

IZVEDBA I OBLIKOVANJE KONSTRUKCIJA 2

Prof. dr. sc. Damir Varevac

Proračun prema graničnim stanjima

- Temeljna pretpostavka: ne postoji potpuno sigurna konstrukcija
- Otkazivanje nosivosti vezano je uz vjerojatnost nastupanja nepovoljne kombinacije svojstava materijala, stanja naprezanja i deformacija
- Potpuni probabilistički koncept: sve varijable statistički obraditi i vršiti proračun pomoću funkcija razdiobe vjerojatnosti

Proračun prema graničnim stanjima

- Primjenjuje se *semiprobabilistički* pristup: vrijednost djelovanja će u 95% slučajeva biti manja od S_d , a vrijednost otpornosti će u 5% slučajeva biti manja od R_d

Proračun prema graničnim stanjima

Granična stanja: krajnja stanja pri kojima konstrukcija još zadovoljava projektne zahtjeve

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI	GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI
- Povezano s rušenjem konstrukcije ili drugim načinima otkazivanja nosivosti (gubitak ravnoteže, prekomjerno deformiranje, slom konstrukcije ili nekog elementa, uključujući ležajeve i temelje	- Prekoračenjem ovih stanja nisu ispunjeni uvjeti uporabljivosti: deformiranje i progibi koji utječu na izgled ili predviđeni način uporabe, šteta na površini betona ili nenosivim elementima, vibracije koje uzrokuju nelagodu, pukotine koje utječu na izgled, trajnost ili vodonepropusnost

Trajnost AB konstrukcija

- *Trajnost*: sposobnost konstrukcije da održi projektiranu razinu sigurnosti i uporabljivosti tijekom uporabnog vijeka
- *tehnički uporabni vijek*: razdoblje u kojem su uporabna svojstva konstrukcije iznad minimalno prihvatljive razine, uz redovito održavanje
- *ekonomski uporabni vijek*: smije biti kraći od tehničkog uporabnog vijeka, određuju ga drugi čimbenici

Trajnost AB konstrukcija

- Dva pristupa projektiranju trajnosti:

IMPLICITNO PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI	EKSPLICITNO PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI
- Obuhvaća odabir odgovarajućeg razreda izloženosti u skladu s namjenom građevine, te daljnje propisane postupke povezane s tim razredom	- Obuhvaća razmatranje svakog pojedinog mehanizma degradacije

Trajnost AB konstrukcija

UZROCI DEGRADACIJE KONSTRUKCIJE	
VRSTA	POJEDINAČNI UZROCI
1. KLIMATSKI FAKTORI	ZRAČENJE (sunčevo, nuklearno, toplinsko) TEMPERATURA (povećanje ili smanjenje, česte promjene) VODA (u krutom stanju – snijeg, led; u tekućem stanju – kiša, kondenzacija, tečenje, zadržavanje vode; u plinovitom stanju – visoka vlažnost) SASTOJCI ZRAKA (kisik, ozon, ugljični dioksid) ONEČIŠĆIVAČI ZRAKA (oksidi dušika i sumpora, aerosoli, soli, kiseline, prašina) SMRZAVANJE/ODMRZAVANJE
	VJETAR

Trajnost AB konstrukcija

UZROCI DEGRADACIJE KONSTRUKCIJE	
VRSTA	POJEDINAČNI UZROCI
2. FUNKCIJSKI FAKTORI	OPTEREĆENJE (trajno, periodično, slučajno) FIZIKALNO DJELOVANJE TEKUĆE VODE I VJETRA PROJEKTIRANI SUSTAV NAČIN UGRADNJE I POSTUPCI ODRŽAVANJA OBIČNO TROŠENJE I HABANJE POGREŠNA UPORABA
3. BIOLOŠKI FAKTORI	RAZNI ORGANIZMI (mikroorganizmi, mahovine i lišaji, školjke i sl.)
4. NESPOJIVOST MATERIJALA	KEMIJSKA FIZIKALNA

Trajnost AB konstrukcija

Faktori o kojima ovisi trajnost:

- 1. Unutarnja svojstva konstrukcije**
- 2. Učinci okoliša**
- 3. Učinci uporabnog opterećenja**
- 4. Održavanje**

Unutarnja svojstva konstrukcije

1. Vrsta i kvaliteta materijala

- homogenost, poroznost, vodopropusnost, plinopropusnost, penetracija, prionljivost, čvrstoća (ponajprije vlačna)
- posebno je važna morfologija pora: sastavom betona i njegovom poboljšava se svojstvo propusnosti

Unutarnja svojstva konstrukcije

2. Odabrana konstrukcija i detalji

- Odabir tipa konstrukcije obzirom na uporabna djelovanja i učinke okoliša
- Konstruiranje detalja i mogućnost zamjene
- Izbjegavati detalje koji svojim propadanjem ubrzavaju propadanje drugih elemenata

Unutarnja svojstva konstrukcije

3. Način i postupci izgradnje

- Izvedba različitih spojeva u konstrukciji – moguće slabe točke
- Neujednačenost materijala u velikim konstrukcijama
- Postupci izgradnje koji izravno utječu na svojstva trajnosti

Unutarnja svojstva konstrukcije

4. Zaštita elemenata konstrukcije

- Impregnacije, premazi, oblaganje

Djelovanja okoliša

1. Djelovanje prirodnih sila i pojava

- Snijeg, vjetar, led, kiša, sunce, temperaturne promjene, morska voda i sl.

2. Umjetna onečišćenja

- Negativni utjecaji koji su posljedica ljudske industrijske aktivnosti

3. Namjerna djelovanja

- npr. soljenje prometnica

IMPLICITNO PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI

- 1. Određivanje prosječnog uporabnog vijeka**
- 2. Određivanje utjecaja (razreda izloženosti)**
- 3. Procjena običnih izdataka za održavanje**
- 4. Određivanje sastava betona i pravila izvođenja**

1. Određivanje prosječnog uporabnog vijeka

Razred	Zahtijevani proračunski vijek [godina]	Primjer
1	1-5	Privremene konstrukcije
2	25	Zamjenjivi dijelovi (ležajevi, štapovi, grede kranskih staza...)
3	50	Konstrukcije zgrada i druge obične konstrukcije
4	100	Mostovi, značajne građevine, inženjerske konstrukcije

2. Određivanje utjecaja (razreda izloženosti) – EN 1992-1-1

Razred izloženosti		Primjeri
1. Suhi okoliš		- unutrašnjost stambenih ili uredskih zgrada
2. Vlažan okoliš	a) bez mraza	- unutrašnjost zgrade s velikom vlažnošću - vanjski elementi - elementi u neškodljivom tlu/vodi
	b) s mrazom	- vanjski elementi izloženi mrazu - elementi u neškodljivom tlu/vodi izloženi mrazu - unutarnji elementi izloženi velikoj vlazi i mrazu
3. Vlažan okoliš s mrazom i sredstvima za odmrzavanje		- unutarnji i vanjski elementi izloženi mrazu s mogućnošću soljenja
4. Morski okoliš	a) bez mraza	- elementi izloženi prskanju morskom vodom ili uronjeni u nju - elementi na zraku zasićenom solju
	b) s mrazom	- elementi izloženi prskanju morskom vodom ili uronjeni u nju - elementi na zraku zasićenom solju izloženi smrzavici
5. Kemijski štetan okoliš	a)	- neznatno kemijski štetan okoliš - štetna industrijska atmosfera
	b)	- umjereno kemijski štetan okoliš
	c)	kemijski vrlo štetan okoliš

3. Procjena običnih izdataka za održavanje

Pri procjeni običnih izdataka za održavanje potrebno je planirati sve postupke koji će se primijeniti na građevini. To obuhvaća:

- zaštita odmah nakon izgradnje (premazi, obloge...)
- uređaji za održavanje
- ugrađeni uređaji i oprema
- troškovi redovitih pregleda i zamjena

4. Određivanje sastava betona i pravila izvođenja

Trajnost konstrukcije ili njezinog elementa
uvjetovana je s:

- trajnošću armature (opasnost od korozije)
- trajnošću betona (smrzavanje, abrazija,
karbonizacija...)

4. Određivanje sastava betona i pravila izvođenja

Sastav betona je glavna mjera zaštite i odnosi se na:

- maksimalni vodocementni faktor
- minimalni sadržaj cementa
- minimalni razred čvrstoće betona (klasa betona)

4. Određivanje sastava betona i pravila izvođenja

Za potrebe određivanja sastava betona konstrukcija/element svrstava se u razrede izloženosti prema normi EN 206-1.

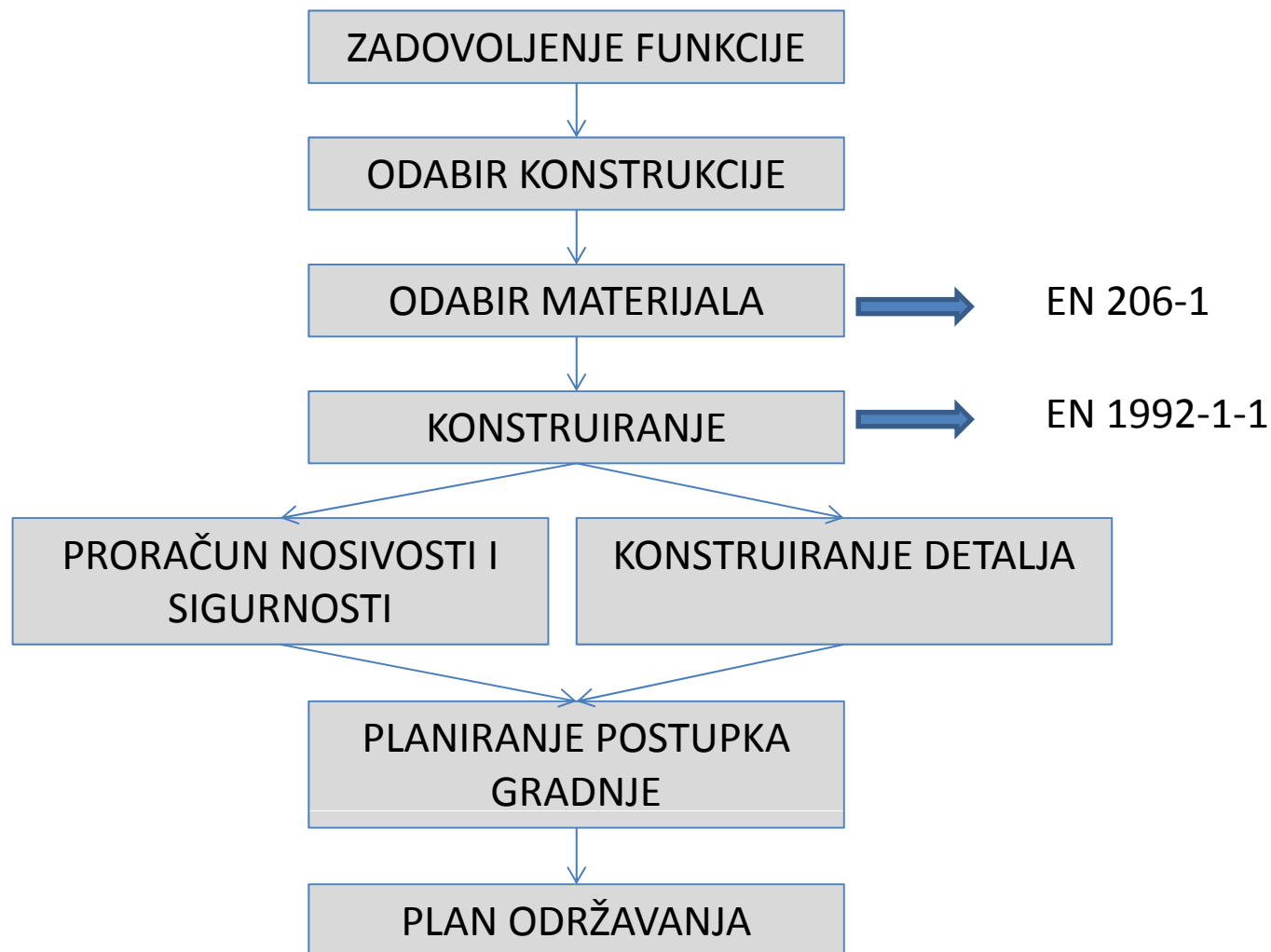
Za svaki X razred propisane su granične vrijednosti v/c , količine cementa [kg/m^3] i razreda čvrstoće.

Oznaka razreda	Opis okoliša	Primjer
1. Nema rizika od korozije		
X0	-beton bez armature, nema smrzavanja ili kemijskog djelovanja -beton s armaturom u vrlo suhom okolišu	elementi unutar građevina s vrlo niskom vlažnosti zraka
2. Korozija prouzročena karbonatizacijom		
XC1	suhi ili stalno vlažni okoliš	elementi unutar građevina s niskom vlažnosti; beton stalno u vodi
XC2	vlažni, rijetko suhi	elementi dugotrajno izloženi vodi; temelji
XC3	umjereno vlažni	elementi unutar građevina s niskom ili umjerenom vlažnosti; vanjski elementi zaštićeni od kiše
XC4	izmjenično vlažni i suhi	elementi u dodiru s vodom, ali ne dugotrajno
3. Korozija prouzročena kloridima, ali ne iz mora		
XD1	umjereno vlažni	elementi izloženi kloridima iz zraka
XD2	vlažni, rijetko suhi	elementi izloženi otpadnim industrijskim vodama; plivališta
XD3	izmjenično vlažni i suhi	dijelovi mostova izloženi prskanju kloridima; kolnici; parkirališta
4. Korozija prouzročena kloridima iz mora		
XS1	elementi izloženi solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	konstrukcije blizu mora ili na obali
XS2	stalna uronjenost u more	elementi ispod razine mora
XS3	područja plime i oseke i područje zapljuskivanja	elementi naizmjenično uronjeni i na zraku
5. Korozija prouzročena smrzavanjem i odmrzavanjem sa soli ili bez nje		
XF1	umjerena zasićenost vodom bez soli	vertikalne površine betona izložene kiši i smrzavanju
XF2	umjerena zasićenost vodom sa soli	vertikalne cestovne konstrukcije izložene smrzavanju i solima za odmrzavanje iz zraka
XF3	visoka zasićenost vodom bez soli	horizontalne površine betona izložene kiši i smrzavanju
XF4	visoka zasićenost vodom sa soli	kolničke ploče; površine izložene prskanju solima i smrzavanju; područja izložena vlaženju iz mora i smrzavanju
6. Kemijska djelovanja		
XA1	blago kemijski agresivan	
XA2	umjereno kemijski agresivan	
XA3	jako kemijski agresivan	

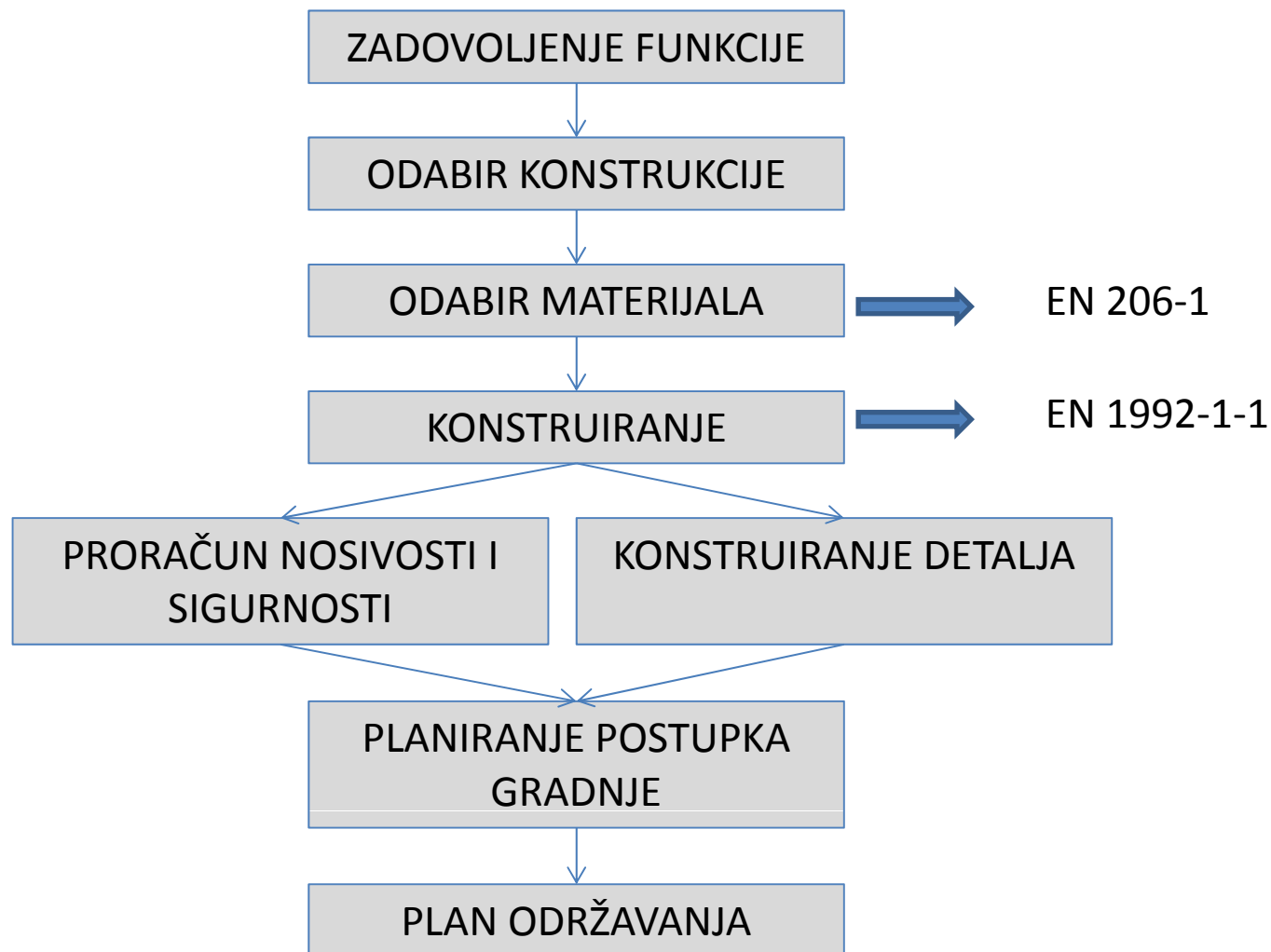
korozija armature

korozija betona

POSTUPAK PROJEKTIRANJA



POSTUPAK PROJEKTIRANJA



ODABIR MATERIJALA

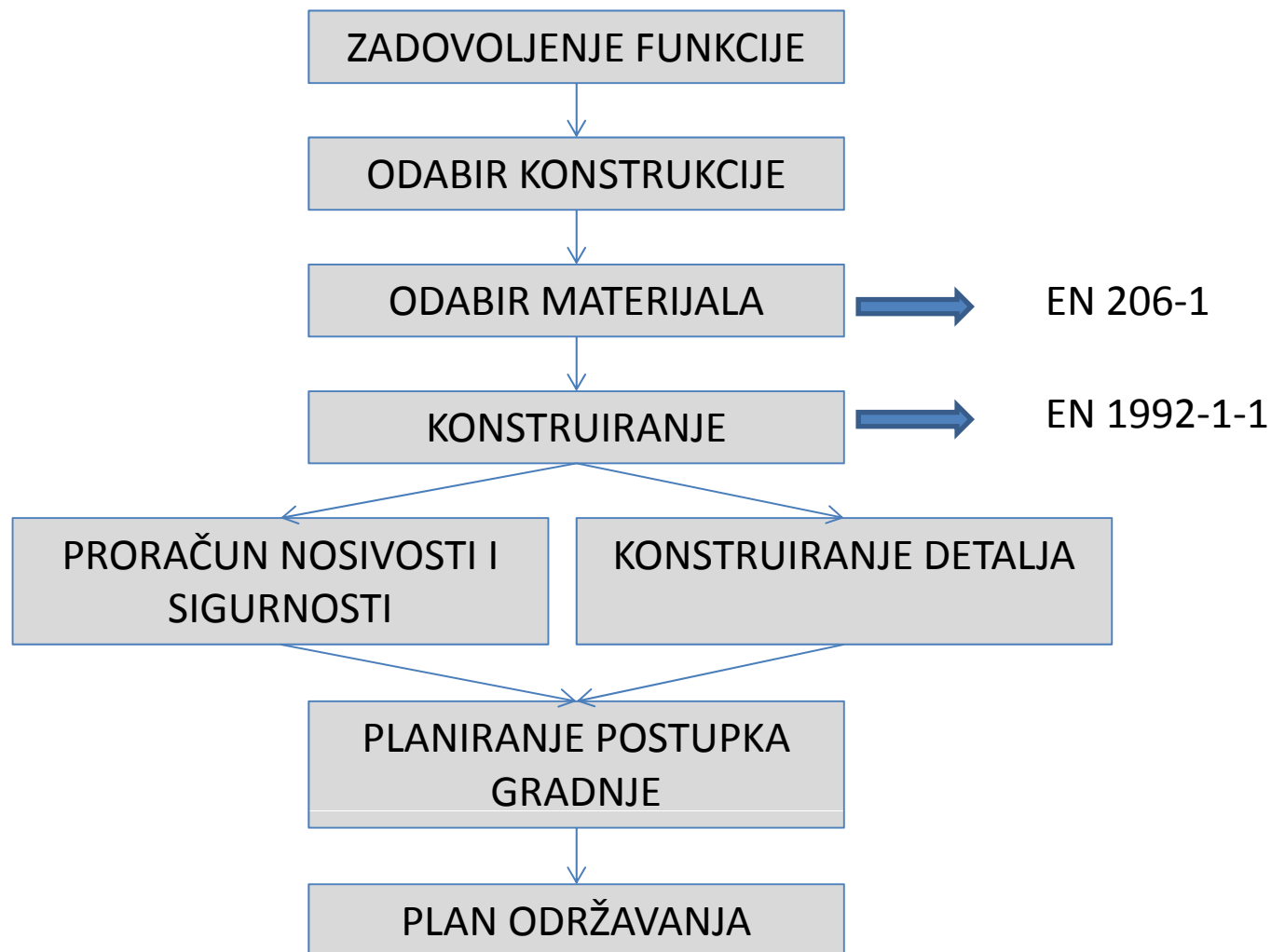


EN 206-1

Razredi izloženosti				Granične vrijednosti		
Oznaka		Djelovanje		Max v/c	Min cementa [kg/m ³]	Min klasa
X0		Nema rizika		-	-	-
XC	1	karbonatizacija (H ₂ O, CO ₂)	suho ili u vodi	0,65	260	C20/25
	2		stalna vlaga	0,60	280	C25/30
	3		umjerena vlaga	0,55	280	C30/37
	4		vlaženje/sušenje	0,50	300	C30/37
XD	1	kloridi koji nisu iz mora (H ₂ O, Cl)	umjerena vlaga	0,55	300	C30/37
	2		stalna vlaga	0,55	300	C30/37
	3		vlaženje/sušenje	0,45	320	C35/45
XS	1	kloridi iz mora (H ₂ O, Cl)	bez dodira s vodom	0,50	300	C30/37
	2		u vodi	0,45	320	C35/45
	3		plima/oseka	0,45	340	C35/45
XF ¹⁾	1	smrzavanje/odmrzavanje + soli	umjerena zasićenost vodom	0,55	300	C30/37
	2 ²⁾		umjerena zasićenost vodom + soli	0,55	300	C25/30
	3 ²⁾		visoka zasićenost vodom	0,50	320	C30/37
	4 ²⁾		visoka zasićenost vodom + soli	0,45	340	C30/37
XA	1	kemijsko djelovanje	neznatno škodljivo	0,55	300	C30/37
	2 ³⁾		umjereno škodljivo	0,50	320	C30/37
	3 ³⁾		vrlo škodljivo	0,45	360	C35/45

¹⁾ AGREGAT OTPORAN NA SMRZAVANJE; ²⁾ MINIMALNA KOLIČINA ZRAKA 4,0%; ³⁾ SULFATNO OTPORNI CEMENT

POSTUPAK PROJEKTIRANJA



KONSTRUIRANJE



EN 1992-1-1

		Razred izloženosti								
		1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c ⁴⁾
Najmanji zaštitni sloj [mm] ^{2) 3)}	čelik za armiranje	15	20	25	40	40	40	25	30	40
	čelik za prednapinjanje	25	30	35	50	50	50	35	40	50

²⁾ za pločaste elemente i razrede od 2 do 5 smije se smanjiti za 5 mm

³⁾ za betone klase C40/50 i veće, u slučaju armiranog betona razreda izloženosti od 2a do 5b i u slučaju prednapetog betona u razreda izloženosti od 1 do 5b smije se smanjiti za 5 mm, ali ne smije biti manji od propisanog za razred izloženosti 1

⁴⁾ upotrebljavati zaštitne premaze

EKSPPLICITNO PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI

Obuhvaća projektiranje sastava betona temeljeno na ponašanju. Prikladno je u sljedećim slučajevima:

- zahtijevani uporabni vijek veći od 50 god.
- posebne konstrukcije
- posebno agresivan okoliš
- veći broj tipskih konstrukcija
- inovativni materijali ili novi načini izgradnje

EKSPLICITNO PROJEKTIRANJE TRAJNOSTI

Postupci proračuna:

- modeliranje karbonatizacije $d_c = K t^{0,5}$
- modeliranje djelovanja klorida $D_c(t) = D_{ci} t^{-m}$
- modeliranje napredovanja korozije $D_t = D_i - 0,023tI_c$
- modeliranje razvoja pukotine $t_{cr} = W_c^2 / 2k_p$
- deterministički proračun: početak pojave korozije,
početak pojave pukotina, količina korozije
izražena kao postotak ploštine armature

POVEZANOST IZVEDBE I TRAJNOSTI

Faza izvedbe je kritična za trajnost: način izvedbe izravno utječe na izbor materijala i konstrukcijskog sustava, način proračuna i oblikovanja.

Pri projektiranju mora se voditi računa te konstrukciju i oblikovanje prilagoditi. U slučaju izmjene projektiranog načina izvedbe projekt mora proći kontrolu i moguće novi proračun.

POVEZANOST IZVEDBE I TRAJNOSTI

Problemi pri izvedbi s gledišta trajnosti

Ostvarenje kvalitete materijala

ujednačenost duž presjeka i elementa; mogućnost ispravne ugradnje; klimatski uvjeti; radovi u otežanim okolnostima; udaljenost gradilišta; fazna izgradnja

Spojevi

kvaliteta materijala u spojevima; broj i razmještaj spojnica; ostvarenje kontinuiteta

Pomoćne naprave za izvođenje

skele; natege, zatege i pomoćni štapovi; tehnološki otvori i prodori

Stanja naprezanja u izvedbi

različita stanja naprezanja u izvedbi i pri uporabi; promjena stanja naprezanja tijekom faza izvedbe

NJEGA BETONA I TRAJNOST

Osiguranje kvalitetnog zaštitnog sloja je glavni preduvjet osiguranja trajnosti. Ako su zadovoljeni svi uvjeti odabira materijala i debljine zaštitnog sloja posebno je važno kvalitetno zbijanje i njega.

NJEGA BETONA I TRAJNOST

Razlozi njege betona:

- skupljanje
- prerano isušivanje površine (zaustavljanje hidratacije cementa)
- karbonatizacija
- poroznost vanjske površine betona

NJEGA BETONA I TRAJNOST

Trajanje njege betona u vezi je s brzinom kojom površinski sloj postigne nepropusnost i otpornost na prodor plina ili tekućine.

Osnovno načelo: njega traje dok element ne postigne 50% karakteristične tlačne čvrstoće f_{ck} .

To vrijeme ovisi o: temperaturi okoliša, vrsti cementa, uvjetima okoliša nakon betoniranja i površinskoj temperaturi betona (hidratacijska toplina)

NJEGA BETONA I TRAJNOST

Minimalno trajanje njege betona (EN 13670-1)

Razvoj čvrstoće	Brz	Srednji	Polagan	Vrlo polagan
$r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$	$r \geq 0,50$	$r = 0,30$	$r = 0,15$	$r < 0,15$
površ. temp. betona t [°C]	Minimalno trajanje njege [dani] za raspon temperatura okoliša od 5 °C do 25 °C			
$t \geq 25$	1	1,5	2	3
$25 > t \geq 15$	1	2	3	5
$15 > t \geq 10$	2	4	7	10
$10 > t \geq 5$	3	6	10	15

Moguća linearna interpolacija za druge vrijednosti r .

Za temperature okoliša niže od 5 °C produžiti za vrijeme trajanja temperatura nižih od 5 °C plus vrijeme vezivanja ako je dulje od 5 sati.

$$r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$$

NJEGA BETONA I TRAJNOST

$$r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$$

r –opisuje razvoj čvrstoće betona

$f_{cm,2}$ –srednja tlačna čvrstoća betona nakon 2 dana

$f_{cm,28}$ –srednja tlačna čvrstoća nakon 28 dana
(projektirana)

Proizvođač betona mora dostaviti podatke o razvoju čvrstoće u obliku tablice ili krivulje razvoja čvrstoće između 2 i 28 dana pri temperaturi 20 °C.

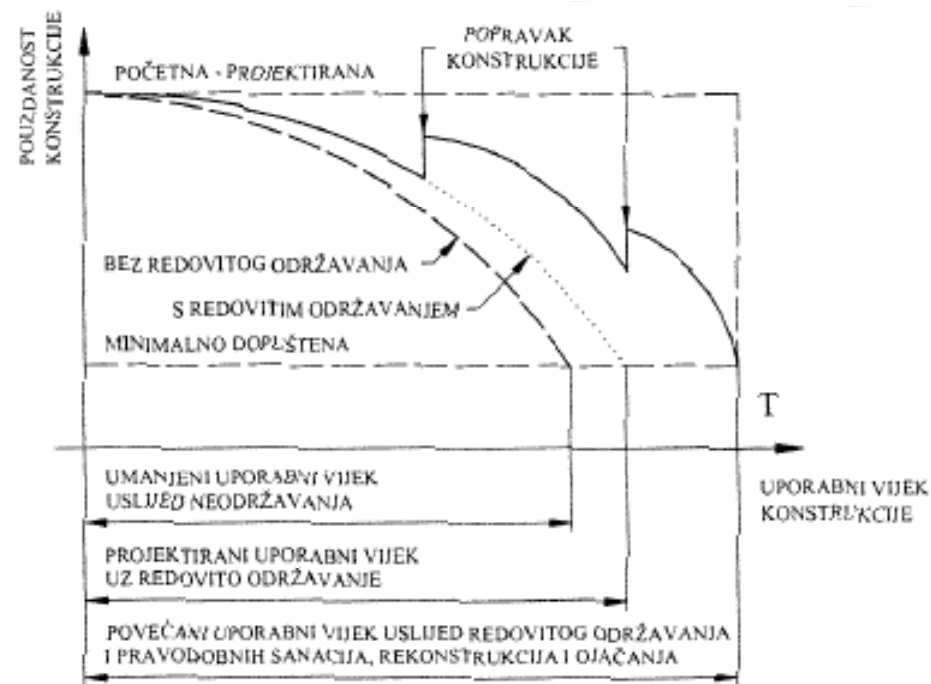
ODRŽAVANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Završetkom gradnje građevina ima propisanu početnu razinu tehničkih svojstava. Ova se razina smanjuje protokom vremena sve do potpunog iscrpljenja – gubitka svojstava nosivosti i stabilnosti ili uporabljivosti.

Kako bi se produžio sigurni uporabni vijek potrebne su naknadne intervencije koje se jednim imenom nazivaju “održavanje”.

Poseban je problem cijena održavanja: ovisi o cijelom lancu događaja od početne zamisli objekta – predviđena funkcija, odabir oblika konstrukcije, način proračuna, odabir materijala, način i kvaliteta izvedbe, kvaliteta njege, način uporabe...

ODRŽAVANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA



* izvor: J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije - priručnik

ODRŽAVANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA - PREGLEDI

Održavanje betonskih konstrukcija podrazumijeva:

1. Redovite preglede: u razmacima i na način predviđen projektom i propisima
2. Izvanredne preglede: nakon izvanrednog događaja ili na zahtjev inspekcije
3. Radove kojima se konstrukcija zadržava ili dovodi u stanje predviđeno projektom ili propisima

REDOVITI PREGLEDI

Moraju obuhvatiti:

- vizualni pregled (utvrđivanje položaja i veličine pukotina, utvrđivanje oštećenja)
- utvrđivanje stanja zaštitnog sloja
- utvrđivanje progiba glavnih nosivih elemenata za osnovna djelovanja

REDOVITI PREGLEDI

Vrste redovitih pregleda:

1. Tekući kontrolni pregledi: dnevno, tjedno, kvartalno, godišnje – ovisno o vrsti građevine
2. Opći pregledi: svake 2-3 godine, utvrđivanje oštećenja i planiranje aktivnosti do sljedećeg općeg pregleda
3. Glavni pregledi: svakih 5-6 godina, utvrđuje se ukupno stanje građevine, osim vizualnih pregleda vrše se i mjerenja
4. Posebni pregledi: ako se tijekom općeg ili glavnog pregleda utvrde oštećenja, detaljno istraživanje uzroka i oštećenja

- Što je trajnost?
- Nabrojati pristupe pri projektiranju trajnosti
- Nabrojati i objasniti uzroke degradacije konstrukcija
- O kojim faktorima ovisi trajnost
- Koja su to unutarnja svojstva konstrukcije
- Nabrojati djelovanja okoliša
- Što podrazumjeva implicitno projektiranje trajnosti
- Što podrazumjeva eksplicitno projektiranje trajnosti
- Kada se mora eksplicitno projektirati trajnost
- Nabrojati i objasniti probleme pri izvedbi s gledišta trajnosti
- Nabrojati razloge za njegu betona
- Koliko dugo traje njega betona i o čemu to ovisi
- Što je to razvoj čvrstoće betona i kako se određuje
- Što podrazumjeva pojam održavanje konstrukcija
- Što obuhvaćaju redoviti pregledi
- Nabrojati vrste redovitih pregleda