promjenama
- ▶ bitan uvjet je da se α_T agregata i cementnog kamena ne razlikuje više od $5,5 \times 10^{-6} /K$

$\alpha_{\text{cementnog kamena}} = 11 \times 10^{-6} - 20 \times 10^{-6} /K$

Tip stijene	Toplinski koeficijenti linearnog istezanja, $\alpha_T, 10^{-6} (1/K)$
granit	1,8 – 11,9
diorit, andezit	4,1 – 10,3
gabro, bazalt, dijabaz	3,6 – 9,7
pješčenjak	4,3 – 13,9
dolomit	6,7 – 8,6
vapnenac	0,9 – 12,2

51

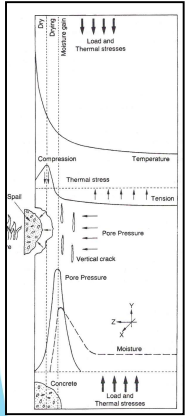
51

Visoke temperature - požar

- Najvažnije posljedice djelovanja visokih temperatura požara na konstrukcijski beton:
 - ▶ gubitak mehaničkih svojstava betona na povišenim temperaturama
 - ▶ gubitak čvrstoće armaturnog čelika na povišenim temperaturama
 - ▶ eksplozivno odlamanje vanjskog zaštitnog sloja betonskog element



52



Visoke temperature – požar

- ▶ Mehanizam eksplozivnog odlamanja:
 - ▶ pucanje uzrokovano pornim tlakom,
 - ▶ pucanje uzrokovano toplinskim naprezanjima,
 - ▶ kombinacija prethodno navedenih mehanizama.

53

Visoke temperature - požar








https://onlinebrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/am.996

54

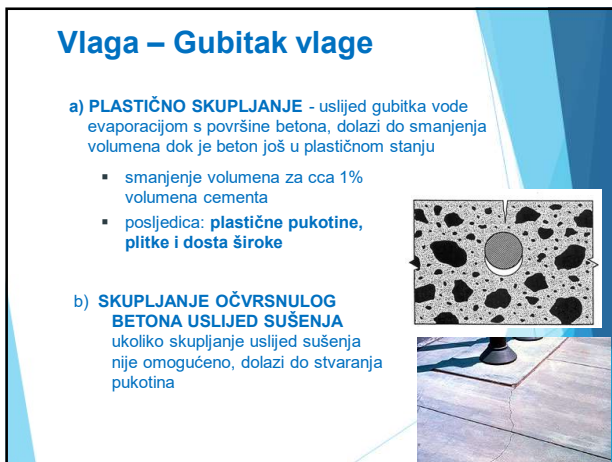
STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH
 GRAĐEVINA“



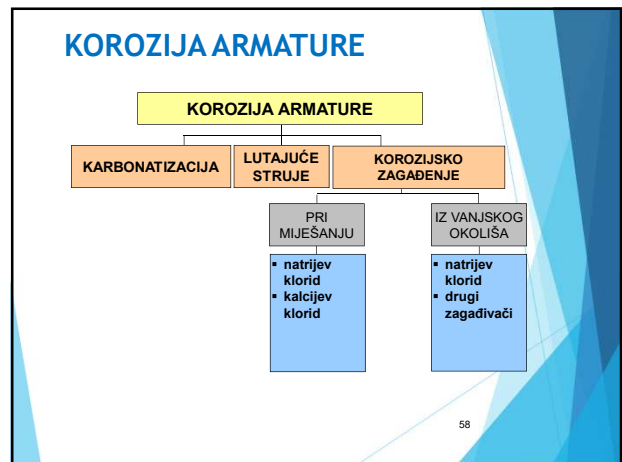
55



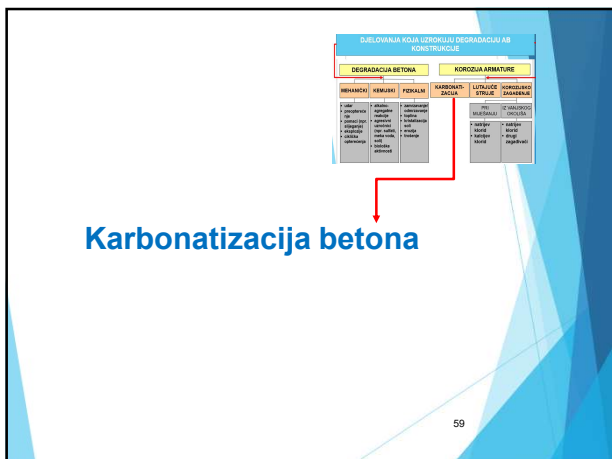
56



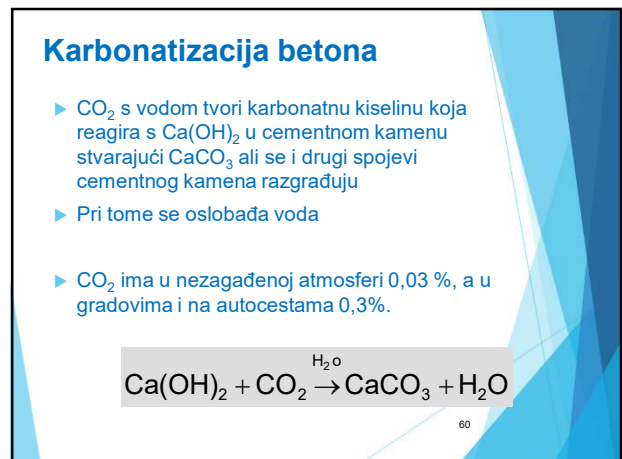
57



58



59



60

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Karbonatizacija betona

dubina karbonatizacije

lužnata zona

čelik

lom

karbonizirano područje

CO₂

Kemijska reakcija:
 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 pH = 12.5 → <9

pH = 9.10 pH = 12.5

61

KARBONATIZACIJA BETONA – KOROZIJA ARMATURE

Površina čelika se u medijima s visokim pH, poput betona pasivira elektrokemijskom oksidacijom

Na površini nastaje tanki pasivni sloj željezovog oksida

$$\text{Fe} + \text{OH}^-_{\text{aq}} \rightarrow \text{FeOH}_{\text{ads}} + \text{e}^-$$

$$\text{FeOH}_{\text{ads}} + \text{OH}^-_{\text{aq}} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_{2\text{ads}} + \text{e}^-$$

$$\text{Fe}(\text{OH})_{2\text{ads}} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

METAL OTOPINA

Porous Concrete

(Nagayama & Cohen, 1962)

62

DESTABILIZACIJA PASIVNOG FILMA

Uslijed smanjene količine hidroksilnih iona, pasivni film postaje nestabilan

Jednake reakcije kao stvaranje pasivnog filma, ali nastaje željezni(II)hidroksid adsorbiran na površini armature, koji zatim odlazi u otopinu i postaje čvrsti produkt

$$\text{Fe} + \text{OH}^-_{\text{aq}} \rightarrow \text{FeOH}_{\text{ads}} + \text{e}^-$$

$$\text{FeOH}_{\text{ads}} + \text{OH}^-_{\text{aq}} \rightarrow \text{FeOH}_{2\text{ads}} + \text{e}^-$$

$$\text{FeOH}_{2\text{ads}} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_{2\text{s}}$$

63

Posljedice karbonatizacije

Korozija uzrokovana karbonatizacijom na AB gredi

Ispitivanje dubine karbonatizacije

- Uobičajeni pH betona → 12,6 – 13,5
- Nakon karbonatizacije → pH ≤ 9
- Smanjena pH vrijednost betona → smanjena pasivnost armature u betonu → KOROZIJA ARMATURE

64

Korozija armature – korozijsko zagađenje

DEGRADACIJA BETONA		KOROZIJA ARMATURE	
METANCI	OKSID	KARBONAT SAKLA	UTJECAJI KORROZIVNOG SPOSOBNOSTI
• voda	• kisik	• CO ₂	• pH
• sol	• klorid	• SO ₂	• koncentracija
• sulfat	• natrij	• H ₂ S	• mehanizam
• klorid	• kalcij	• NO _x	• brzina
• sulfat	• magnezij	• O ₂	• vrijeme
• klorid	• bakar	• H ₂ O	• temperatura
• sulfat	• srebro	• H ₂	• vlažnost
• klorid	• olovo	• SO ₂	• ciklus mraz
• sulfat	• nikl	• H ₂ S	• salinitet
• klorid	• vanadij	• NO _x	• agresivnost

65

Korozija armature - klor ioni

- ▶ kloridi predstavljaju jedan od najsloženijih i jedan od najagresivnijih utjecaja na konstrukciju
- ▶ najviše su izložene armiranobetonske konstrukcije u **maritimnom okolišu** kao i armiranobetonske **kolničke konstrukcije**, koje se zimi posipaju **solju za odmrzavanje** u velikim količinama

66

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

► Porijeklo klorida u betonu

- u betonskoj mješavini ukoliko se upotrebljava:
 - agregat kontaminiran kloridima (obično agregat izvađen iz mora koji nije ispran ili nije dovoljno dobro ispran),
 - morska voda,
 - otpadna voda,
 - dodaci mješavini koji sadrže kloride (CaCl₂ je bio sastojak ubrzivača sredinom 1970-ih)
- iz okoliša:
 - od djelovanja mora (direktno vlaženje, zapljuskivanje konstrukcije, vjetrom nošene kapljice morske vode na velike udaljenosti)
 - od djelovanja soli za odmrzavanje koje se rabe za posipanje po cestama, u gradu ili na mostovima,
 - od raznih kemikalija ako se radi npr. o rezervoarima.

67

KOROZIJA ARMATURE U BETONU

Katodna reakcija:
 $4e^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$

Anodna reakcija:
 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$
 $Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$
 $4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$
 $2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 \cdot H_2O + 2H_2O$

68

KOROZIJA UZROKOVANA KLORIDNIM IONIMA

I. Razaranje pasivnog sloja armature
 II. Raspucavanje betona
 III. Ljuštenje betona
 IV. Odlamanje zaštitnog sloja.

69

I. Razaranje pasivnog sloja armature
 II. Raspucavanje betona
 III. Ljuštenje betona
 IV. Odlamanje zaštitnog sloja.

70

UTJECAJ KLORIDA

Depasivizacija površine čelika - kada je na razini armature dosegnuta kritična koncentracija klorida

U praksi se kritična koncentracija klorida $C_{cr} = 0,4\%$ na masu cementa, odnosno $C_{cr} = 0,05\%$ na masu betona za ugljičnu čeličnu armaturu

Maslenički most, stup S3, profili nakon 10 godina uporabnog vijeka

71

Korozija armature – lutajuće struje

72

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Lutajuće struje

▶ Lutajuće struje od željeznica, sustava katodne zaštite ili kabela (postrojenja) visokog napona izazivaju ozbiljne probleme korozije kod ukopanih cjevovoda.

električne smetnje na čeličnim cjevovodima:
 -17kV postrojenja ; dalekovodi
 trafostanice; podzemni kabeili
 električnih željeznica
 električni tramvaj
 -atmosferska pražnjenja

Posljedice:
 -strujni udar
 -korozija

73

73

Tok lutajućih struja

<https://corrosion-doctors.org/Corrosion-Factors-Cells/corrosion-cells-stray.htm>

▶ Lutajuće struje skreću sa svojih predviđenih puteva jer nalaze paralelnu i alternativnu rutu. Tako mogu naći put nižeg električnog otpora, prolazeći kroz metalnu konstrukciju ukopanu u zemlji ili armaturu u temeljima. Pokazano je da su istosmjerne lutajuće struje daleko opasnije od izmjeničnih.

74

74

Greške pri izvođenju konstrukcije

▶ najraširenije oštećenje je nedovoljna debljina betonskog zaštitnog sloja

▶ pokazatelj vidljiv najčešće nakon nekog vremena zbog problema korozije

- Posljedice loše tehnologije izvedbe su:
 - gnjezda u betonu i segregacija betona uslijed lošeg zbijanja ili granulacije agregata
 - pukotine inducirane uslijed diferencijalnog slijeganja skela za oplatu
 - šupljine uslijed zarobljenog zraka uz oplatu
 - pogrešno projektirane dilatacije, otvaranje radnih reški
 - itd.

75

75

ZAKLJUČNO

Shvaćanje mehanizma degradacije	Mehanika trajnosti obuhvaća sva djelovanja na beton tijekom eksploatacije	
Dijagram tijeka mehanizma degradacije	Modeli za opis pojedinih djelovanja	
<ul style="list-style-type: none"> •Razvoj topline hidratacije •Skupljanje •Korozija •Asr •Puzanje •Smrzavanje •Izluživanje •Kemijski napad itd 	Razina materijala	Razina konstrukcije
	Projektiranje	
	Kemijske reakcije	Prijenos tvari
Mjerne metode		
Predviđanje ponašanja betonske konstrukcije		

76

76

Zahvaljujem na pažnji!

Thank you for your attention!

dubravka@grad.hr

77

77

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

M-12 VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA

PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI BETONA NA OSNOVU SVOJSTAVA

Dr. sc. Marijana Serdar, dipl. ing. građ.
Zavod za materijale
Građevinski fakultet
Sveučilište u Zagrebu
mserdar@grad.hr

1

TRAJNOST KONSTRUKCIJE

- Trajnost konstrukcije je njezina sposobnost da uslijed **očekivanog opterećenja iz okoliša** tijekom uporabe **zadrži zahtijevanu razinu sigurnosti i uporabljivosti** te odgovarajući izgled **bez povećanih troškova** za održavanje i popravke.
- Uporabni vijek - vrijeme nakon gradnje tijekom kojeg građevina ili njezini dijelovi ispunjavaju ili premašuju zahtijevano ponašanje/svojstvo.

2

Što treba biti strategija?

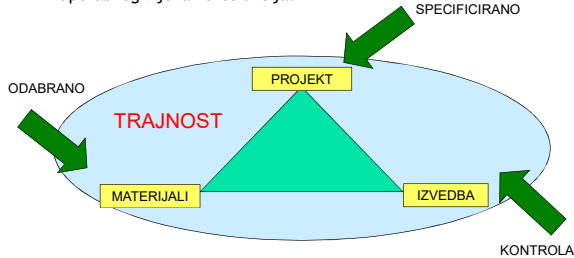
- A. Spriječiti oštećenje uslijed djelovanja iz okoliša
- B. Odabrati optimalan sastav betona koji će se oduprijeti opterećenju iz okoliša u zadanom životnom vijeku



3

TRAJNOST BETONA

- Kompatibilnost materijala, postupka izvedbe, kvalitete rada, nivoa kontrole i osiguranja kvalitete su značajni parametri postupka **projektiranja trajnosti** → osiguranja projektiranog uporabnog vijeka konstrukcija.



4

PRORAČUN TRAJNOSTI


PROBABILISTIČKI PRISTUP	FAKTORI SIGURNOSTI	DIMENZIONIRANO DA ZADOVOLJI	IZBJEGAVANJE OŠTEĆENJA
varijable: - djelovanja, S - otpornost, R - statistička obrada	- karakteristične vrijednosti - parcijalni faktori sigurnosti	razred okoliša	razred okoliša
granična stanja	Jednadžbe nosivosti	projektirane vrijednosti	projektirane vrijednosti

DANAS →

5

Pretpostavlja se da beton zadovoljava uvjete trajnosti ako je:

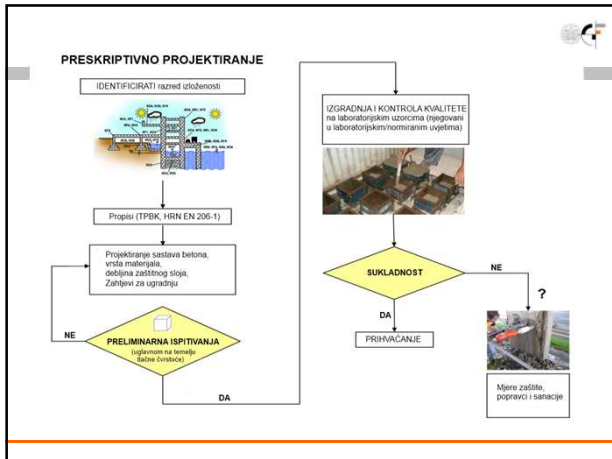
- Sukladan s graničnim vrijednostima za razrede izloženosti danim u HRN EN 206,
- Pravilno ugrađen, zbijen i njegovan (HRN ENV 13670-1),
- Ima najmanju debljinu zaštitnog sloja armature prema normi za projektiranje (HRN ENV 1992-1-1),
- Odabran prikladan razred izloženosti,
- Primijenjeno planirano održavanje.



6

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12

„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“



7

RAZREDI OKOLIŠA

- Postavljeni su stroži kriteriji za sastav i svojstva betona:
 - tlačna čvrstoća,
 - minimalni zaštitni sloj,
 - max v/c,
 - minimalni sadržaj pora

8

RAZREDI IZLOŽENOSTI

Razred izloženosti	Opis okoliša	Podrazredi
X0	Nema rizika korozije	-
XC	Korozija uzrokovana karbonatizacijom	XC1, XC2, XC3, XC4
XD	Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora	XD1, XD2, XD3
XS	Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode	XS1, XS2, XS3
XF	Korozija uzrokovana smrzavanjem i odmrzavanjem sa soli za odmrzavanje ili bez njih	XF1, XF2, XF3, XF4
XA	Kemijska korozija	XA1, XA2, XA3
XM	Beton izložen habanju	XM1, XM2, XM3

9

Razred	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave klase izloženosti
1	Nema rizika korozije	
X0	Bez rizika djelovanja.	Elementi bez armature u neagresivnom okolišu (npr. nearmirani temelji koji nisu izloženi smrzavanju i odmrzavanju, nearmirani unutarnji elementi) Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho.
2	Korozija uzrokovana karbonatizacijom	
Kada je beton s armaturom ili drugim ugrađenim metalom izložen zraku i vlazi, izloženost treba svrstati u razrede kako slijedi:		
XC1	Sušo ili trajno vlažno	Elementi u prostorijama obične vlažnosti zraka (uključujući kuhinje, kupaone, praonice rublja u stambenim zgradama); elementi stalno uronjeni u vodu
XC2	Vlažno, rijetko suho	Djelovi spremnika za vodu; dijelovi temelja
XC3	Umjerenjena vlažnost	Djelovi do kojih vanjski zrak ima stalan ili povremeni pristup (npr. zgrade otvorenih oblika, tipa-bed); prostorije s umjerenjenom visokom vlažnošću (npr. jone kuhinje, kupatila, praonice, vlažni prostori zatvorenih bazena za kupanje, ...)
XC4	Ciklički vlažno i suho	Vanjski betonski elementi izravno izloženi kiši; elementi u području kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
3	Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora	
Kada je beton, koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni materijal, u dodiru s vodom koja sadrži kloride, uključujući soli za odmrzavanje, koji nisu iz mora, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
XD1	Umjerenjena vlažnost	Područja prskanja vode s prometnih površina; privatne garaže
XD2	Vlažno, rijetko suho	Bazeni za plivanje i kupališta; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Ciklički vlažno i suho	Elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja ^{b)}
4	Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode	
Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal u dodiru s kloridima iz morske vode ili solima iz mora nošenim zrakom, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
XS1	Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Vanjski elementi u blizini obale
XS2	Stalno uronjeno	Stalno uronjeni elementi u lukama
XS3	U zonama plime i oseke i prskanja vode	Zidovi lukobrana i molova

10

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	Umjerenjeno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje
XF2	Umjerenjeno zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morska voda
XF3	Jako zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom
6 Kemijska korozija ^{a)}	
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se javlja iz prirodnog tla i podzemne vode kako je dano u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako dolje slijedi. Klasifikacija morske vode ovisi o geografskoj lokaciji, pa treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.	
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina
XA2	Umjerenjeno kemijski agresivni okoliš
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš
7 Beton izložen habanju	
XM1	Umjerenjeno habanje
XM2	Znatno habanje
XM3	Ekstremno habanje

^{a)} Podaci o vlazi odnose se na uvjete unutar zaštitnog sloja. Može se općenito pretpostaviti da su uvjeti unutar zaštitnog sloja isti kao uvjeti okoline kojem je element izložen. Međutim, to nije nužno slučaj ako postoji barijera za sprječavanje isparavanja između betona i okoliša.
^{b)} Takve ploče zahtijevaju dodatnu površinsku zaštitu kao što je sloj za prekrivanje pakiranja.
^{c)} Prvi niži razred čvrstoće ako se odabire aerirani beton za razred XF.
^{d)} Vidi HRN EN 206-1 tablicu 2 za granice vrijednosti komponenta, sastava i svojstva betona.

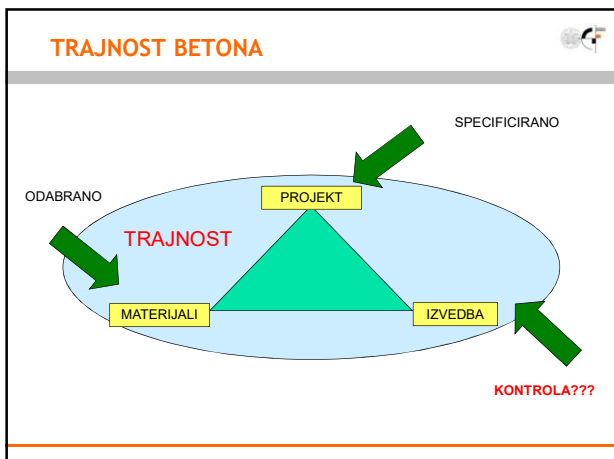
11

Preporučene vrijednosti sastava i svojstva betona za klase izloženosti

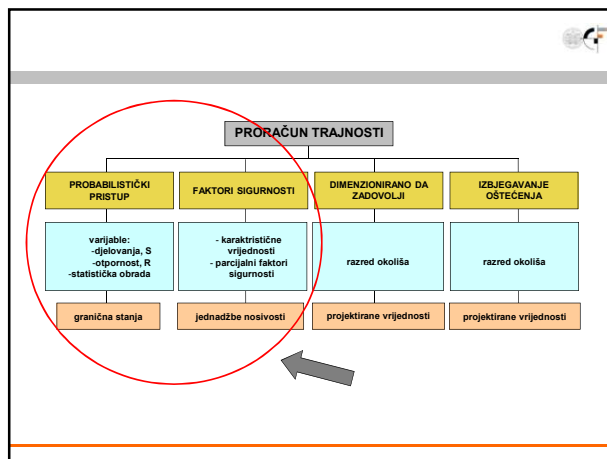
Razred izloženosti	Max v/c omjer	Min razred čvrstoće	Min. količina cementa (kg/m ³)	Min količina zraka (%)	Drugi zahtjevi
Nema rizika korozije					
X 0	-	C20/25	-	-	-
Korozija karbonatizacijom					
XC 1	0,65	C25/30	280	-	-
XC 2	0,60	C30/37	280	-	-
XC 3	0,55	C30/37	280	-	-
XC 4	0,50	C30/37	300	-	-
Kloridna korozija, morska					
XS 1	0,50	C30/37	300	-	-
XS 2	0,45	C35/45	320	-	-
XS 3	0,45	C35/45	340	-	-
Smrzavanje i odmrzavanje					
XF 1	0,55	C30/37	300	-	Agregat prema HRN EN 12620 s dvočlornom otpornošću na smrzavanje
XF 2	0,55	C25/30	300	4,0	
XF 3	0,50	C30/37	320	4,0	
XF 4	0,45	C30/37	340	4,0	

12

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“



13



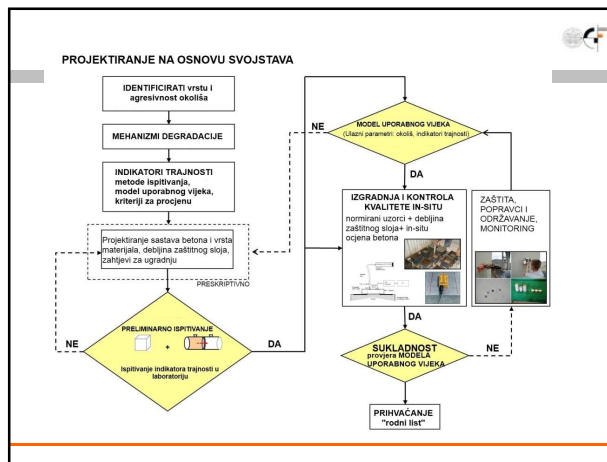
14

PROJEKTIRANJE SASTAVA NA BAZI SVOJSTAVA BETONA

- Trajnosna svojstva fundamentalna za procjenu trajnosti materijala i uporabnog vijeka konstrukcije
- Trajnost betona i armiranog betona prije svega je određena mogućnošću penetracije agresivnih tvari u beton - difuzija, apsorpcija i propusnost.

Tlačna čvrstoća → Mehanička stabilnost
Propusnost → Trajnost

15



16

INDIKATORI TRAJNOSTI

- Kao indikatori propusnosti/trajnosti mogu se koristiti metode:
 - Ispitivanja koeficijenta difuzije/migracije
 - Ispitivanja vodonepropusnosti
 - Mjerenja kapilarnog upijanja
 - Mjerenja električne otpornosti/vodljivosti betona

PROJEKTIRANJE IZVOĐENJE UPORABA

propisivanje svojstava i odabir materijala Kontrola i potvrđivanje projektiranih svojstava određivanje razine degradacije, utjecaj degradacije na nosivost i uporabljivost

17

Razred	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave klase izloženosti
1	Nema rizika korozije	
X0	Bez rizika djelovanja.	Elementi bez armature u neagresivnom okolišu (npr. nearmirani temelji) koji nisu izloženi smrzavanju i odmrzavanju, nearmirani unutarnji elementi) Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho.
2	Korozija uzrokovana karbonskim spojem?	
	Kada je beton s armaturom ili drugim ugrađenim metalom izložen zraku i vlazi, izloženost treba svrstati u razrede kako slijedi:	
XC1	Sušno ili trajno vlažno	Elementi u prostorijama obične vlažnosti zraka (uključujući kuhinje, kupaoane, praonice rublja u stambenim zgradama); elementi stalno uronjeni u vodu.
XC2	Vlažno, rijetko suho	Djelovi spremnika za vodu, dijelovi temelja
XC3	Umjerena vlažnost	Djelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup (npr. zgrade otvorenih oblika, tipa štadi; prostorije s atmosferom visoke vlažnosti (npr. javne kuhinje, kupališta, praonice, vlažni prostori za tušenje bazena za kupanje, ...)
XC4	Cikličko vlažno i suho	Vanjski betonski i elementi izravno izloženi kiši; elementi u području kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
3	Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora	
	Kada je beton, koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni materijal, u dodiru s vodom koja sadrži kloride, uključujući soli za odmrzavanje, koji nisu iz mora, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:	
XD1	Umjerena vlažnost	Područja prskanja vode s prometnih površina; privatne garaže
XD2	Vlažno, rijetko suho	Bazeni za plivanje i kupališta; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Cikličko vlažno i suho	Elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja
4	Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode	
	Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal u dodiru s kloridima iz morske vode ili solima iz mora nošenim zrakom, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:	
XS1	Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Vanjski elementi u blizini obale
XS2	Stalno uronjeno	Stalno uronjeni elementi u lukama
XS3	U zonama plime i oseke i prskanja vode	Zidovi lukobrana i molova

18

KARBONATIZACIJA - MEHANIZAM DEGRADACIJE

- Stupovi A u prostoru velike vlage (65%) - dubina karbonatizacije 65 mm, zaštitni sloj 35 mm
- Stupovi B su u suhoj okolini (40%) - dubina karbonatizacije 15 mm, zaštitni sloj 50 mm

Dubina karbonatizacije

19

KARBONATIZACIJA - INDIKATOR TRAJNOSTI

- PLINOPROPUSNOST** - prodor plina iz jednog dijela materijala u drugi uslijed hidrauličkog gradijenta

Laboratorij Koeffcijent propusnosti, $\times 10^{-16} \text{ m}^2$	Teren Koeffcijent plinopropusnosti, $\times 10^{-16} \text{ m}^2$	KVALITETA BETONA
-	< 0.01	Vrlo dobra
< 0.01	0.01 - 0.1	Dobra
0.01 - 1.0	0.1 - 1.0	Srednja
> 1.0	1.0 - 10	Loša
-	> 10	Vrlo loša

20

Razred	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave klasa izloženosti
1	Nema rizika korozije	
X0	Bez rizika djelovanja.	Elementi bez armature u neagresivnom okolišu (npr. nearmirani temelji) koji nisu izloženi smrzavanju i odmrzavanju, nearmirani unutarnji elementi Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho.
2	Korozija uzrokovana karbonatizacijom	
Kada je beton s armaturom ili drugim ugrađenim metalom izložen zraku i vlazi, izloženost treba svrstati u razrede kako slijedi:		
XC1	Suho ili trajno vlažno	Elementi u prostorjama obične vlažnosti zraka (uključujući kuhinje, kupaoane, praonice rublja u stambenim zgradama), elementi stalno uronjeni u vodu
XC2	Vlažno, rijetko suho	Dijelovi spremnika za vodu, djetelovi temelja
XC3	Umjerenjena vlažnost	Dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup (npr. zgrade otvorenih oblika, tipa-šed); prostor je s atmosferom visoke vlažnosti (npr. javne kuhinje, kupališta, praonice, vlažni prostori zatvorenih bazena za kupanje, ...)
XC4	Cikličko vlažno i suho	Vanjski betonski elementi izravno izloženi kiši; elementi u području kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
3	Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora	
Kada je beton, koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni materijal, u dodiru s vodom koja sadrži kloride, uključujući soli za odmrzavanje, koji nisu iz mora, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
XD1	Umjerenjena vlažnost	Područja prskanja vode s prometnih površina; privatne garaže
XD2	Mašno, rijetko suho	Bazeni za privarje i kupališta; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Cikličko vlažno i suho	Elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odmrzavanje; parkirnašne ploče bez zaštitnog sloja ¹⁾
4	Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode	
Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal u dodiru s kloridima iz morske vode ili solima iz mora nošenim zrakom, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
XS1	Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Vanjski elementi u blizini obale
XS2	Stalno uronjeno	Stalno uronjeni elementi u lukama
XS3	U zonama plime i oseke i prskanja vode	Zidovi lukobrana i molova

21

KLORIDI - MEHANIZAM DEGRADACIJE

22

KLORIDI - INDIKATOR TRAJNOSTI

- KOEFICIJENT DIFUZIJA/MIGRACIJE KLORIDA**

Koeffcijent difuzije (m^2/s)	Otpornost betona
< 2×10^{-12}	Jako dobra
$2 - 8 \times 10^{-12}$	Dobra
$8 - 16 \times 10^{-12}$	Zadovoljavajuća
$> 16 \times 10^{-12}$	Nezadovoljavajuća

Električna otpornost nakon 28 dana, kΩ·cm	Kvaliteta/propusnost betona
> 254	Jako dobra/Zanemariva
37 - 254	Dobra/Jako mala
21 - 37	Srednja/Mala
12 - 21	Loša/Srednja
< 12	Jako loša/Velika

23

PREPORUKE

Razred izloženosti	Zahtijevani uporabni vijek	
	Od 50 do 100 godina	Od 100 do 120 godina
X0 i XC1	$P_{\text{apr}} < 14\%$	$P_{\text{apr}} < 12\%$ $K_{\text{plin}} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XC2	$P_{\text{apr}} < 14\%$	$P_{\text{apr}} < 12\%$ $K_{\text{plin}} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XC3	$P_{\text{apr}} < 12\%$ $K_{\text{plin}} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$	$P_{\text{apr}} < 9\%$ $K_{\text{plin}} < 10 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XC4	$P_{\text{apr}} < 12\%$ $K_{\text{voda}} < 0,1 \times 10^{-18} \text{ m}^2$	$P_{\text{apr}} < 9\%$ $K_{\text{plin}} < 10 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ $K_{\text{voda}} < 0,01 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XS1	$P_{\text{apr}} < 14\%$	$P_{\text{apr}} < 12\%$ $D_{\text{apominj}} < 20 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ $K_{\text{voda}} < 0,1 \times 10^{-18} \text{ m}^2$
XS2	$P_{\text{apr}} < 13\%$ $D_{\text{apominj}} < 7 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$P_{\text{apr}} < 12\%$ $D_{\text{apominj}} < 5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
XS3	$P_{\text{apr}} < 11\%$ $D_{\text{apominj}} < 3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ $K_{\text{voda}} < 0,1 \times 10^{-18} \text{ m}^2$	$P_{\text{apr}} < 10\%$ $D_{\text{apominj}} < 2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ $K_{\text{plin}} < 100 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ $K_{\text{voda}} < 0,05 \times 10^{-18} \text{ m}^2$

AFGC Concrete design for a given structure service life, 2007

24

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

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	Umjerenno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjerenno 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 kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom	Prometne površine tretirane sredstvima za odmrzavanje; pretežno vodovodni 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
6 Kemijska korozija ^{a)}		
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se javlja iz prirodnog tla i podzemne vode kako je dato u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako dolje slijedi. Klasifikacija morske vode ovisi o geografskoj lokaciji, pa treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.		
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina	Spremnici u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije; spremnici tekućih umjetnih gnojiva
XA2	Umjerenno kemijski agresivni okoliš	Betonski elementi u dodiru s morskom vodom; elementi u agresivnom tlu
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Kemijski agresivne vode u postrojenjima za tretiranje otpadnih voda; spremnici za silažu i korita (žljebovi) za hranjenje životinja; rashladni tornjevi s dimnjacima za odvođenje dimnih plinova
7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjerenno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu vozila s pneumatiskim gumama na kotačima
XM2	Znatno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim ili tvrdim gumama na kotačima
XM3	Ekstremno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim gumama ili čeličnim kotačima; hidrauličke konstrukcije u vrtložnim (uzburkanim) vodama (npr. bazeni za destilaciju); površine izložene prometu gusjeničara
a) Podaci o vlazi odnose se na uvjete unutar zaštitnog sloja. Može se općenito pretpostaviti da su uvjeti unutar zaštitnog sloja isti kao uvjeti okoline kojem je element izložen. Međutim, to nije nužno slučaj ako postoji barijera za sprječavanje isparavanja između betona i okoliša. b) Takve ploče zahtijevaju dodatnu površinsku zaštitu kao što je sloj za prekrivanje pukotina. *) Prvi niži razred čvrstoće ako se odabire aerirani beton za razred XF. *) Vidjeti HRN EN 206-1 tablicu 2 za granične vrijednosti komponentata, sastava i svojstava betona.		

25

SMRZAVANJE - INDIKATOR TRAJNOSTI		
Razred	Kriterij	Norma
XF1	28 ciklusa Pad dinamičkog modula elastičnosti ne smije biti veći od 25%	HRN CEN/TR 15177
XF2	28 ciklusa $Dm \leq 0.5 \text{ kg/m}^2$ prosječno $Dm \leq 1.0 \text{ kg/m}^2$ pojedinačno	HRN CEN/TS 12390-9
XF3	56 ciklusa Pad dinamičkog modula elastičnosti ne smije biti veći od 15%	HRN CEN/TR 15177
XF4	56 ciklusa $Dm \leq 0.5 \text{ kg/m}^2$ prosječno $Dm \leq 1.0 \text{ kg/m}^2$ pojedinačno	HRN CEN/TS 12390-9
<ul style="list-style-type: none"> ■ Faktor razmaka pora - manji od 0,2 mm 		


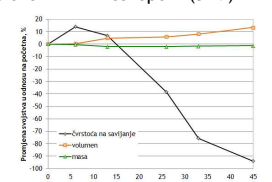
26

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	Umjerenno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjerenno 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 kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom	Prometne površine tretirane sredstvima za odmrzavanje; pretežno vodovodni 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
6 Kemijska korozija ^{a)}		
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se javlja iz prirodnog tla i podzemne vode kako je dato u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako dolje slijedi. Klasifikacija morske vode ovisi o geografskoj lokaciji, pa treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.		
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina	Spremnici u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije; spremnici tekućih umjetnih gnojiva
XA2	Umjerenno kemijski agresivni okoliš	Betonski elementi u dodiru s morskom vodom; elementi u agresivnom tlu
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Kemijski agresivne vode u postrojenjima za tretiranje otpadnih voda; spremnici za silažu i korita (žljebovi) za hranjenje životinja; rashladni tornjevi s dimnjacima za odvođenje dimnih plinova
7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjerenno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu vozila s pneumatiskim gumama na kotačima
XM2	Znatno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim ili tvrdim gumama na kotačima
XM3	Ekstremno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim gumama ili čeličnim kotačima; hidrauličke konstrukcije u vrtložnim (uzburkanim) vodama (npr. bazeni za destilaciju); površine izložene prometu gusjeničara
a) Podaci o vlazi odnose se na uvjete unutar zaštitnog sloja. Može se općenito pretpostaviti da su uvjeti unutar zaštitnog sloja isti kao uvjeti okoline kojem je element izložen. Međutim, to nije nužno slučaj ako postoji barijera za sprječavanje isparavanja između betona i okoliša. b) Takve ploče zahtijevaju dodatnu površinsku zaštitu kao što je sloj za prekrivanje pukotina. *) Prvi niži razred čvrstoće ako se odabire aerirani beton za razred XF. *) Vidjeti HRN EN 206-1 tablicu 2 za granične vrijednosti komponentata, sastava i svojstava betona.		

27

ISPITIVANJE VODOPROPUSNOSTI										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Razred vodonepropusnosti</th> <th>Najveća dozvoljena dubina vode, mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VDP1</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>VDP2</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>VDP3</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	Razred vodonepropusnosti	Najveća dozvoljena dubina vode, mm	VDP1	50	VDP2	30	VDP3	15	
Razred vodonepropusnosti	Najveća dozvoljena dubina vode, mm									
VDP1	50									
VDP2	30									
VDP3	15									
 										

28

ISPITIVANJE SULFATNE OTPORNOSTI	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Izlaganje uzoraka u agresivnoj otopini <ul style="list-style-type: none"> ■ ASTM C 1012 i ASTM C-452 (cement i mort) ■ izlaganje uzoraka otopini Na_2SO_4 ili H_2SO_4 ■ mjerenje promjene: mase, volumena, savojne čvrstoće, strukture elektronskim mikroskopom (SEM) 	
 	 <p>izlaganje u 1% H_2SO_4, CEM III/B 32.5N-LH/SR</p>
<p>vapnenacki agregat, silikatni agregat</p>	

29

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	Umjerenno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjerenno 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 kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom	Prometne površine tretirane sredstvima za odmrzavanje; pretežno vodovodni 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
6 Kemijska korozija ^{a)}		
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se javlja iz prirodnog tla i podzemne vode kako je dato u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako dolje slijedi. Klasifikacija morske vode ovisi o geografskoj lokaciji, pa treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.		
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina	Spremnici u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije; spremnici tekućih umjetnih gnojiva
XA2	Umjerenno kemijski agresivni okoliš	Betonski elementi u dodiru s morskom vodom; elementi u agresivnom tlu
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Kemijski agresivne vode u postrojenjima za tretiranje otpadnih voda; spremnici za silažu i korita (žljebovi) za hranjenje životinja; rashladni tornjevi s dimnjacima za odvođenje dimnih plinova
7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjerenno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu vozila s pneumatiskim gumama na kotačima
XM2	Znatno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim ili tvrdim gumama na kotačima
XM3	Ekstremno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim gumama ili čeličnim kotačima; hidrauličke konstrukcije u vrtložnim (uzburkanim) vodama (npr. bazeni za destilaciju); površine izložene prometu gusjeničara
a) Podaci o vlazi odnose se na uvjete unutar zaštitnog sloja. Može se općenito pretpostaviti da su uvjeti unutar zaštitnog sloja isti kao uvjeti okoline kojem je element izložen. Međutim, to nije nužno slučaj ako postoji barijera za sprječavanje isparavanja između betona i okoliša. b) Takve ploče zahtijevaju dodatnu površinsku zaštitu kao što je sloj za prekrivanje pukotina. *) Prvi niži razred čvrstoće ako se odabire aerirani beton za razred XF. *) Vidjeti HRN EN 206-1 tablicu 2 za granične vrijednosti komponentata, sastava i svojstava betona.		

30

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

HABANJE - INDIKATOR TRAJNOST

- Bolja otpornost na habanje:
 - povećanje zaštitnog sloja
 - površinski betonski sloj s agregatom od kvarca ili eruptivca ili s dodatkom drugih tvrdih i na habanje otpornih zrnaca, npr. korund, kvarc i sl.
 - u završni sloj dodana čelična ili neka druga vlakna
- Povećanje zaštitnog sloja:
 - XM1 za 5 mm
 - XM2 za 10 mm
 - XM3 za 15 mm
- Otpornost na habanje prema HRN EN 1097-1, HRN EN 1338, HRN EN 1339

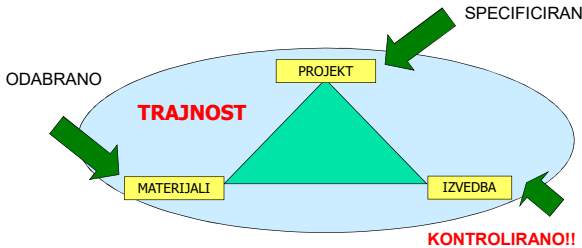


31

TRAJNOST BETONA

SPECIFICIRANO

ODABRANO



KONTROLIRANO!!

- Kompatibilnost materijala, postupka izvedbe, kvalitete rada, nivoa kontrole i osiguranja kvalitete su značajni parametri postupka projektiranja trajnosti → osiguranja projektiranog uporabnog vijeka konstrukcija.

32

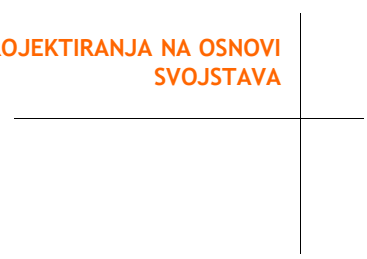
ZAŠTITNI SLOJ - PREPORUKA

Razred izloženosti	Najmanji zaštitni sloj c_{min} (mm) ^{a)} ^{b)} za armaturu	Dopuštena odstupanja zaštitnog sloja Δc (mm)
XC1	20	15
XC2	35	
XC3	35	
XC4	40	
XD1	55	
XD2		
XD3 ^{c)}	55	
XS1		
XS2		
XS3		

^{a)} Ako su elementi izvedeni od betona za dva razreda više od najmanjeg razreda specificiranog u tablici 2.25, zaštitni sloj može se smanjiti za 5 mm. Ovo, međutim, ne vrijedi za razred izloženosti XC1.
^{b)} Ako se beton na mjestu (in-situ) veže s betonom predgotovljenog elementa, zaštitni sloj na tom spoju može se smanjiti do 5 mm u predgotovljenom elementu i do 10 mm u betonu na mjestu. Ipak, pravila specificirana u Prilogu H TPBK, za osiguranje prijanjanja moraju se poštovati ako je armatura potpuno iskoristena u fazi izvedbe.
^{c)} U nekim slučajevima armatura će trebati posebnu zaštitu od korozije.

33

PRIMJER PROJEKTIRANJA NA OSNOVI SVOJSTAVA



34

34

ORIGINALNI PROJEKT

Konstruktivni elementi	Razred tlačne čvrstoće	Najmanji razred izloženosti	Najviši razred sadržaja klorida	Najveće zрно agregata D_{max}	Najviši v/c omjer	Ostali zahtjevi
masivni gravitacijski obalni zidovi-blokovi	C25/30*	XC2	Cl0,4	31,5 mm	0,45	-
masivne gravitacijske obalne utvrde	C25/30*	XC2	Cl0,4	31,5 mm	0,45	-
piloti ø 1200 i 1500 mm	C35/45	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP2
glavni nosači rasponske konstrukcije	C40/50*	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP2
sekundarni nosači rasponske konstrukcije	C40/50*	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP2
valobrani	C35/45*	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP2
AB ploča za monolitiziranje	C35/45*	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP2

- Cement - CEM I minimalno 42,5
- Krivo definirani razredi okoliša
- Nema zahtjeva za podvodno betoniranje
- Nije definirana debljina zaštitnog sloja

35

PROJEKT NAKON REVIZIJE

Konstruktivni elementi	Razred tlačne čvrstoće	Najmanji razred izloženosti	Najviši razred sadržaja klorida	Najveće zрно agregata D_{max}	Najviši v/c omjer	Ostali zahtjevi
masivni gravitacijski obalni zidovi-blokovi	C30/37*	XS1	Cl0,4	31,5 mm	0,45	VDP2/30
masivne gravitacijske obalne utvrde	C30/37*	XS1	Cl0,4	31,5 mm	0,45	VDP2/30
piloti ø 1200 i 1500 mm	C35/45	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP3/15
glavni nosači rasponske konstrukcije	C40/50*	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP3/15
sekundarni nosači rasponske konstrukcije	C40/50*	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP3/15
valobrani	C35/45*	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP3/15
AB ploča za monolitiziranje	C35/45	XS3	Cl0,2	31,5 mm	0,40	VDP3/15

* Za sve predgotovljene elemente se prije dizanja i vađenja iz kalupa mora dokazati postignuta tlačna čvrstoća, od najmanje 70% projektirane tlačne čvrstoće.
** Kriteriji za razrede vodonepropusnosti su određeni normom HRN 1128 koji kao uvjet kvalitete postavljaju zahtjev za prosječnim prodorom vode u mm, ispitanim prema normi HRN EN 12390-8.
*** Granične vrijednosti koeficijenta difuzije klorida odnose se na koeficijent difuzije klorida ispitani prema normi NT BUILD 492.
Kriterij VDP2 je zahtjev određen normom HRN 1128 koji kao uvjet kvalitete postavlja zahtjev za prosječnim prodorom vode od najviše 30 mm, ispitanim prema normi HRN EN 12390-8.

36

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

PROJEKT NAKON REVIZIJE

razred tlačne čvrstoće	razred izloženosti	KONSTRUKTIVNI ELEMENT	Količina betona m ³	potreban broj uzoraka			Koefficient difuzije klorida
				tlač. čvrst. 28 dana	VDP		
C30/37	XS1	masivni gravitacijski zidovi-blokovi	45.500,0	455	1+3/mjesečno	1+3/mjesečno	
C30/37	XS1	masivne gravitacijske utore	14.000,0	140	1+3/mjesečno	1+3/mjesečno	
C30/37	XS3	armiranobetonski serklaži, rampe	5.500,0	55	1+3/mjesečno	1+3/mjesečno	
C35/45	XS3	piloti φ 1500 mm	88 kom	88	5x3	5x3	
C40/50	XS3	glavni nosači rasponke konstrukcije	1.616,0	17	3x3	3x3	
C40/50	XS3	sekundarni nosači rasponke konstrukcije	4.560,0	46	8x3	8x3	
C35/45	XS3	valobrani	1.252,0	13	3x3	3x3	
C35/45	XS3	AB ploča za monolitiziranje	2.590,0	26	5x3	5x3	

Potrebno pripremiti plan provođenja kontrole debljine zaštitnog sloja

37

Kontrola koeficijenta difuzije

- 53 mjerenja na AB elementima i 15 na prednapetim elementima

Beton	Koefficient migracije klorida, x 10 ¹² m ² /s				Varijacija, %
	Minimum	Maximum	Srednja vrijednost	Std. devijacija	
AB	3.1	8.4	5.3	1.2	23
PB	2.9	5.2	3.9	0.6	15

a) AB

b) PB

$$D_{Cl,max,calculated} = (5.3 + 2.06 \cdot 1.2) \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{Cl,max,calculated} = 8.8 < 10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{Cl,max,calculated} = (3.9 + 2.57 \cdot 0.6) \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{Cl,max,calculated} = 3.9 < 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

38

HVALA NA PAŽNJI!

Marijana Serdar
mserdar@grad.hr

39

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

M-12 VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA

Mjerne metode za kontrolu i osiguranje kvalitete izvedbe

Doc.dr.sc. Ana Baričević
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
abaricevic@grad.hr

1

MEHANIZMI PROLASKA TVARI U MATERIJALU

- Većina procesa degradacije materijala ovisi o brzini kojom vlaga, zrak i/ili druge agresivne tvari prodiru u njegovu strukturu.
- Pri razmatranju trajnosti materijala, najvažnije svojstvo je propusnost i različiti mehanizmi prolaska tvari u materijalu.

1. SORPCIJA

2. DIFUZIJA

3. TEČENJE POD TLAKOM

MEHANIZMI PROLASKA TVARI
(uzroci transporta tvari)

2

INDIKATORI TRAJNOSTI

- Kao indikatori propusnosti/trajnosti mogu se koristiti metode:
 - Ispitivanja koeficijenta difuzije/migracije
 - Ispitivanja vodonepropusnosti
 - Mjerenja kapilarnog upijanja
 - Mjerenja električne otpornosti/vodljivosti betona

PROJEKTIRANJE

propisivanje svojstava i odabir materijala

IZVOĐENJE

Kontrola i potvrđivanje projektiranih svojstava

UPORABA

određivanje razine degradacije, utjecaj degradacije na nosivost i uporabljivost

3

Mjerne metode za kontrolu i osiguranje kvalitete izvedbe

Razredi okoliša

4

ZAŠTITNI SLOJ

Portable Ground Penetrating Radar

5

ZAŠTITNI SLOJ

ARMATURE AUTOMATSKA KONTROLA

KABELNI ZA PREDUPRANJE (DO 100M) 100T 20M

BEZNAJ: 1000000

ODREĐENI SLOJEVI BETONA (DEBLJINA 1700 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

ODREĐENI SLOJEVI ARMATURE (DEBLJINA 100 mm)

Portable Ground Penetrating Radar

6

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Razred	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave klasa izloženosti	
1	Nema rizika korozije		
X0	Bez rizika djelovanja.	Elementi bez armature u neagresivnom okolišu (npr. nearmirani temelji koji nisu izloženi smrzavanju i odmrzavanju, nearmirani unutarnji elementi) Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho.	
	2 Korozija uzrokovana karbonatizacijom ¹⁾		
	Kada je beton s armaturom ili drugim ugrađenim metalom izložen zraku i vlazi, izloženost treba svrstati u razrede kako slijedi:		
	XC1	Suho ili trajno vlažno	Elementi u prostorijama obične vlažnosti zraka (uključujući kuhinje, kupaone, praonice rublja u stambenim zgradama); elementi stalno uronjeni u vodu
XC2	Vlažno, rijetko suho	Dijelovi spremnika za vodu; dijelovi temelja	
XC3	Umjereni vlažnost	Dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup (npr. zgrade otvorenih oblika, tipa-šedi); prostorije s atmosferom visoke vlažnosti (npr. javne kuhinje, kupališta, praonice, vlažni prostori zatvorenih bazena za kupanje, ...)	
XC4	Ciklički vlažno i suho	Vanjski betonski elementi izravno izloženi kiši; elementi u području kvašenja vodom (statkovodna jezera i/ili rijeka)	
3	Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora		
	Kada je beton, koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni materijal, u dodiru s vodom koja sadrži kloride, uključujući soli za odmrzavanje, koji nisu iz mora, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
	XD1	Umjereni vlažnost	Područja prskanja vode s prometnih površina; privatne garaže
	XD2	Vlažno, rijetko suho	Bazeni za plivanje i kupališta; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Ciklički vlažno i suho	Elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja ²⁾	
4	Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode		
	Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal u dodiru s kloridima iz morske vode ili solima iz mora nošenim zrakom, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
	XS1	Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Vanjski elementi u blizini obale
	XS2	Stalno uronjeno	Stalno uronjeni elementi u lukama
XS3	U zonama plime i oseke i prskanja vode	Zidovi lukobrana i molova	

7

KARBONATIZACIJA – INDIKATOR TRAJNOSTI

- PROPUSNOST - proces pri kojem tvari prelaze iz jednog dijela materijala u drugi uslijed hidrauličkog gradijenta.

8

PLINOPROPUSNOST - laboratorij

- Mjeri se protok plina na izlazu iz uzorka, i na temelju dobivenih rezultata proračunava se koeficijent plinopropusnosti
- Ispituje se prema preporukama Cembureau (RILEM TC 116 - PCD)

$$K = \frac{2p_0 Q \eta L}{A(p^2 - p_2^2)}$$

K - koeficijent plinopropusnosti [m²]
 Q - protok plina [m³/s]
 η - viskoznost plina [Pa·s]
 L - debljina uzorka [m]
 A - presjek uzorka [m²]
 p - ulazni pritisak [Pa]
 p₂ - izlazni pritisak [Pa]
 p₀ - mjeri pritisak [Pa]

9

PLINOPROPUSNOST - teren

- Mjerenje uređajima s dvostrukom komorom
- Uspostavljanje podtlaka vakuumskom pumpom
- Automatizirano prikupljanje rasta tlaka unutar unutarnje komore

10

PLINOPROPUSNOST - teren

LABORATORIJ Koeficijent propusnosti, x 10 ⁻¹⁶ m ²	TEREN Koeficijent plinopropusnosti, x 10 ⁻¹⁶ m ²	KVALITETA BETONA
-	< 0.01	Vrlo dobra
< 0.01	0.01 - 0.1	Dobra
0.01 - 1.0	0.1 - 1.0	Srednja
> 1.0	1.0 - 10	Loša
-	> 10	Vrlo loša

11

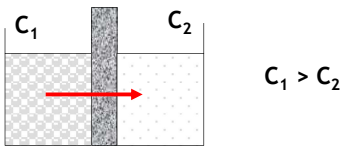
Razred	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave klasa izloženosti	
1	Nema rizika korozije		
X0	Bez rizika djelovanja.	Elementi bez armature u neagresivnom okolišu (npr. nearmirani temelji koji nisu izloženi smrzavanju i odmrzavanju, nearmirani unutarnji elementi) Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho.	
	2 Korozija uzrokovana karbonatizacijom ¹⁾		
	Kada je beton s armaturom ili drugim ugrađenim metalom izložen zraku i vlazi, izloženost treba svrstati u razrede kako slijedi:		
	XC1	Suho ili trajno vlažno	Elementi u prostorijama obične vlažnosti zraka (uključujući kuhinje, kupaone, praonice rublja u stambenim zgradama); elementi stalno uronjeni u vodu
XC2	Vlažno, rijetko suho	Dijelovi spremnika za vodu; dijelovi temelja	
XC3	Umjereni vlažnost	Dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup (npr. zgrade otvorenih oblika, tipa-šedi); prostorije s atmosferom visoke vlažnosti (npr. javne kuhinje, kupališta, praonice, vlažni prostori zatvorenih bazena za kupanje, ...)	
XC4	Ciklički vlažno i suho	Vanjski betonski elementi izravno izloženi kiši; elementi u području kvašenja vodom (statkovodna jezera i/ili rijeka)	
3	Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora		
	Kada je beton, koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni materijal, u dodiru s vodom koja sadrži kloride, uključujući soli za odmrzavanje, koji nisu iz mora, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
	XD1	Umjereni vlažnost	Područja prskanja vode s prometnih površina; privatne garaže
	XD2	Vlažno, rijetko suho	Bazeni za plivanje i kupališta; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Ciklički vlažno i suho	Elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja ²⁾	
4	Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode		
	Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal u dodiru s kloridima iz morske vode ili solima iz mora nošenim zrakom, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
	XS1	Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Vanjski elementi u blizini obale
	XS2	Stalno uronjeno	Stalno uronjeni elementi u lukama
XS3	U zonama plime i oseke i prskanja vode	Zidovi lukobrana i molova	

12

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

KLORIDI – INDIKATOR TRAJNOSTI

- DIFUZIJA - proces kojim tvar prelazi iz jednog dijela sustava u drugi kao posljedica slučajnog gibanja molekula zbog razlike koncentracija



$C_1 > C_2$

13

KOEFIJENT DIFUZIJE - laboratorij

- Ispitivanje količine klorida koji su prodrli kroz betonski uzorak:
 - pod djelovanjem vanjskog izvora struje - NT BUILD 492 ili ASTM C 1202
 - dugotrajnim izlaganjem otopini NaCl - NT BUILD 443
- Određivanjem električnog otpora betona



14

NT Build 443

- Prirodna difuzija uslijed velikog koncentracijskog gradijenta
 - Trajanje: više od 35 dana
 - Za evaluaciju: određuje se profil klorida preciznim uzimanjem praha po dubini, zatim fitovanjem krivulje prema 2. Fick-ovom zakonu → D_{Cl} .



Zasićena otopina $Ca(OH)_2$
Premazivanje epoksijem
Slana otopina (165 g/L)

15

ASTM C 1202-97

- Određujemo koeficijent migracije klorida
 - Uzorak materijala koji je zasićen vodom postavlja se u ćeliju koja s obje strane ima rezervoare s tekućinama, 3% NaCl i 0.3M NaOH.
 - pri naponu od 60 V dolazi do migracije kloridnih iona kroz uzorak materijala, pri čemu se mjeri promjena jačine struje tijekom 6 sati ispitivanja.



16

NT BUILD 492

- Nestacionarno migracijsko određivanje koeficijenta difuzije primjenom vanjskog električnog polja za ubrzani prodor klorida

$$D_{nssm} = \frac{0,0239 (273 + T) L}{(U - 2)t} \left[X_d - 0,0238 \sqrt{\frac{(273 + T) L X_d}{U - 2}} \right]$$

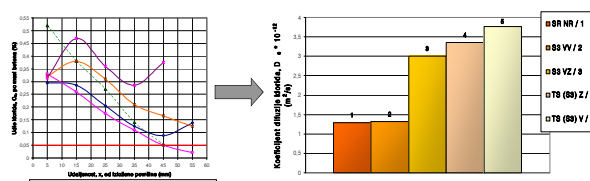
D_{nssm} - koeficijent migracije klorida ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)
 U - apsolutna vrijednost napona (V)
 T - prosječna temperatura u stupnjevim (°C)
 L - debljina uzorka (mm)
 X_d - prosječna vrijednost dubine prodiranja (mm)
 t - vrijeme trajanja testa




17

KOEFIJENT DIFUZIJE - teren

- Na terenu se koeficijent difuzije može izračunati iz profila klorida dobivenog kemijskom analizom količine klorida u betonskom prahu po dubini presjeka



$$C(x,t) = C_i + (C_s - C_i) \cdot \text{erfc} \frac{x}{\sqrt{4 \cdot t \cdot D_{app}}}$$


18

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Granični postotak klorida

- kritična koncentracija ukupnih klorida na dubini armature:
 - 0.4 % na masu cementa za AB
 - 0.2 % na masu cementa za prednapeti beton
- ili:
 - 0.05 do 0.07 % na masu betona za AB
 - 0.025 do 0.035 % na masu betona za prednapeti beton

Količina kloridnih iona (% na masu cementa)	Vjerojatnost korozije
<0.4	neznatna
0.4 do 1.0	moguća
1.0 do 2.0	vjerojatna
>2.0	sigurna

19

PRODOR KLORIDA - preporuke

Koeficijent difuzije (m ² /s)	Otpornost betona
< 2 × 10 ⁻¹²	Jako dobra
2 - 8 × 10 ⁻¹²	Dobra
8 - 16 × 10 ⁻¹²	Zadovoljavajuća
> 16 × 10 ⁻¹²	Nezadovoljavajuća

Električna otpornost nakon 28 dana, kΩ·cm	Kvaliteta/propusnost betona
> 254	Jako dobra/Zanemariva
37 - 254	Dobra/Jako mala
21 - 37	Srednja/Mala
12 - 21	Loša/Srednja
< 12	Jako loša/Velika

20

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	Umjerenno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje
XF2	Umjerenno zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morska voda
XF3	Jako zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom
6 Kemijska korozija*)	
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se javlja iz prirodnog tla i podzemne vode kako je dano u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako dolje slijedi. Klasifikacija morske vode ovisi o geografskoj lokaciji, pa treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.	
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina
XA2	Umjerenno kemijski agresivni okoliš
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš
7 Beton izložen habanju	
XM1	Umjerenno habanje
XM2	Znatno habanje
XM3	Ekstremno habanje
a) Podaci o vlazi odnose se na uvjete unutar zaštitnog sloja. Može se općenito pretpostaviti da su uvjeti unutar zaštitnog sloja isti kao uvjeti okoline kojem je element izložen. Međutim, to nije nužno slučaj ako postoji barijera za sprječavanje isparavanja između betona i okoline.	
b) Takve ploče zahtijevaju dodatnu površinsku zaštitu kao što je sloj za prekrivanje pukotina.	
*) Prvi niži razred čvrstoće ako se odabire aerirani beton za razred XF.	
*) Vidjeti HRN EN 206-1 tablicu 2 za granične vrijednosti komponentata, sastava i svojstva betona.	

21

SMRZAVANJE - INDIKATOR TRAJNOSTI

Razred	Kriterij	Norma
XF1	28 ciklusa Pad dinamičkog modula elastičnosti ne smije biti veći od 25%	HRN CEN/TR 15177
XF2	28 ciklusa Dm ≤ 0.5 kg/m ² prosječno Dm ≤ 1.0 kg/m ² pojedinačno	HRN CEN/TS 12390-9
XF3	56 ciklusa Pad dinamičkog modula elastičnosti ne smije biti veći od 15%	HRN CEN/TR 15177
XF4	56 ciklusa Dm ≤ 0.5 kg/m ² prosječno Dm ≤ 1.0 kg/m ² pojedinačno	HRN CEN/TS 12390-9

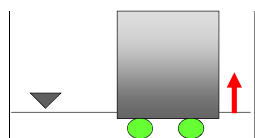


- Faktor razmaka pora - manji od 0,2 mm

22

SMRZAVANJE - INDIKATOR TRAJNOSTI

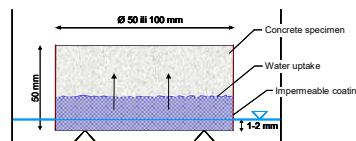
- KAPILARNO UPIJANJE - proces upijanja medija u materijal i njegov prijenos putem kapilara.



23

KAPILARNO UPIJANJE - laboratorij

- Mjeri se brzina upijanja ili visina penetracije (dizanja) vode, kada je vodi omogućeno da bude apsorbirana u suhi beton pod zanemarivim vanjskim pritiskom
- Ispitivanje kapilarnog upijanja očvrstnalog betona norma HRN EN 13057:2003



24

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12

„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

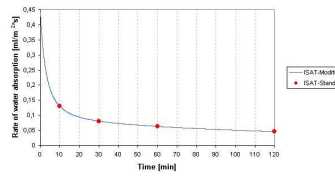

POČETNO POVRŠINSKO UPIJANJE VODE - teren

- Rezervoar ispunjen vodom spojen s betonskim elementom (minimalno 200±5 mm iznad)
- Praćenje nivoa vode te izražavanje rezultata upijanja vode u ml/(m²s).




25

Ocjena kvalitete

Upijanje (%)	A _w (kg/m ² h ^{0,5})	Apsorpcija (ml/m ² /s) nakon 1 sat	Kakvoća betona
<3	< 0,3	0,1	Dobar
3-5	0,3 - 0,6	0,1 - 0,20	Srednji
>5	>0,6	> 0,20	Loš

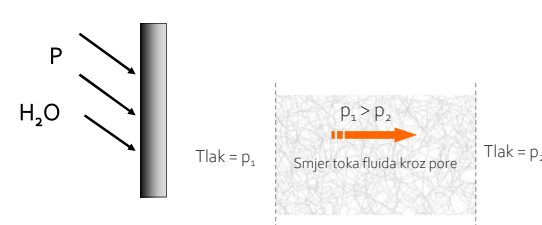
26

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	Umjerenno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjerenno 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 kvašenja 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
6 Kemijska korozija ^{*)}		
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se za čija je podvrhna vode kako je dano u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako dolje slijedi. Klasifikacija mo rške vode ovisi o geografskoj lokaciji, pa treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.		
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina	Spremnicu i postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije, spremnici tekućih umjetnih gnojiva
XA2	Umjerenno kemijski agresivni okoliš	Betonski elementi u dodiru s morskom vodom; elementi u agresivnom tlu
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Kemijski agresivne vode u postrojenjima za tretiranje otpadnih voda; spremnici za silašu i korta (žljebovi) za hranjenje životinja; rashladitornjivi i dimnjaci za otkođenje dimnih plinova
7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjerenno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu vozila s pneumatiskim gumama na kotačima
XM2	Znatno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim ili tvrdim gumama na kotačima
XM3	Ekstremno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatiskim gumama ili čeličnim kotačima; hidrauličke konstrukcije u vrtložnim (uzburkanim) vodama (npr. bazeni za destilaciju); površine izložene prometu gusjeničara
a) Podaci o vlazi odnose se na uvjete unutar zaštitnog sloja. Može se općenito pretpostaviti da su uvjeti unutar zaštitnog sloja isti kao uvjeti okoline kojem je element izložen. Međutim, to nije nužno slučaj ako postoji barijera za sprječavanje isparavanja između betona i okoliša.		
b) Takve ploče zahtijevaju dodatnu površinsku zaštitu kao što je sloj za prekrivanje pukotina.		
*) Prvi nži razred čvrstoće ako se odabire aerirani beton za rezrez XF.		
*) Vidjeti HRN EN 206-1 tablicu 2 za graniczne vrijednosti komponentata, sastava i svojstva betona.		

27

KEMIJSKA KOROZIJA - INDIKATOR TRAJNOSTI

- PROPUSNOST - proces pri kojem tvari prelaze iz jednog dijela materijala u drugi uslijed hidrauličkog gradijenta.



28

VODOPROPUSNOST - laboratorij

- Voda se pod određenim tlakom pušta u ćeliju u određenom vremenskom periodu
- Na kraju testa, uzorci su raspoloženi duž promjera radi određivanja prosječnog prodora vode
- Ispitivanje dubine prodiranja vode pod pritiskom vrši se prema normi HRN EN 12930-8

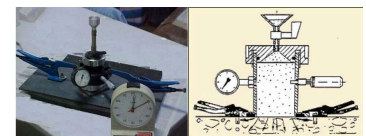


29

VODOPROPUSNOST - teren

$$K_{cp} = \frac{q}{b \left(\frac{\Delta P}{L} \right)} \text{ mm/s}$$

K_{cp} koeficijent propusnosti,
 q protok vode
 b postotak cementne paste (pretpostavka da je agregat nepropustan)
 ΔP primijenjeni pritisak
 L duljina na koju je primijenjen pritisak



30

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Ocjena kvalitete

Razred vodonepropusnosti	Prosječna dozvoljena dubina vode, mm
VDP1	50
VDP2	30
VDP3	15

Indeks vodopropusnosti, mm/s	Otpornost betona
$\leq 1.0 \times 10^{-3}$	Vrlo propusan
$1.0 \times 10^{-3} - 1.0 \times 10^{-4}$	Srednje propusan
$1.0 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-6}$	Slabo propusan
$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-7}$	Nepropusan
$1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-9}$	Izuzetno nepropusan



31

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	Umjereni zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjereni 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); područja prskanja morskom vodom
XF3	Jako zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Otvoreni spremnici za vodu, elementi u području kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom	Prometne površine tretirane sredstvom za odmrzavanje; pretežno vodoravni elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja ¹⁾ ; elementi u području morske plime; mjesta na kojima može doći do struganja u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije
6 Kemijska korozija ²⁾		
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se javlja iz prirodnog tla i podzemne vode kako je dano u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi. Klasifikacija morske vode ovisi o geografskoj lokaciji, na treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.		
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina	Spremnici u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije; spremnici tekućih umjetnih gnojiva
XA2	Umjereni kemijski agresivni okoliš	Betonski elementi u dodiru s morskom vodom; elementi u agresivnom tlu
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Kemijski agresivne vode u postrojenjima za tretiranje otpadnih voda; spremnici za silažu i korita (šjebovi) za hranjenje životinja; rashladni tornjevi i dimnjaci za odvođenje dimnih plinova
7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjereni habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu vozila s pneumatikim gumama na kotačima
XM2	Značno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatikim gumama ili tvrdim gumama na kotačima
XM3	Ekstremno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatikim gumama ili čelječim kotačima; hidrauličke konstrukcije u vrložnim (uzburkanim) vodama (npr. bazeni za destilaciju); površine izložene prometu gusjeničara
¹⁾ Podaci o klasi odnose se na uvjete unutar zaštitnog sloja. Može se očekivati pretpostaviti da su uvjeti unutar zaštitnog sloja isti kao uvjeti okoline kojem je element izložen. Međutim, to nije nužno slučaj ako postoji barijera za sprječavanje isparavanja između betona i okolice. ²⁾ Takve ploče zahtijevaju dodatnu površinsku zaštitu kao što je sloj za prekrivanje pukotina. ³⁾ Prvi i drugi razred čestode ako se odabire avirani beton za razred XF. ⁴⁾ Vidjeti HRN EN 206-1 tablicu 2 za granlične vrijednosti komponenta, sastava i svojstva betona.		

32

HABANJE – INDIKATOR TRAJNOSTI

- Povećanje zaštitnog sloja:
 - XM1 za 5 mm
 - XM2 za 10 mm
 - XM3 za 15 mm
- Otpornost na habanje prema HRN EN 1097-1, HRN EN 1338, HRN EN 1339

Razred habanja	Maksimalna dozvoljena količina obrušenog materijala, cm ³ /50cm ²
XM1	25
XM2	21
XM3	18

33

ZAHVALJUJEM NA PAŽNJI!

abaricevic@grad.hr

34

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
 UNIVERSITY OF ZAGREB
 FACULTY OF CIVIL ENGINEERING


100
Godina
Years


Practical application of on-site durability testing for Reinforced Concrete structures – South African case studies



Presenter: Emer. Prof. Mark Alexander (UCT)
Acknowledgments: Ms Gladwell N'ganga, MSc (Eng) (UCT)












1

1

Presentation outline

1. Introduction & background
2. DI performance-based approach: basics and implementation
3. Implementation of DI tests on site: early studies
4. Closure


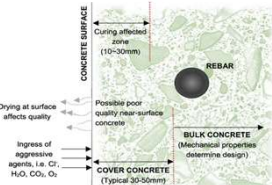







2






2

Introduction & background

- Lack of durability in reinforced concrete structures – a worldwide concern
- Durability of RC dependent on quality of concrete cover – resistance to the ingress of aggressive fluids from external environment






- Results in high costs of repairs and maintenance






3

3

Introduction & background

- Current approach to specifications: largely prescriptive.
 - Limitations are:
 - Parameters are difficult to practically verify e.g. w/c ratio
 - Quality based on a measure of strength which does not provide an indication of concrete cover quality
- 'Durability indicators' are being developed to provide performance measures for concrete structures
 - e.g. Andrade et al. (2005), Baroghel-Bouny (2002), Alexander, Ballim & Stanish (2008)
- A shift to a performance-based approach is considered essential to improve quality of as-built structures

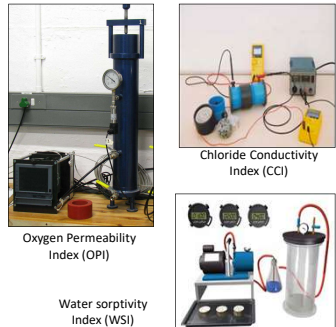





4






4

The DI performance-based approach

A Durability Index (DI) is

- a quantifiable engineering parameter that characterises concrete durability (quality)
- sensitive to material, processing, and environmental factors, and
- based on measurement of transport properties of the cover layer - lab or in-situ concrete









5






5

The DI performance-based approach: basics and implementation

The SA Durability Index (DI) approach is an 'integrated' one, in which DIs are used as follows:

- As measures of quality of as-built construction (Quality Control); hence, for implementing appropriate payment regimes
- As a means of specifying durability (Performance Specification)
- For modelling concrete deterioration (carbonation and chloride kinetic relationships)
- For assessing remaining service life (in certain cases)








6

6

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

The DI performance-based approach

- DI performance-based approach considers a two level approach: verification of test result by (a) concrete supplier (material potential) and (b) contractor ('as-built' value)

Figure illustrates two-level approach for oxygen permeability index

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
100 Godine
7

7

Implementation of DI tests on site: Early studies

Gouws (2001):

- Reports on first site application of DI tests from study undertaken in 1996.
- Objective of the study was to determine if valid test results can be obtained from site structures
- DI testing carried out on structures from 6 construction sites with tests done on samples from these sources:
 - Wet cured cubes (control samples)
 - Actual structure
 - Samples from ready mix concrete suppliers

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
100 Godine
8

8

Implementation of DI tests on site: Early studies

Gouws (2001) - Observations:

- Site DI results exhibited greater variability than wet-cured samples, indicating effect of construction practices (placing, compaction, curing)
- RMC results exhibited less scatter than site samples, indicating good control exercised in batching and mixing by RMC supplier
- In some cases DI test results from site surpassed those of wet cured cubes, indicating that if proper control in construction practices is undertaken suitable test results can be obtained.

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
100 Godine
9

9

Implementation of DI tests on site: Early studies

Alexander et al (1997)

- Study to evaluate the use of DI tests in measuring curing efficiency on site.
- Test samples obtained from reinforced concrete median barrier of N2 National road near Cape Town.
- Curing method used on site was application of curing compound.
 - Samples obtained in two periods:
 - hot dry summer period
 - autumn season with mild temperatures.

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
100 Godine
10

10

Implementation of DI tests on site: Early studies

Alexander et al (1997)

- Samples obtained from:
 - Wet cured samples (control)
 - Median barrier with curing compound
 - Median barrier with no curing compound applied

Curing Condition	Feb	Apr
Wet cured	~10.2	~10.1
Curing Compound	~8.5	~8.6
No curing	~8.4	~8.7

- Figure illustrates the effect of curing methods and seasons on DI test values.
- Higher OPI values in April with no curing – indicates 'barrier' effects of curing compound

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
100 Godine
11

11

Implementation of DI tests on site: Early studies

Du Preez (2004)

- Study of site-based DI tests in marine conditions - East London Harbour.
- Objective was to determine if suitable DI test values can be obtained on site, and curing methods best suited to ensure durability

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
100 Godine
12

12



STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12

„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“





Implementation of DI tests on site: Early studies

Du Preez (2004)

- Samples were obtained (at 28 and 120 days) from slabs with the following curing methods:
 - Hessian, curing compound, wet sand, no curing (Hessian and wet sand removed after 5 days curing):

Curing methods used on slab samples

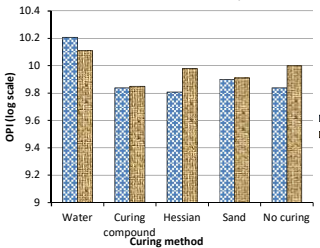




13

13

Implementation of DI tests on site: Early studies





Du Preez (2004)

- Observations from the study



- Binder type was CEM I/FA. The OPI values increased with age.
- The OPI values are higher where no curing compound is used – in a 'benign' curing environment!
- This indicates the membrane effect of the compound which prevents additional curing from environment

Figure illustrates effect of different curing methods on OPI values





14

14





Implementation of DI tests on site: Early studies

Ronné (2000)

- Study aimed at establishing manufacturing quality of precast box culvert units. Quality of concrete cover assessed using DI tests
 - Concrete mix: 30% fly ash
 - Three manufacturers A,B,C
- DI tests on wet-cured samples to characterize mixes

Manufacturers	OPI	WSI	CCI
	log scale	mm/vhr	mS/cm
A	10.44	5.7	1.07
B	10.58	4.1	0.67
C	10.41	5.5	0.73

- Table summarizing the results
 - Wet-cured cubes on the right





15

15





Implementation of DI tests on site: Early studies

Ronné (2000)

- Results also obtained from actual precast units for the three manufacturers.
- Different construction methods used:
 - Manufacturers A and B – shutter vibration and accelerated steam curing
 - Manufacturer C – hand held vibrators and curing compound

Manufacturer	OPI	WSI	CCI
	log scale	mm/vhr	mS/cm
A	9.65	5.1	1.21
B	10.08	4.6	0.72
C	10.08	6.0	1.21

- Table summarizing the results
- DI values from actual units generally poorer than those of wet cured samples – effect of construction practices on quality.









16

16

Implementation of DI tests on site: Early studies


Ronny (2010)

- Study to review provisions in SANRAL specifications with respect to source of obtaining samples
- Study carried out on 5 construction projects in KwaZulu Natal
- Sources of samples were:
 - Trial panels
 - Cubes (wet-cured in lab and air-cured on site)
 - Actual structure






17

17


Implementation of DI tests on site: Early studies




Casting of cubes for durability testing







Extracting cores from precast beams



Curing of horizontally cast trial panels



Casting of vertical trial panels





18

18

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12

„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Implementation of DI tests on site: Early studies

Ronny (2010)

Observations from the study:

- DI test results from cube samples better than from actual structure, indicating cubes do not provide representative DI test values.
- No correlation between DI values from cubes and those from actual structure.
- A comparison of strength and durability results indicated the two are not related.
- Site engineers indicated that the use of trial panels was useful to set a benchmark before construction commences.

19


19

Implementation of DI tests on site: Early studies

Ronny (2010)

Recommendations from the study:

- Eliminate the use of cubes and use test panels (similar to trial panels in manufacture).
- Change size of trial panel ($1 \times 1 \times 0.15$ m thick) to smaller size ($0.6 \times 0.4 \times 0.15$ m thick) – larger size too bulky and difficult to transport.
- Introduce environmental exposure classes adapted from EN 206-1 and modified to suit South African environmental conditions.



20

20

Implementation of DI tests on site: Early studies

Beushausen et al. (2010)

- Study to evaluate effect of DI performance-based specifications on quality of precast units.
- DI test values obtained from 3 precast manufacturers supplying units for upgrades of Gauteng freeways, and Provincial road in Cape Town.
- Test samples represented 1% of precast units manufactured.
 - Sample size: 122 data sets representing approximately 12,000 units.

21

21

Implementation of DI tests on site: Early studies

Beushausen et al. (2010)

Observations from the study:

- The implementation of DI tests improved the construction processes e.g. one manufacturer installed new water curing facilities
- The average OPI value complied with the limit value in specifications
- Percentage of defectives was low at 2.6%, 4.7% and 12.5% for the three manufacturers, indicating good quality control.
- Implementation of the DI performance approach resulted in improved quality of precast units.



22

22

Implementation of DI tests on site: Later studies

Major Implementation:

- DI approach implemented by the South African National Roads Agency Limited SOC (SANRAL) in the Gauteng Freeway Improvement Project (GFIP)

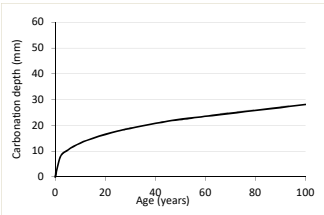
- GFIP: upgrading 185 km road network - additional lanes, improvement and construction of interchanges, median barriers

23

23

Application of DI tests in service life design

- Application of DI tests in service life design using the multi-factor approach that considers exposure conditions, binder type, cover depth and service life (Alexander et al., 2008)



Carbonation prediction for:

- Dry inland exposure
- Binder – plain PC
- OPI value = 9.70

24

24

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“


Application of DI tests in service life design

- Limiting DI values are provided using either 'deemed-to-satisfy' approach, as given in table below, or 'rigorous approach'.
 - Table below for marine concretes – chloride ingress

E.g. Maximum chloride conductivity values (mS/cm)

EN 206-1 Class	70:30 CEM I: Fly ash	50:50 CEM I: GBBS	50:50 CEM I: GGCS	90:10 CEM I: CSF
XS1	2.50	2.80	3.50	0.80
XS2a	2.15	2.30	2.90	0.50
XS2b, XS3a	1.10	1.35	1.60	0.35
XS3b	0.90	1.05	1.30	0.25

- Rigorous approach requires expertise in application and is for exceptional structures.



25

25

Provisions in SANRAL (South African National Roads Agency)

- 'Class W' structures: meet durability criteria (limiting DI, cover depth), and strength
- Limiting DI values, and reduction in payment criteria, given in table (SANRAL, 2008)

	Oxygen Permeability Index	
	OPI (log scale)	Percentage payment
Full acceptance	> 9.70	100%
Conditional acceptance ^a	> 9.25 ≤ 9.70	85%
Conditional acceptance ^b	≥ 8.75 ≤ 9.25	70%
Rejection	< 8.75	Not applicable



26

26

GFIP studies - Nganga (2013)

N'ganga (2012)

- Study to evaluate practicality of the DI performance-based approach, by considering:
 - Extent of variability in test results
 - Applicability of the test in laboratories
 - Perception of resident engineers on the approach
- Source of data obtained from:
 - GFIP work packages
 - Questionnaires sent out to resident engineers
 - Review of a laboratory audit rep


27

27

GFIP studies - Nganga (2013)


N'ganga (2012)

- Statistical summary (OPI):

Project ID	n	OPI (log scale)					Proportion of defectives %
		Mean	Max	Min	s	CoV (%)	
1	172	9.75	10.41	9.07	0.28	2.84	40.1
2	94	9.91	10.41	9.07	0.28	2.84	8
4	116	9.87	10.41	9.07	0.28	2.84	1
6	91	10.06	10.41	9.07	0.28	2.84	4
9 (precast)	132	10.25	10.41	9.07	0.28	2.84	

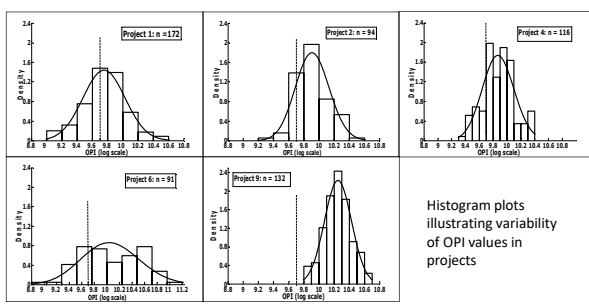
✓ All mean OPI values comply with limit value of 9.70
 ✓ Variability and proportion of defectives lowest for precast samples
 ✓ Better control exercised in precast unit manufacture than for in-situ construction

- Project 1, 2, 4, 6: in-situ samples; Project 9 - precast element samples.



28

28

GFIP studies - Nganga (2013)



Histogram plots illustrating variability of OPI values in projects


29

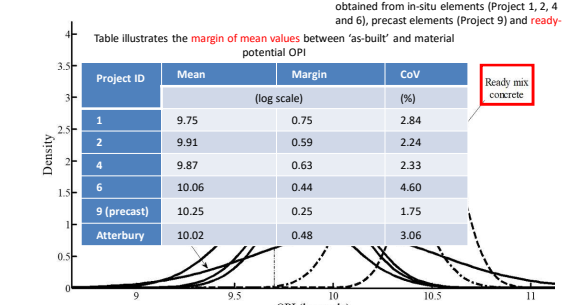
29


GFIP studies - Nganga (2013)

Figure illustrates the comparison of OPI values obtained from in-situ elements (Project 1, 2, 4 and 6), precast elements (Project 9) and ready-mix concrete.

Table illustrates the margin of mean values between 'as-built' and material potential OPI

Project ID	Mean (log scale)	Margin (log scale)	CoV (%)
1	9.75	0.75	2.84
2	9.91	0.59	2.24
4	9.87	0.63	2.33
6	10.06	0.44	4.60
9 (precast)	10.25	0.25	1.75
Atterbury	10.02	0.48	3.06




30

30

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12

„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Applicability of DI performance-based approach

- Perception of resident engineers on DI approach
 - Difficulties encountered in manufacture of test panels that were generally poorly handled on site
 - Poor quality in test panels e.g. variation in thickness
 - Difficulties in transport of panels due to their large size and poor communication between laboratory and site staff
 - Some REs felt that approach had no effect on construction practices while others felt that with the approach, stricter controls in construction practices were exercised
- Comparison of OPI values and strength:
 - One RE indicated that concrete mixes had been altered and had higher cement contents resulting in higher strength to comply with DI requirements

Comparison of OPI with strength

OPI (log scale)

Compressive strength (MPa)

Higher strength does not result in lower OPI values
Strength not related to durability

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB
100
Godina

31

Summary

- Durability of RC structures dependent on quality of concrete cover
- Durability indexes form the basis of the performance approach developed in South Africa
- Durability indexes can be applied on site and valid test results can be obtained
- From the case studies, strength is not related to durability
- The implementation of DI-based performance specifications has resulted in improved construction practices

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB
100
Godina

32

Closing remarks

- Developments in on-site durability testing in SA over a period of 15 years reviewed.
- Based on the locally developed DI tests and the associated approach to durability design and specification.
- Results show the approach can detect construction-related effects on as-built concrete quality.
- DI testing on site shown to be both practical and implementable on a large scale
- Work remains to formalise and codify the approach in local standards, and to further refine the conformity criteria

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB
100
Godina

33

Thank you!
Hvala vam!

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB
100
Godina

34

References

- Andrade, C. and Izquierdo, D. (2005). 'Benchmarking through an algorithm of repair methods of reinforcement corrosion: the Repair Index Method. Cement & Concrete Composites', 27(6): 727-733.
- Baroghel-Bouny, V. (2002). 'Which toolkit for durability evaluation as regards chloride ingress into concrete? Part II: Development of a performance approach based on durability indicators and monitoring parameters'. In Proc. 3rd Int. RILEM Workshop: Testing and modelling chloride ingress into concrete, Madrid, Spain, 2004. Eds. C. Andrade and J. Kropp, Bagnoux: RILEM Publ., PhD 38: 137-163.
- Baroghel-Bouny, V. (2004). 'Durability indicators: a basic tool for performance-based evaluation and prediction of RC durability'. In Proc. Int. Seminar on Durability and Life-cycle Evaluation of Concrete Structures, Japan, 2004. Eds. R. Sato, Y. Fujimoto and T. Dohi, Univ. of Hiroshima, 13-22.
- Gouws, S.M., Alexander, M.G. and Maritz, G. (2001). Use of durability index tests for the assessment and control of concrete quality on site. Concrete Beton 98(4): 5-16.
- Alexander, M.G., Mackechmie, J.R. and Hoppe, G.E. (1997). Measures to ensure effective curing and concrete durability during construction. 15th Annual Transportation Convention, Pretoria.
- du Preez, A.A. and Alexander, M.G. (2004). A site study of durability indexes for concrete in marine conditions. Materials and structures. 37(4):146-154.
- Romné, P.D. (2000). The durability of precast concrete elements. MSc. thesis. University of Cape Town.
- Alexander, M.G., Ballim, Y. and Stanish, K. (2008). A framework for use of durability indexes in performance-based design and specifications for reinforced concrete structures. Materials and structures. 41(5):921-936.
- Romny, R. (2010). Adequacy of durability specifications for concrete bridges on national roads in South Africa. MSc. Thesis, Faculty of Engineering, University of KwaZulu-Natal.
- SANRAL. (2008). Generic contract Document for construction. Volume 3. Pretoria.
- Beushausen, H., Knecht, I., Alexander, M., Schubert, K. Performance-based durability control for precast concrete elements. The 3rd Int. Congress May - June 2010, Washington, USA.
- Nganga, G.W. (2011). Practical implementation of the durability index-based performance approach. MSc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Cape Town.

UNIVERSITY OF CAPE TOWN
CoMSIRU
UNIVERSITY OF ZAGREB
100
Godina


35

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Inspection of Concrete Structures by Nondestructive Evaluation (NDE) Technologies: Importance of Baseline Measurements

Nenad Gucunski
Civil and Environmental Engineering
Center for Advanced Infrastructure and Transportation (CAIT)

Workshop "The Importance of Designing Concrete Durability to Ensure the Durability of Concrete Structures"
Građevinski Fakultet Zagreb, October 18, 2019



1

Concrete bridges are....beautiful!




2

But they also deteriorate with time!



3

What are the most effective and economical ways to retain high bridge performance?



- Prevention
- Diagnostics
- Early intervention
- Overall health monitoring

→

- Better lives
- Longer lives
- Financially sounder lives

Nondestructive Evaluation, Structural Health Monitoring, Visual Inspection, Physical Sampling and Testing

4

NDE and SHM of Bridges



5

Why bridge decks and what are the issues with the assessment of their performance?

- Concrete decks, due to their more direct exposure to environmental and traffic loads, deteriorate faster than other bridge components.
- Relationships between numerous factors: traffic load, climate conditions (and related maintenance practices), age, reinforcement type and protective layers, supporting superstructure, etc., and performance not well defined.
- Can we improve our understanding and, thus, the bridge management through a complementary use of NDE and SHM, and other technologies?
- How much of detected damage can be attributed to deterioration processes, and how much to construction deficiencies?

6

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“

Outline

- **Beneficial use of NDE technologies**
 - Accurate and quantifiable condition assessment
 - Deterioration progression monitoring through periodical surveys
 - Identification of primary causes of deterioration
- **Challenges in deterioration and predictive modeling**
 - Knowledge creation through accelerated structural testing, and joint NDE and SHM
 - Importance of baseline measurements
- **Challenges in quantification of effects of different contributing factors on the deck performance**
 - Assessment of effects of supporting superstructure through dynamic testing using large mobile shakers (global NDE)

7

Beneficial Use of NDE Technologies

8

Reinforced Concrete Deterioration Types of Primary Interest

9

What should be the right approach in periodical assessment by NDE technologies?

Bridge Deck Condition

10

Electrical Resistivity and Half-Cell Potential

11

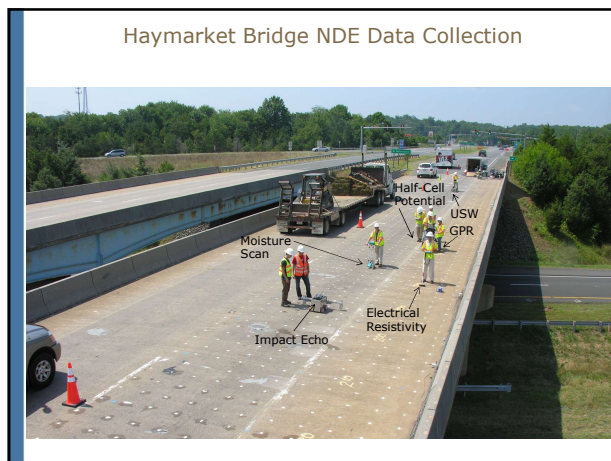
Impact Echo Testing Using Stepper and IE Cane

12

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH
 GRAĐEVINA“



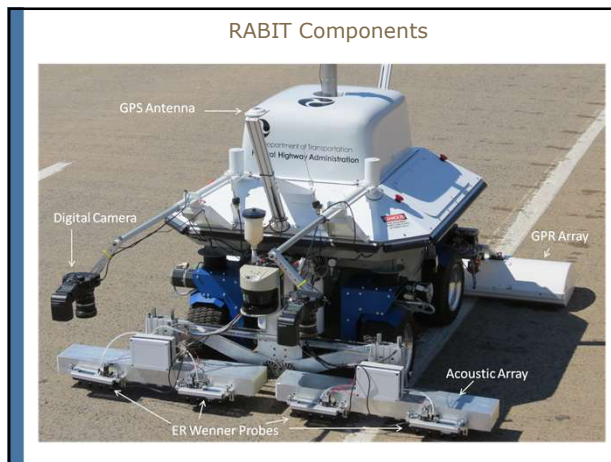
13



14



15



16

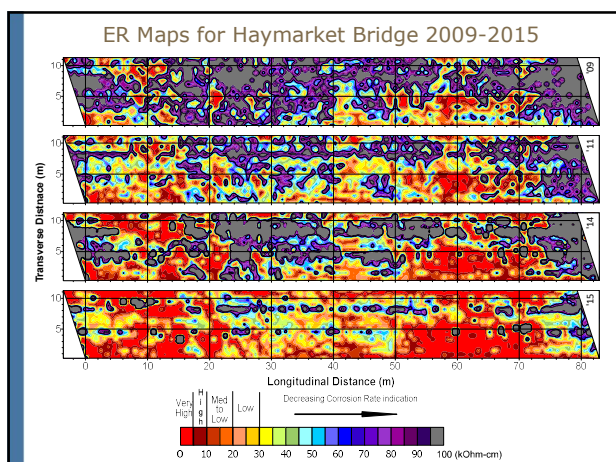


17

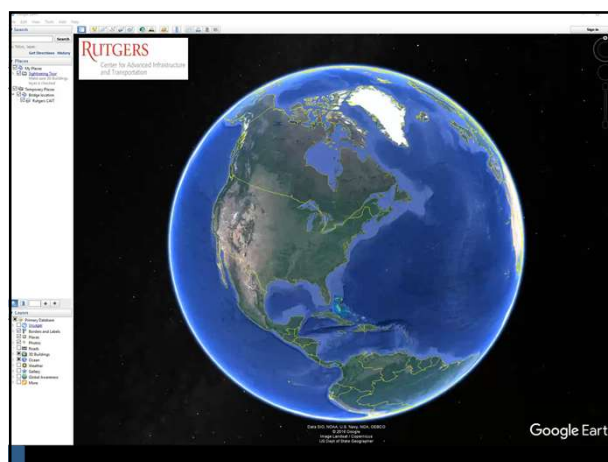


18

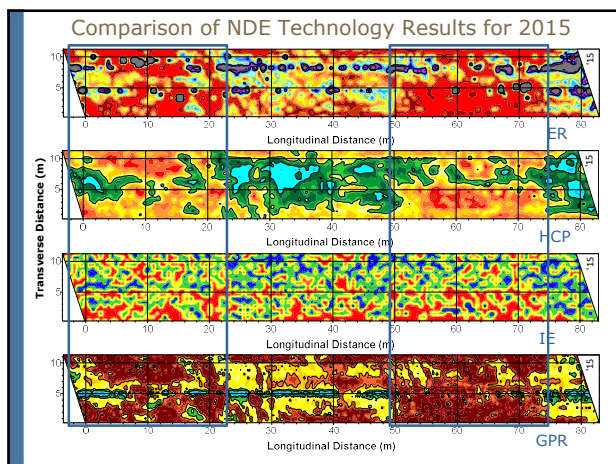
STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“



19



20



21

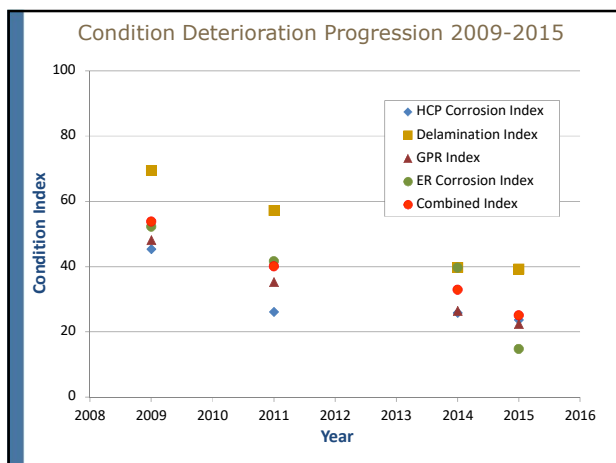
Condition Indices and Percentages of Deck Area in Different States for ER and HCP

NDE Technology	Year	Condition Index	Percentage of Deck Area		
			90% Probability of Corrosion	Transition	90% Probability of No Corrosion
Half-Cell Potential	2009	45.4	30	49	21
	2011	26.1	51	46	3
	2014	25.8	57	34	9
	2015	23.7	60	32	8
Electrical Resistivity	2009	52.2	28	39	33
	2011	41.6	40	38	23
	2014	39.7	52	17	31
	2015	14.7	78	14	8

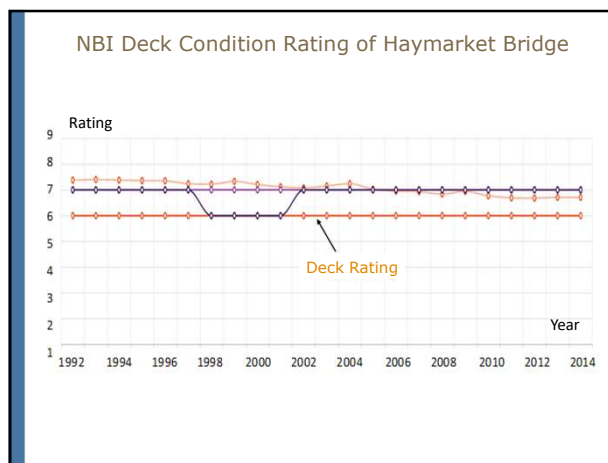
$$\text{Active Corrosion (HCP) Condition Index} = \frac{A_{90\% \text{ Sound}} \times 100 + A_{\text{Transition}} \times 50 + A_{90\% \text{ Corrosion}} \times 0}{A_{\text{Total}}}$$

$$\text{ER Condition Index} = \frac{A_{\text{Very Low}} \times 100 + A_{\text{Low}} \times 50 + A_{\text{High}} \times 0}{A_{\text{Total}}}$$

22

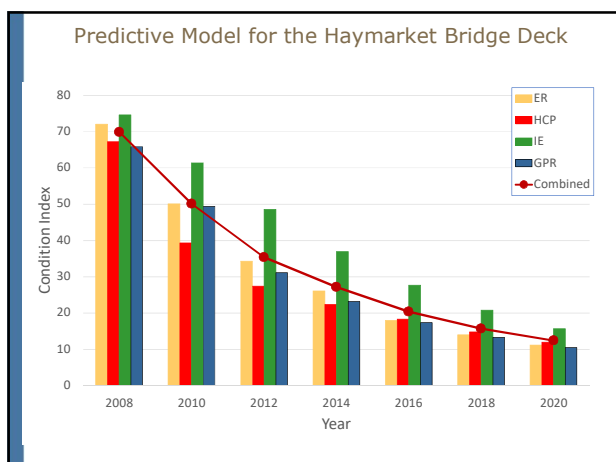


23



24

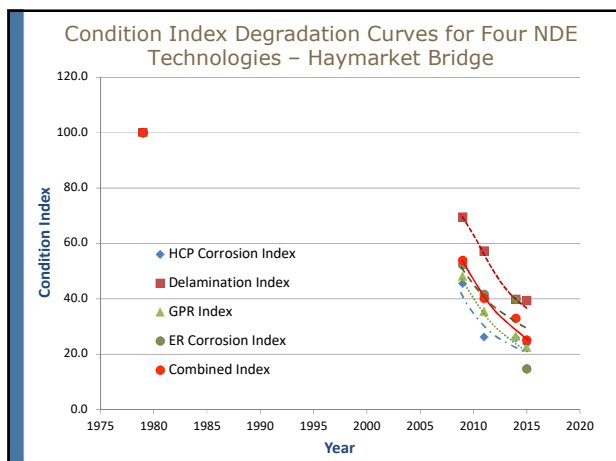
STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“



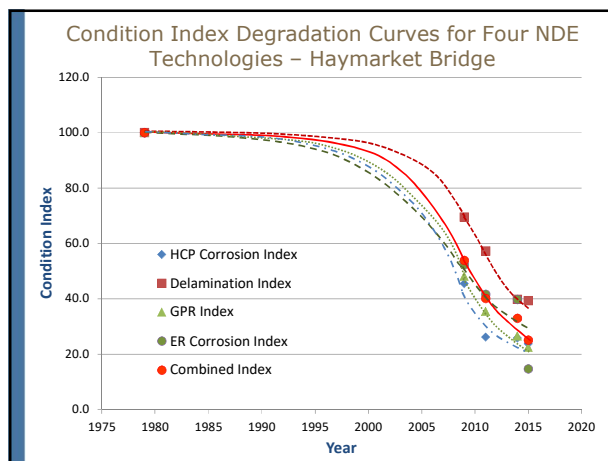
25

Challenges in Deterioration and Predictive Modeling

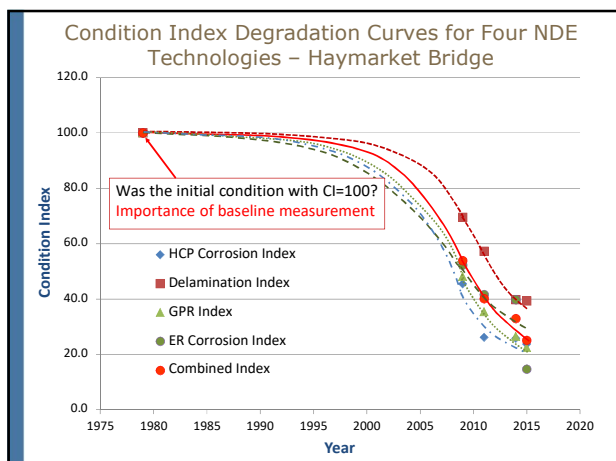
26



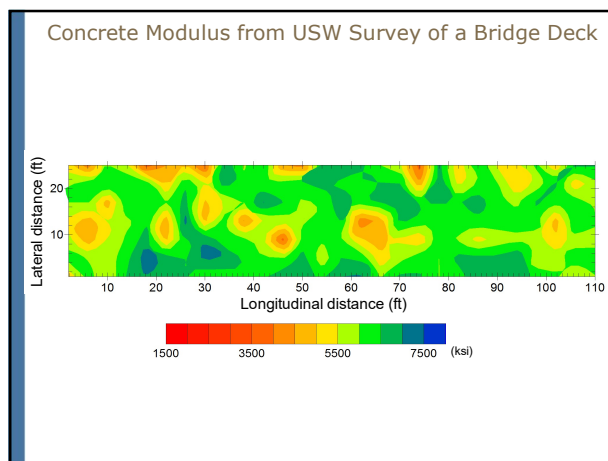
27



28

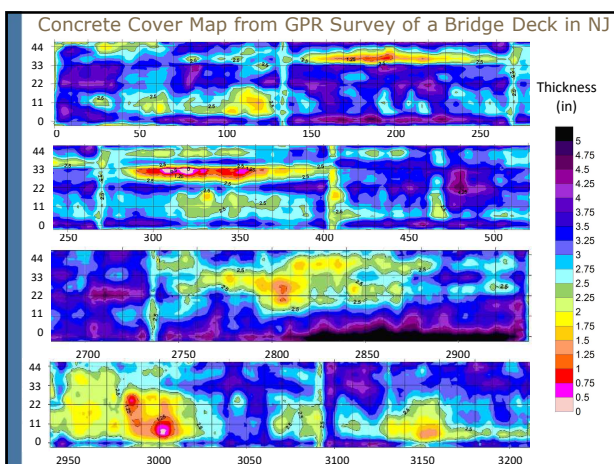


29

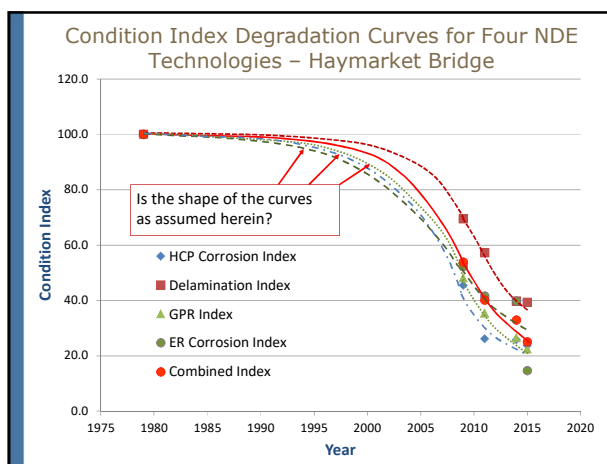


30

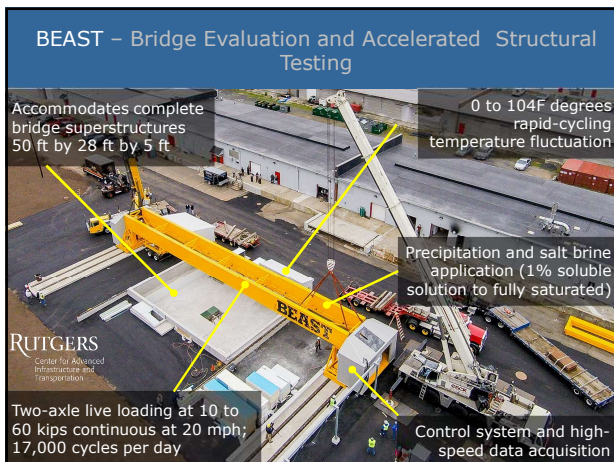
STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“



31



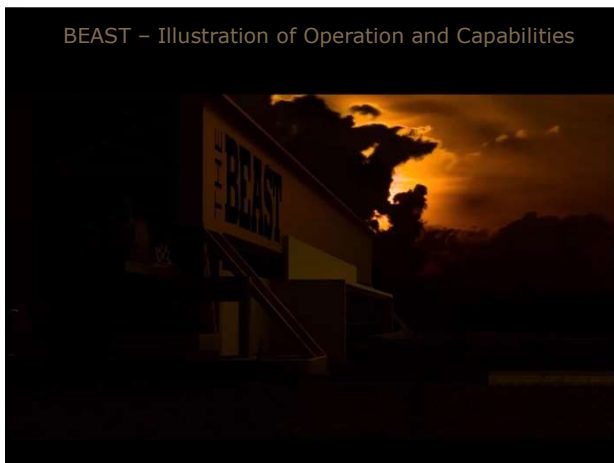
32



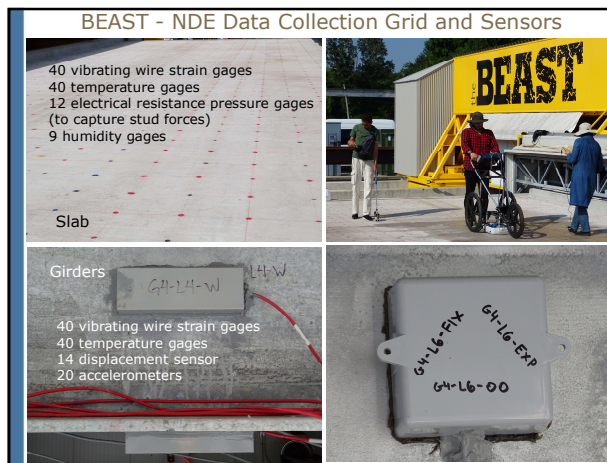
33



34

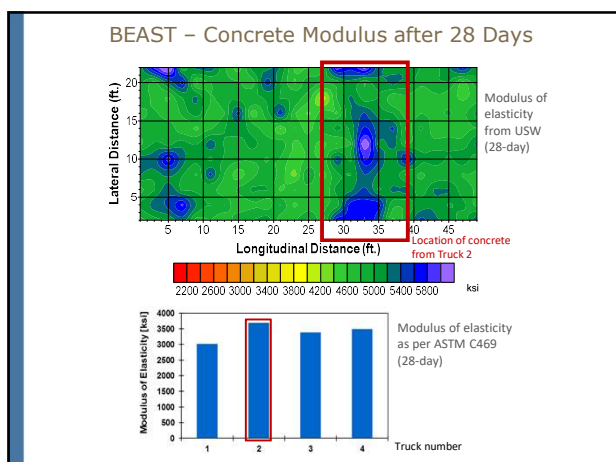


35

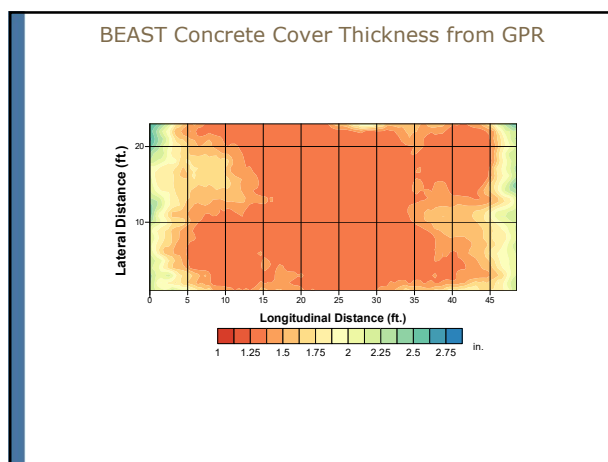


36

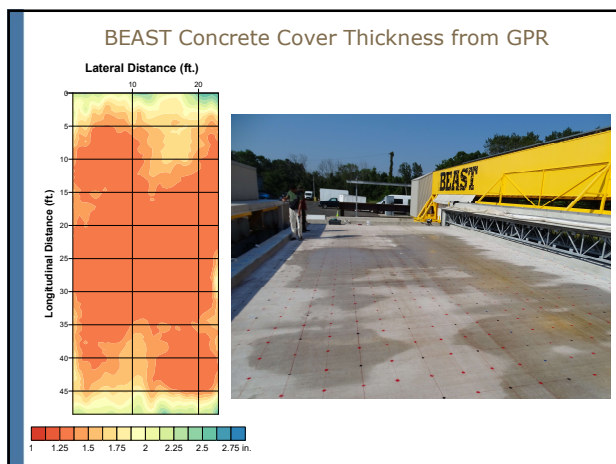
STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12 „VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“



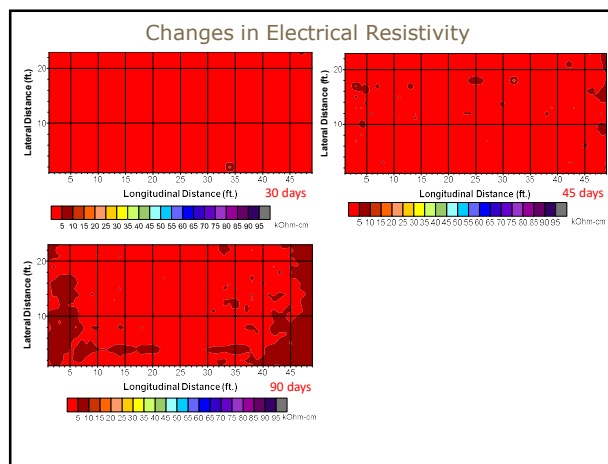
37



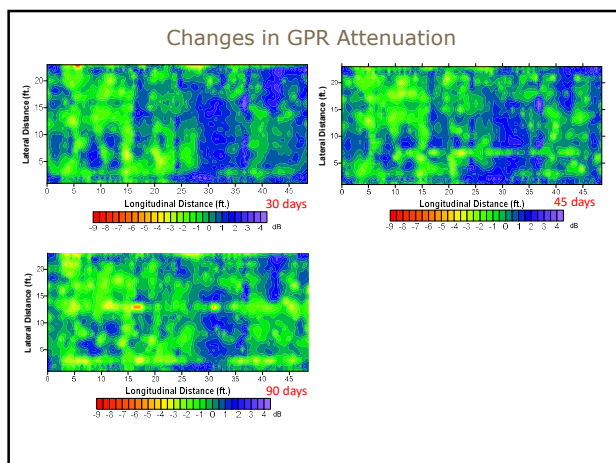
38



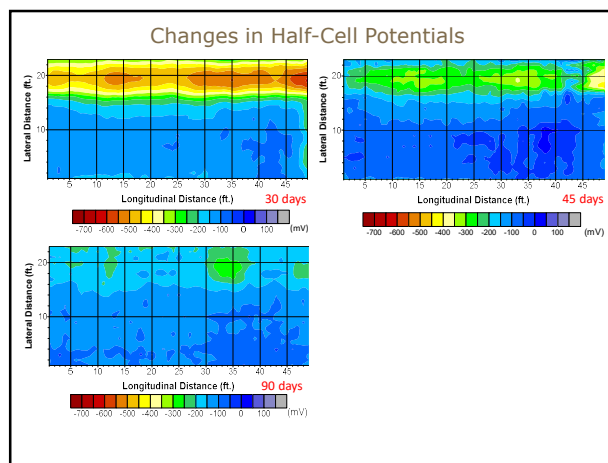
39



40

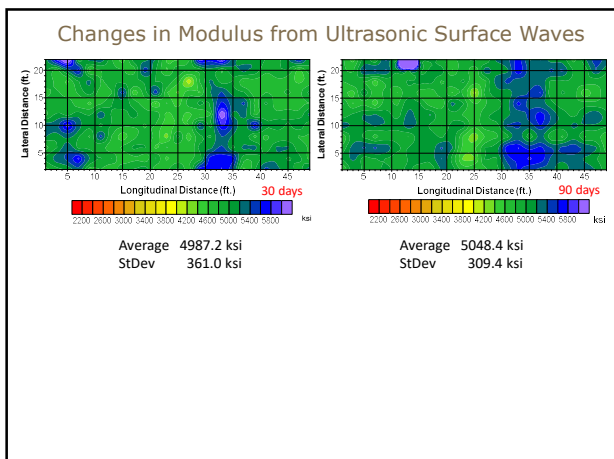


41



42

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH GRAĐEVINA“



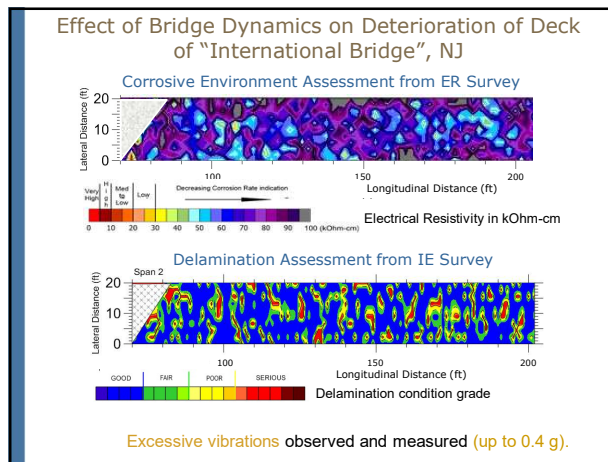
43

Challenges in Quantification of Effects of Different Contributing Factors on Deck Performance

44



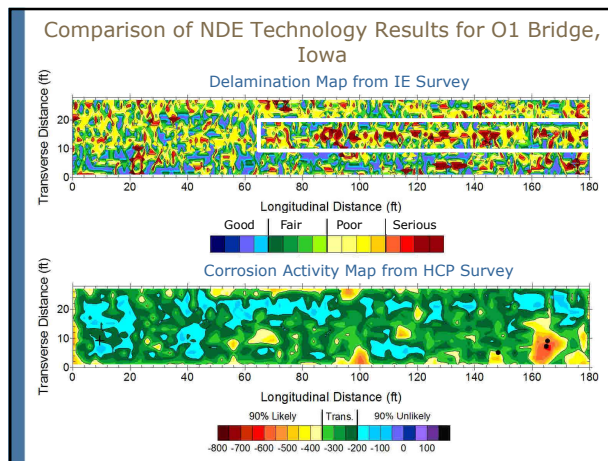
45



46

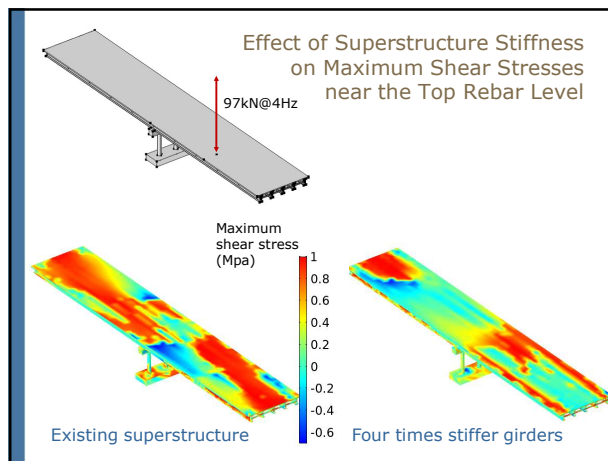


47



48

STRUČNO USAVRŠAVANJE M-12
„VAŽNOST PROJEKTIRANJA TRAJNOSTI BETONA ZA OSIGURANJE TRAJNOSTI BETONSKIH
GRAĐEVINA“



50

Conclusions

- There have been a number of **successes in the application of NDE** technologies in the condition assessment and monitoring of bridge decks.
- We should think not in terms of competing, but **complementary technologies**, and concentrate on their most effective joint use for better bridge management.
- The **significance of all factors of interest** on the deterioration and defect formation in concrete decks not fully understood yet. This also includes the **effect of initial characteristics/quality** of the constructed deck and overall bridge structure.
- **Accelerated structural testing** opens opportunities for the development of fundamental understanding of deterioration mechanisms and progression in concrete bridge decks.

51



52