

Mostovi III – proračun životnog vijeka mostova

prof.dr.sc. Jure Radić, dipl.ing.građ.

dr.sc. Goran Puž, dipl.ing.građ.

dr.sc. Jelena Bleiziffer, dipl.ing.građ.



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Sadržaj

Sadržaj – 1. dio, načela i teorija:

1. Uvod i regulativa
2. O proračunskim modelima
3. Životni vijek građevine
4. Modeli prodora klorida
5. Modeli karbonatizacije
6. Modeli zamrzavanja



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Uvod i regulativa

Uvod

Proračuni deformacija, nosivosti i stabilnosti – definirani i precizirani u načelima tehničke mehanike.

Proračun trajnosti – propisuje se iskustvenim pravilima i zanatskim mjerama.

Betonske konstrukcije – poseban problem.

Dva osnovna problema:

- Projektiranje novih AB konstrukcija zadanog životnog vijeka
- projektiranje popravaka konstrukcija kod kojih su beton i armatura degradirali

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Uvod i regulativa

Novi pristup:

Projektiranje trajnosti – što je to?

Što znači projektirati?

- Odrediti opterećenja iz okoliša
- Odrediti parametre materijala
- Odabrati proračunski model
- Odrediti kriterije graničnog stanja
- Odabrati faktore sigurnosti

Kod projektiranja trajnosti niti jedan od ovih podataka nije riješen na opće prihvatljiv način, premda su razrađeni inženjerski modeli.

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Uvod i regulativa

Regulativa - TPBK:

Betonske konstrukcije treba projektirati i izvesti tako, da pod očekivanim utjecajima okoliša njihova sigurnost i uporabljivost ostane tijekom uporabnog vijeka građevine bez zahtjeva za velikim troškovima održavanja i popravaka. Uporabni vijek: najmanje 50 godina

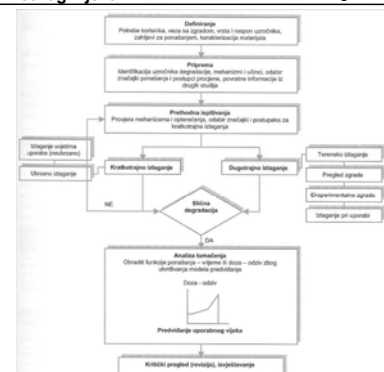
norma: *HRN ISO 15686 Zgrade i druge građevine – Planiranje vijeka uporabe*

Analitičko predviđanje uporabnog vijeka konstrukcija osniva se na procesima degradacije materijala koji su podijeljeni na više stupnjeva s obzirom na razinu oštećenja u ovisnosti o vremenu.

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Uvod i regulativa

Metodologija predviđanja uporabnog vijeka za elemente zgrade



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Uvod i regulativa

Projektiranje sastava betona:

Prethodno ispitivanje i utvrđivanje sastava vezano uz trajnost

- Mehanizam dotrajavanja
- Uporabni vijek
- Kriteriji za kraj uporabnog vijeka

Mehanizmi:

Otpornost na koroziju

Otpornost na smrzavanje i obmrzavanje

Alkalno – silikatna reakcija

Sulfatna agresija

Abrazija

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Uvod i regulativa

Trajnost građevine:

Trajnost građiva ili konstrukcije nije isto što i trajnost građevine!

O čemu ovisi trajnost građevine?

- Projektno rješenje
- Odabir materijala
- Postupak izvedbe
- Razina kontrole kvalitete
- Zaštitne mjere
- Održavanje
- Posebni utjecaji tijekom uporabe

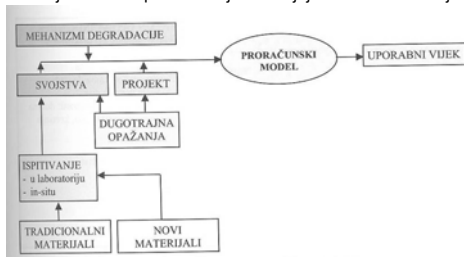


Mostovi III – proračun životnog vijeka

Proračunski modeli

Općenito o proračunskim modelima:

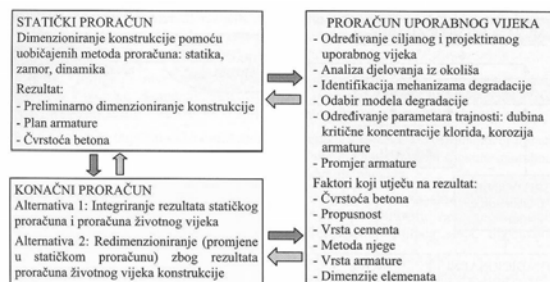
Analičko predviđanje uporabnog vijeka konstrukcija osniva se na procesima degradacije materijala u ovisnosti o vremenu i poznavanju fizikalnih procesa koji se odvijaju u samom materijalu.



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Proračunski modeli

Analogija dimenzioniranja nosivosti i trajnosti konstrukcije

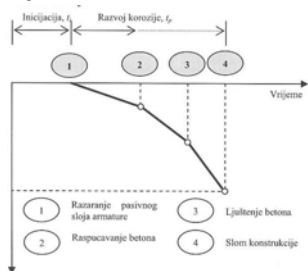


Mostovi III – proračun životnog vijeka

Životni vijek građevine

Životni (uporabni) vijek građevine

- Moramo znati prepoznati događaj koji označava kraj životnog vijeka građevine



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Životni vijek građevine

Ponavljanje: Indikator stanja i planiranje ulaganja

Plan: predviđanje troškova i rokova provedbe

Nove skale za ocjenjivanje - prilagođene za pojedine mehanizme dotrajavanja - SAD 1998.

Stupnjevi impliciraju radove (troškove)

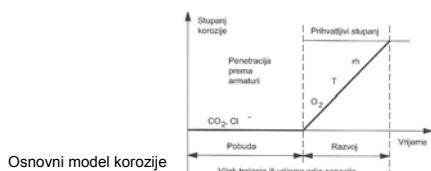
Stupnjevi dotrajivosti				
zaštićeno	izloženo	ugroženo	napadnuto	oštećeno
Armiranobetonski element				
površinski zaštićen	zaštita otkazuje	prodor klorida	aktivna korozija	odlamanje
Čelični element zaštićen bojom				
boja OK	boja se ljušti	mrlije korozije	korozija	gubitak poprečnog presjeka

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Modeli prodora klorida

- prvi model: 1982.
- osnovna zamisao: tijekom oštećenja može se promatrati u dva vremenski neovisna razdoblja:
 - Razdoblje uzbude (inicijacije)
 - Razdoblje razvoja (propagacije)



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Razdoblje inicijacije korozije

Definicija:

Vrijeme proteklo od izgradnje građevine pa do dosezanja kritičnih uvjeta za početak razaranja materijala korozijom.

Stupanj oštećenja u ovom razdoblju jednak nuli!

Fizikalni model:

Jednadžba penetracije agresivnih tvari u beton (difuzija, apsorpcija, protok pod tlakom, migracija)

Proces difuzije Cl⁻ iona:

Jednodimenzionalni nestacionarni proces difuzije u beton, opisan drugim Fickovim zakonom.

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Razdoblje inicijacije korozije

Uvjeti za početak korozije čelika ostvaruju se karbonatizacijom i (ili) saturacijom betona u okolici armature kloridnim ionima.

Odakle kloridi na betonskim elementima mosta?

- Soljenje cesta zimi
- Sol (kloridi) iz mora



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Razvoj procesa korozije

-Vrijeme aktivne korozije za koje stupanj oštećenja građevine doseže razinu sanacije ili razinu otkazivanja nosivosti.

- kraće od vremena uzbude
- dolazi do raspucavanja betona
- olakšava se pristup vlage i kisika armaturi
- ubrzavanje procesa
- kritični stupanj oštećenja

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Modeli prodora klorida

- Teoretski se mogu promatrati vremena različitog intenziteta procesa, što nas navodi na ideju graničnih stanja



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Karakteristična razdoblja tijekom uporabe

1. Razaranje pasivnog sloja armature

Vrijeme inicijacije, vrijeme potrebno kloridima da dođu do armature i izazovu depasivizaciju

Završava kada koncentracija klorida na armaturi dosegne kritičnu vrijednost.

Nije nužno nepoželjno stanje.



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Karakteristična razdoblja tijekom uporabe

2. Pucanje zaštitnog sloja armature

Uzrokuju ga vlačne sile uzrokovane bujanjem produkata korozije armature.

Smanjuje se poprečni presjek armature, javljaju se pukotine.

Pukotine ovise o:

- veličini zahvaćene površine
- veličini korozijskih produkata
- odnosu debljine zaštitnog sloja i promjera armature
- kvaliteti betona
- položaju armature

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Karakteristična razdoblja tijekom uporabe

3. Ljuštenje zaštitnog sloja armature

Korozija napreduje, nakon pukotina slijedi odlamanje ili ljuštenje.

Smatra se nedopustivim stanjem.

Uglavnom ne vodi ka rušenju konstrukcije – granično stanje uporabljivosti.



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli prodora klorida

Karakteristična razdoblja tijekom uporabe

4. Slom konstrukcije

Nastupa u trenutku kada je nosivost uslijed korozije smanjena na određenu razinu.

Uglavnom ne dolazi do sloma, jer:

- se poduzimaju popravci
- je intenzivno oštećenje lokalno ograničeno
- izgled oštećenja upućuje na prestanak korištenja građevine



Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli karbonatizacije

Karbonatizacija kao mehanizam dotrajavanja

Ugljični dioksid u zraku tvori kiselu vodenu otopinu u pomoć vodi koja reagira s cementnom pastom i neutralizira alkalnost betona.

Ako se pH vrijednost površine betona smanji ispod vrijednosti 10, gubi se sposobnost cementne paste da stabilizira pasivni sloj čelika.

Karbonatizacija ne uzrokuje izravnu štetu na konstrukciji, dapače, može djelovati pozitivno.

Međutim, ukoliko karbonatizirani sloj betona dopre do ugrađene armature, dolazi do korozije.

Stupanj karbonatizacije bitno ovisi o vlažnosti.

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli karbonatizacije

Karbonatizacija – otkrivanje i modeliranje

Dubina karbonatiziranog sloja određuje se eksperimentalno, na uzorcima izvađenim iz konstrukcije (može se izmjeriti).

Model karbonatizacije spaja dva procesa: difuziju i vezanje ugljičnog dioksida.

Matematički modeli napredovanja karbonatizacije – probablistički i deterministički.

Granično stanje uporabe: trenutak kada fronta karbonatizacije dosegne razinu armature.

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Modeli karbonatizacije

Karbonatizacija – čimbenici koji utječu na proces

Mikroklima: utjecaj količine kiše

Relativna vlaga u zraku

Koncentracija ugljičnog dioksida

Njega svježeg betona

Ispitna metoda

Zaštitni sloj betona.



Karbonatizacija – nedostaci modela

Modeliranje zanemaruje:

- Različita svojstva vlažnosti karbonatiziranog i nekarbonatiziranog područja
- utjecaj temperature betona
- promjenu otpornosti na karbonatizaciju starog betona
- međudjelovanje karbonatizacije i drugih mehanizama, napose klorida i smrzavanja

Karbonatizacija – primjena modela na postojeće građevine

Opcije istraživanja:

- za poznati sastav betona parametri modela mogu se odrediti iz literature
- dubina karbonatizacije može se izmjeriti
- na uzorcima izvađenim iz konstrukcije mogu se provesti ispitivanja ubrzane karbonatizacije

Modeli zamrzavanja

Degradacija betona zbog zamrzavanja proizlazi iz pojave da led zauzima 9% veći volumen od vode.

Povoljno: voda u kapilarama sadrži topljive tvari koje snižavaju točku ledišta.

U velikim porama dolazi do pojave hidrauličkog tlaka, dok u kapilarnim porama dolazi do djelomičnog zamrzavanja otopina što rezultira osmotskim tlakom.

Oštećenja: pukotine i odlamanje

Utjecaji na oštećenja: sol i vrsta agregata.

Unutarnja oštećenja betona od zamrzavanja

- Nastupa ako je konstrukcija dugo izložena prodoru vode

Opasno za slijedeće konstrukcije:

- Dijelovi koji upijaju vodu iz tla
- Dijelovi u zoni plime i oseke
- Hidrotehničke građevine, brane i sl.
- Konstrukcije u kontaktu s otpadnim vodama.

Posljedice:

- Gubitak tlačne i vlačne čvrstoće
- Gubitak veze betona i armature
- Promjena raspodjela sila u konstrukciji
- Posebno opasno za prednapete sklopove.

Ljuštenje površine betona od zamrzavanja

Zamrzavanje počinje na površini betona

Odmrzavanje omogućuje upijanje novih i većih količina vode – ciklusi zamrzavanja i odmrzavanja uvlače vodu u beton.

Posljedice: ljuštenje površine.


Granično stanje zamrzavanja

Pretpostavlja se da do oštećenja betona uslijed zamrzavanja neće doći ako kapilarno zasićenje ostane manje od kritične vrijednosti zasićenosti.

Faza inicijacije: dosizanje kritičnog zasićenja

Predviđanje zasićenja tijekom vremena u promatranoj konstrukciji je vrlo složen problem, koji se rješava modeliranjem na osnovi laboratorijskih ispitivanja.

Kod primjene u praksi uočava se nesigurnost modela.

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Zaključak

Modeliranje dotrajavanja i proračun životnog vijeka

Za rješavanje problema prognoziranja i predviđanja stanja građevine u nekom budućem trenutku nužno izgraditi teorijski model procesa dotrajavanja (starenja) građevine. Postoje različiti pristupi i mogućnosti za izgradnju teorijskih modela, tako da su opisani teorijski modeli koji služe kao osnova prognoziranja ponašanja objekata podložnih starenju i dotrajavanju.

Glavni mehanizmi razaranja armiranobetonskih konstrukcija ovise o penetraciji neke agresivne tvari iz okoliša u vanjski omotač betonskog elementa

Mostovi III – proračun životnog vijeka

Zaključak

Modeliranje dotrajavanja i proračun životnog vijeka

Fizički, mehanički i kemijski procesi koji upravljaju razaranjem betona i armature mogu se opisati osnovnim prirodnim zakonima, pa se mogu formulirati inženjerski modeli proračuna trajnosti i životnog vijeka AB konstrukcija.

U praksi se nailazi na velike teškoće zbog:

- heterogenosti i poroznosti strukture betona,
- poteškoća oko definiranja i mjerenja relevantnih parametara,
- teškoća u definiranju složenih i kombiniranih djelovanja iz okoliša



Hvala na pažnji.