

# Trajnost i eksploatacija armiranobetonskih konstrukcija

---

Hižman, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:237577>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

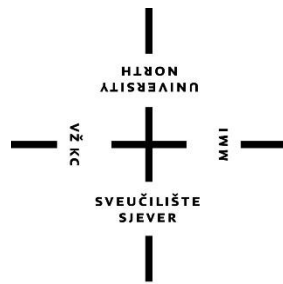
Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-16**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

*Završni rad br. 278/GR/2016*

**TRAJNOST I EKSPLOATACIJA  
ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJA**

**LUKA HIŽMAN, 2497/601**

Varaždin, lipanj 2017. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za graditeljstvo

Završni rad br. 278/GR/2016

## **TRAJNOST I EKSPLOATACIJA ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJA**

**Student**

LUKA HIŽMAN, 2497/601

**Mentor**

Dr.sc. MATIJA OREŠKOVIĆ, dipl.ing.građ.

Varaždin, lipanj 2017. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Luka Hižman	MATIČNI BROJ	2497/601
DATUM	27.12.2016.	KOLEGIJ	Betonske konstrukcije
NASLOV RADA	TRAJNOST I EKSPLOATACIJA ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJA		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU DURABILITY AND EXPLOITATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

MENTOR dr.sc. Matija Orešković, dipl.ing.građ. ZVANJE Viši predavač

### ČLANOVI POVJERENSTVA

1. mr.sc. Ivan Špišić, predavač
2. dr.sc. Matija Orešković, viši predavač
3. Aleksej Aniskin, viši predavač
4. Velimir Pavlic, predavač
5. Željko Kos, predavač

## Zadatak završnog rada

BROJ 278/GR/2016

### OPIS

Tijekom eksploatacije, ab konstrukcija trpi značajna opterećenja i ostala djelovanja koja mogu značajno djelovati na konstrukciju, njen integritet te njenu projektiranu trajnost, stvarajući pri tome određena (vidljiva i nevidljiva) oštećenja na konstrukciji. Osnovni preduvjet dobrog rezultata popravaka i zaštite je ispravno i detaljno utvrđivanje postojećeg stanja prije zahvata te razrada koncepta, poželjno je više njih gdje će se razraditi plan provedbe mjera i njihov redoslijed, detaljan opis i njihov utjecaj u konačnici.

Rad se sastoji od:

1. UVOD
2. TRAJNOST AB KONSTRUKCIJA
3. MEHANIZMI OŠTEĆENJA GRAĐEVINA
4. SANACIJA
5. ZAKLJUČAK

ZADATAK URUČEN

02.01.2017.



*[Handwritten signature]*

## **Predgovor**

Tema „Trajnost i eksploatacija armiranobetonskih konstrukcija“ za završni rad uzeta je zbog toga treba više pažnje posvetiti očuvanju konstrukcija prilikom njezine dugotrajne eksploatacije. Trajnost konstrukcija ovisi o dobrom i stručnom odabiru materijala da ne bi došlo do njezinog oštećenja. Ukoliko dođe do oštećenja sanaciji treba pristupiti s velikom pažnjom i odgovornošću da se odabere materijal koji je kompatibilan sa materijalom koji se koristio prilikom gradnje neke konstrukcije, da ne bi došlo do većih oštećenja ili pak do rušenja same građevine, a time i većih financijskih poteškoća.

## **Sažetak**

Tijekom eksploatacije, armiranobetonska konstrukcija trpi značajna opterećenja i ostala djelovanja koja mogu značajno djelovati na konstrukciju, njen integritet te njenu projektiranu trajnost, stvarajući pri tome određena ( vidljiva i nevidljiva ) oštećenja na konstrukciji. Osnovni preduvjet dobrog rezultata popravaka i zaštite je ispravno i detaljno utvrđivanje postojećeg stanja prije zahvata te razrada koncepta, poželjno je više njih gdje će se razraditi plan provedbe mjera i njihov redoslijed, detaljan opis i njihov utjecaj u konačnici.

Ključne riječi: trajnost, armiranobetonska konstrukcija, oštećenja, popravak, zaštita

## **Abstract**

During exploitation, reinforced concrete structure suffers significant loads and other actions that can significantly affect the structure, its integrity and its projected durability, suitable for making certain ( visible and invisible ) damage to the structure. The basic prerequisite for a good result of repairs and protection is properly and thoroughly determine the current situation prior to the operation and development implementation of the measures and their order, and a detailed description of their impact in the end.

Keywords: durability, reinforced concrete structure, damage, repair, protection



## Popis korištenih kratica

Q	Promjenljivo djelovanje
G	Stalno djelovanje
d	Statička visina presjeka
h	Ukupna visina presjeka
$f_t$	Vlačna čvrstoća čelika
$f_y$	Granica popuštanja čelika
$E_c$	Modul elastičnosti betona
$E_s$	Modul elastičnosti čelika
$f_{ck}$	Karakteristična čvrstoća betona (valjak)
$f_{ck,cube}$	Karakteristična čvrstoća betona (kocka)
$f_{pk}$	Karakteristična čvrstoća čelika za prednapinjanje
$f_{p0.1,k}$	Karakteristična granica naprezanja čelika za prednapinjanje
$f_{cd}$	Računska čvrstoća betona
$f_{yd}$	Računska čvrstoća čelika
$\xi$	Koeficijent položaja neutralne osi
$\zeta$	Koeficijent kraka unutrašnjih sila
$A_{s1}$	Površina vlačne armature
$A_{s2}$	Površina tlačne armature
$\alpha_v$	Koeficijent punoće
$k_a$	Koeficijent položaja tlačne sile
$S_d$	Računska vrijednost utjecaja
$R_d$	Računska nosivost presjeka
$M_{Sd}$	Računski moment savijanja
$M_{Rd}$	Računski moment nosivosti
$F_c$	Tlačna sila u betonu
$F_{s1}$	Vlačna sila u armaturi
$F_{s2}$	Tlačna sila u armaturi
$N_{Sd}$	Računska uzdužna sila
$N_{Rd}$	Računska uzdužna sila nosivosti
$\varepsilon_c$	Deformacija betona
$\varepsilon_s$	Deformacija čelika
$\varepsilon_p$	Deformacija čelika za prednapinjanje

$s_w$	Razmak spona
$A_k$	Površina unutar srednje konture (torzija)
$u_k$	Opseg srednje konture (torzija)
$A_{s1}$	Površina svih uzdužnih šipki (torzija)
$\sigma_c$	Naprezanje u betonu
$\sigma_s$	Naprezanje u armaturi
$b_w$	Širina hrpta I i T presjeka
$b_{eff}$	Sudjelujuća širina grede
$h_f$	Debljina ploče T presjeka
$\mu_{sd}$	Bezdimenzijska veličina za moment
$v_{sd}$	Bezdimenzijska veličina za uzdužnu silu
$\rho$	Koeficijent armiranja
$\omega$	Mehanički koeficijent armiranja
$V_{sd}$	Računska poprečna sila
$V_{Rd}$	Računska nosivost na poprečne sile
$\tau_{Rd}$	Računska čvrstoća na djelovanje glavnih kosih naprezanja
$T_{sd}$	Računski moment torzije
$T_{Rd}$	Računska nosivost na torziju
$w_k$	Računska širina pukotina
$V_{Rd1}$	Nosivost neraspucalog elementa na poprečne sile
$A_{sw}$	Površina poprečne armature (spona)
$\rho_w$	Koeficijent armiranja poprečnom armaturom
$s_{rm}$	Srednji razmak pukotina
$\sigma_{po}$	Naprezanje u prednapetoj armaturi prije gubitaka i padova
$\sigma_{pm,o}$	Naprezanje u prednapetoj armaturi poslije gubitaka
$\sigma_p$	Naprezanje u prednapetoj armaturi
$c$	Zaštitni sloj betona
$l_b$	Dužina sidrenja
$l_{b,net}$	Iskorištena dužina sidrenja
$f_{bd}$	Računska čvrstoća prionljivosti
$l_s$	Dužina nastavka
$d_1$	Udaljenost težišta vlačne armature od vlačnog ruba
$d_2$	Udaljenost težišta tlačne armature od tlačnog ruba
$l_n$	Svijetli raspon

# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Trajnost ab konstrukcija .....	3
2.1.	Projektiranje .....	4
2.2.	Izvođenje .....	6
2.3.	Održavanje .....	7
3.	Mehanizmi oštećenja građevina .....	10
3.1.	Korozija .....	26
4.	Sanacija .....	30
4.1.	Lokalni popravci ili "patching" .....	31
4.2.	Sanacija pukotina .....	35
4.3.	Površinska zaštita .....	40
4.4.	Sanacija ab stupova prilikom potresa pomoću FRP traka .....	41
5.	Zaključak .....	47
6.	Literatura .....	48





# 1. UVOD

Od dana kada je 1845. godine francuski vrtlar Monier izradio posude za cvijeće obloživši s obje strane čeličnu žičanu mrežu cementnim mortom, a ubrzo potom drugi Francuz Lambot sagradio čamac koristeći se istim načelom zasnovanu na zajedničkom djelovanju betona i čelika stvoreni je novi materijal koji je osobito u nekoliko posljednjih desetljeća bitno promijenilo način građenja, a radi se o ARMIRANOM BETONU. Svojom današnjom visokom kvalitetom armirani beton omogućuje ostvarenje najsloženijih ideja, bogastvo oblika i konstrukcija. ( slika 1.1. )



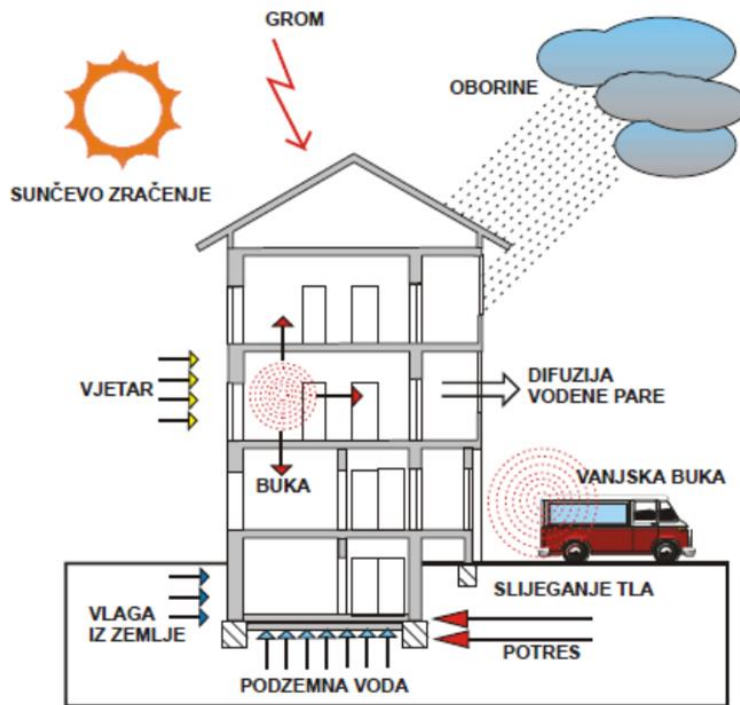
*Slika 1.1. Armiranobetonska konstrukcija*

Građevine izvedene armiranim betonom mogu imati dugi vijek trajanja tj. biti u funkciji, samo ako su pravilno konstruirane i izvedene. Pravilno konstruiranje nije jednostavan zadatak budući da je armirani beton najsloženiji umjetni građevinski materijal izrađen miješanjem veziva ( cementa ), vode i agregata ( šljunak i pijesak ) te ojačan ( armiran ) čeličnim žicama i šipkama koje nazivamo armaturom. Prenošnje, odnosno unutarnja stanja tako složenog nehomogenog materijala nisu jednostavna jer prenošenje opterećenja ovisi o zajedničkom djelovanju betona i armature. Nestručan pristup i nedostatan znanje pri upotrebi armiranog betona kriju u sebi mnogo opasnosti. Armirani beton ima nekoliko prednosti: nezapaljivost, trajnost, relativno mali troškovi održavanja, mogućnost izrade najraznovrsnijih oblika, međutim ima i mane: znatna vlastita težina,

velika provodljivost topline i zvuka, niska vlačna čvrstoća, teško naknadno provjeravanje količine ugrađene armature, otežani radovi kod niskih i visokih temperatura, otežana naknadna adaptacija ili pojačanje gotove konstrukcije, korozija armature u betonu, osjetljivost na mraz, beton izložen duže vrijeme visokim temperaturama naglo gubi čvrstoću i prionjivost s čelikom osobito ako se prilikom gašenja požara polijeva vodom kada zbog naglog hlađenja još više raspucava. Iako je lista mana armiranog betona veće od liste prednosti, prednosti su ipak veće pa je jedan od najraširenijih materijala u svijetu. Treba se osvrnuti na problem pukotina te korozije kao najvećeg neprijatelja armirano betonskih konstrukcija kao i ostala oštećenja prilikom dugotrajne eksploatacije. U današnje vrijeme pozornost u građevinarstvu usmjerena je na konstrukcijske materijale visokih performansi. Tu se prvenstveno misli na beton visoke čvrstoće, pošto je beton danas (još uvijek) vodeći i najupotrebljiviji konstrukcijski materijal. Njegova povećana upotreba u zadnjih 20-tak godina osobito se primijetila kod stupova, zbog njihove visoke nosivosti na tlak (prvenstveno u visokim zgradama).

## 2. TRAJNOST AB KONSTRUKCIJA

Trajnost je svojstvo betonske konstrukcije koje se mora ostvariti odgovarajućim planiranjem, projektiranjem i dimenzioniranjem, ali i također i odabirom građevnih proizvoda i izvođenjem radova. Osiguranje kvalitetnog zaštitnog sloja preduvjet je osiguranju trajnosti. Na trajnost ab konstrukcija utječu i mnogi čimbenici ( slika 2.1. )



Slika 2.1. Čimbenici koji utječu na trajnost konstrukcije

Nedovoljna trajnost betonskih konstrukcija predstavlja širom svijeta gorući problem gospodarenja građevinama koje sadrže takvu konstrukciju te zahtijeva ulaganje golemih finansijskih sredstava da bi se njihova sigurnost i uporabljivost zadržala iznad minimalne propisane granice. Nadalje, trajnost betonske konstrukcije ne može se poistovjetiti s pojmom trajnog betona. Tajnima se smatraju one konstrukcije koje zadržavaju zahtijevana svojstva, odnosno podnose sve utjecaje koji proizlaze iz načina i redoslijeda građenja, predvidivih uvjeta uobičajene uporabe i predvidivih uvjeta utjecaja okoliša tijekom projektiranog uporabnog vijeka, uz relativno niske troškove održavanja.

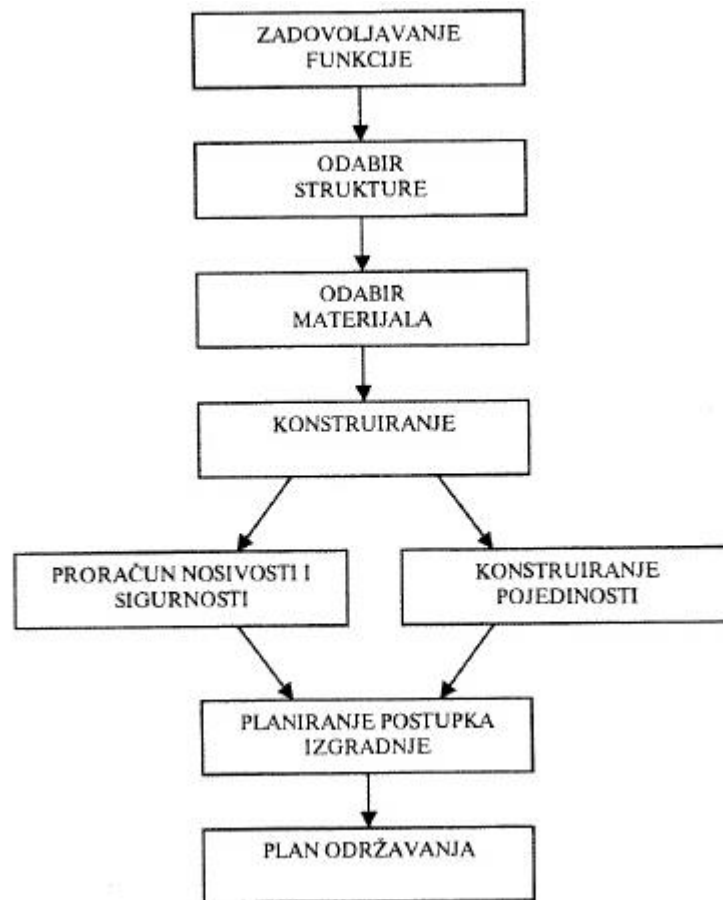
Da bi se trajnost održala potrebno je zadovoljiti sljedeća tri zahtjeva:

1. Projektiranje
2. Izvođenje
3. Održavanje



## 2.1. PROJEKTIRANJE

Projektiranje konstrukcije obuhvaća i planiranje održavanja građevine te se tijekom projektiranja može odlučiti između više strategija, primjerice kriterija minimalnog održavanja, optimalnog ukupnog troška tijekom uporabnog vijeka građevine ili pak optimalnog utjecaja građevine na okoliš. Koncept projektiranja trajnosti zasniva se na zahtjevu da uslijed danih utjecaja na konstrukciju, a tijekom projektiranog uporabnog vijeka, ne nastupi prerano ili nepredvidivo iscrpljenje nosivosti ili svojstava uporabljivosti. Tijek projektiranja možemo vidjeti na slici 2.2.



Slika 2.2. Tijek projektiranja konstrukcije

U smislu projektiranja trajnosti konstrukcije razlikuju se dva pristupa projektiranju trajnosti.

#### □ **Implicitno ( opisno ) projektiranje trajnosti**

Projektiranje konstrukcije obuhvaća odabir odgovarajućeg razreda izloženosti građevine u skladu s njenom namjenom i daljnje postupanje prema odgovarajućim definiranim zahtjevima odnosno potrebnim svojstvima konstrukcije, za odabrani razred izloženosti. Implicitno projektiranje trajnosti obuhvaća sljedeće korake: - definiranje prosječnog uporabnog vijeka

- definiranje utjecaja ( razreda izloženosti )
- procjenu uobičajenih izdataka za održavanje
- definiranje sastava betona i pravila izvođenja

Implicitno projektiranje trajnosti betonskih konstrukcija kako je propisano Tehničkim propisom za betonske konstrukcije, odnosno normama na koje Propis upućuje, zasniva se na kategorizaciji utjecaja tzv. razrede izloženosti i s njima povezane odgovarajuće mjere, kao što su sastav betona, zaštitno sloj betona i njega betona. Očito je da se ovakav pristup projektiranju trajnosti zasniva prvenstveno na odabiru odgovarajuće mješavine betona uz definirane zahtjeve na čvrstoću betona i debljinu zaštitnog sloja armature, ovisno o uvjetima okoliša u kojima se betonska konstrukcija nalazi. Ako se ispune zahtjevi dani i normi, implicitno se smatra da će biti dosegnut predviđeni uporabni vijek. Poseban problem predstavlja što zahtjevi norme obuhvaćaju „ uobičajene “ betonske konstrukcije i uporabni vijek od 50 godina.

#### □ **EksPLICITNO projektiranje trajnosti ( prema ponašanju )**

EksPLICITNO projektiranje trajnosti obuhvaća proračun vjerojatnosti trajnosti i bitno je složeniji postupak. Projektiranje trajnosti prema ponašanju može biti adekvatno u sljedećim slučajevima:

- zahtijeva se uporabni vijek znatno različit od 50 godina
- radi se o „specijalnoj “ konstrukciji koja traži manju vjerojatnost otkazivanja
- djelovanja okoliša su posebno agresivna ili su dobro definirana
- očekuje se visoka kvaliteta izvedbe
- uvedena je strategija upravljanja i održavanja, moguće višeg stupnja
- bit će izgrađen znatan broj sličnih konstrukcija ili elemenata
- primijenit će se novi ili različiti materijali

## 2.2. IZVOĐENJE

Faza izvedbe konstrukcije je, uz projektiranje i održavanje, presudna za karakteristike koje određuju trajnost građevinske konstrukcije. Posebno valja imati na umu da je proces izgradnje velikih građevina, kao što su mostovi te razne monumentalne konstrukcije visokogradnje, vrlo složen te da je konstrukcija tijekom same granje vrlo često izložena složenijim i nepovoljnijim stanjima naprezanja, nego u konačnoj uporabi. U samom planiranju postupaka i tehnologija gradnje koje će se primijeniti za izvedbu određene konstrukcije, ključno je razmotriti koji je glavni zahtjev koji se postavlja na građenje: brza izgradnja, optimalni troškovi tijekom čitavoga predviđenoga uporabnog vijeka, što trajnija konstrukcija ili nešto drugo. Ovaj glavni zahtjev imat će utjecaja ne samo na odabir materijala i načina gradnje, već i dalekosežne posljedice na čimbenike trajnosti promatrane konstrukcije. Od neizmjerne je važnosti uočiti da projektiranje i izgradnja moraju biti međusobno povezani procesi. Projektant prilikom osmišljavanja konstrukcije mora uzeti u obzir način izvedbe. Razmatranjem postupka izgradnje već u fazi projektiranja osigurava se sama izvedivost projekta, a također je moguće i naći odgovarajuća rješenja pojedinosti za izbjegavanje kritičnih mjesta u konstrukciji kao potencijalnog izvora bržeg propadanja konstrukcije. Tehničkim propisom za betonske konstrukcije propisuje se da građenje građevina koje sadrže betonsku konstrukciju mora biti takvo da betonska konstrukcija ima tehnička svojstva u skladu s tehničkim rješenjem građevine i u skladu sa zahtjevima za građenje danim projektom te da se osigura očuvanje tih svojstava i uporabljivost građevine tijekom njezina uporabnog vijeka. Kao primjer izvođenja radova možemo vidjeti na slici 2.3.



*Slika 2.3. Izvedba radova na zgradi Cvjetni prolaz u Zagrebu*

### 2.3. ODRŽAVANJE

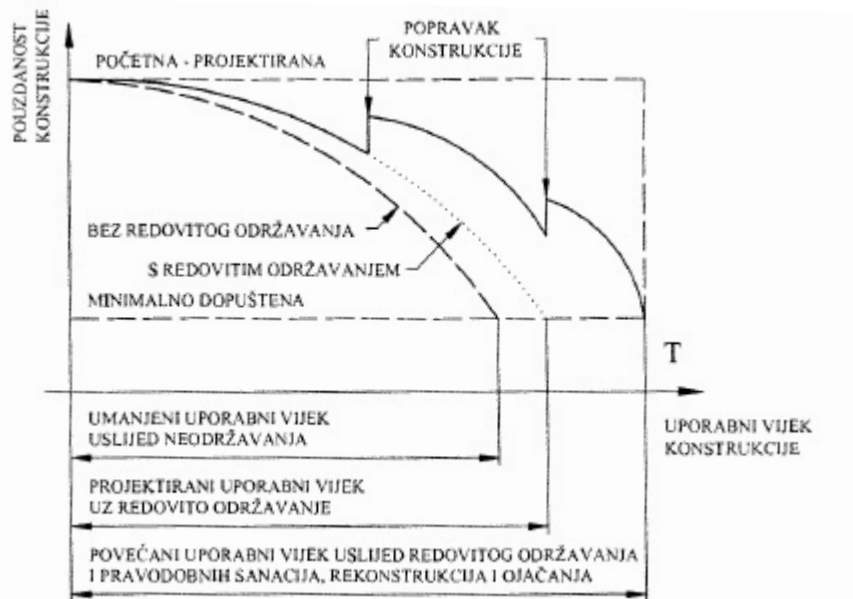
Po završetku izgradnje građevina ima određenu tzv. početnu razinu tehničkih svojstava, u skladu s odabranom koncepcijom, oblikovanjem i kvalitetom izvedbe materijala, kritičnih konstrukcijskih pojedinosti i konstrukcije u cjelini te primjenom mjere zaštite konstrukcije. Konstrukcija ne zadržava ovu početnu razinu sigurnosti i uporabljivosti tijekom svoga uporabnog vijeka, već se ona, uslijed vanjskih djelovanja i unutarnjih svojstava konstrukcije, postupno smanjuje, sve do potpunog iscrpljenja. Stoga se postavlja pitanje kako i kada intervenirati na konstrukciji, kako bi se što dulje osiguralo da ona može ispunjavati funkciju zbog koje je izgrađena, naravno uz optimalan utrošak financijskih sredstava. Sve naknadne intervencije nakon početka uporabe građevine nazivaju se skupnim pojmom „održavanje“ ( slika 2.4. )



*Slika 2.4. Održavanje građevina*

Samim radovima održavanja neke građevine može se bitno i u vrlo velikoj mjeri utjecati na njenu trajnost. Vlasnik građevine odgovoran je za njezino održavanje. Vlasnik građevine dužan je osigurati održavanje građevine tako da se tijekom njezina trajanja očuvaju temeljni zahtjevi za građevinu te unapređivati ispunjavanje temeljnih zahtjeva za građevinu, energetske svojstava zgrada i nesmetanog pristupa i kretanja u građevini. Održavanje građevine te poslove praćenja stanja građevine, povremene godišnje preglede građevine, izradu pregleda poslova za održavanje i unapređivanje ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevine i druge slične stručne poslove vlasnik građevine, odnosno osoba koja obavlja poslove upravljanja građevinama prema posebnom zakonu

mora povjeriti osobama koje ispunjavaju uvjete za obavljanje tih poslova propisane posebnim zakonom. Uvjete za održavanje i unapređivanje ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevinu, energetske svojstva zgrada i nesmetanog pristupa i kretanja u građevini te način ispunjavanja i dokumentiranja ispunjavanja ovih zahtjeva i svojstva, propisuje ministar pravilnikom. Održavanje konstrukcija u novije se vrijeme pokazalo kao izuzetno zahtjevna aktivnost koja podrazumijeva ulaganje vrlo velikih novčanih sredstava. Na slici 2.5. prikazan je utjecaj održavanja na produljenje uporabnog vijeka konstrukcije.



Slika 2.5. Utjecaj održavanja na produljenje uporabnog vijeka konstrukcije

Tehnički propis za betonske konstrukcije propisuje da održavanje betonske konstrukcije mora biti takvo da se tijekom uporabnog vijeka građevine očuvaju njezina tehnička svojstva i ispunjavaju zahtjevi određeni projektom građevine te zahtjevi svih drugih propisa koje građevina mora zadovoljavati. Prema Tehničkom propisu za betonske konstrukcije pod održavanjem se podrazumijevaju:

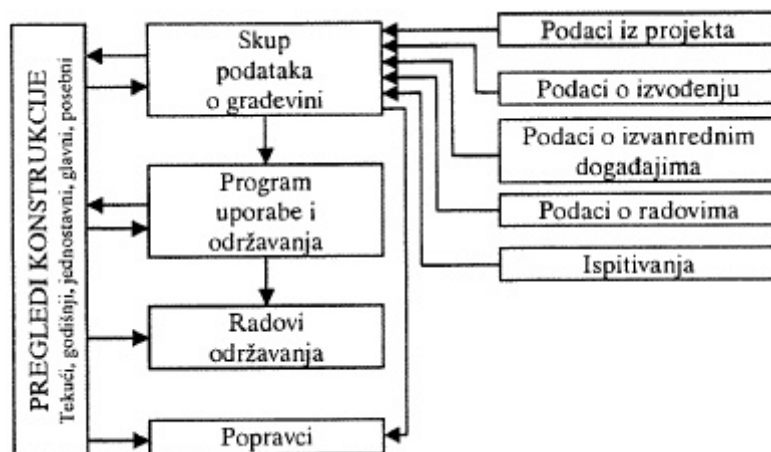
- redoviti pregledi betonske konstrukcije, u razmacima i na način određen projektom građevine i u skladu s propisima
- izvanredni pregledi betonske konstrukcije nakon kakvog izvanrednog događaja ili po zahtjevu inspekcije
- izvođenje radova kojima se betonska konstrukcija zadržava ili se vraća u stanje određeno projektom građevine i u skladu s propisima ( u skladu s kojima je konstrukcija izvedena ).

Trajnost konstrukcije je u izravnoj i neposrednoj vezi s njenim održavanjem. Ispravnim, kontinuiranim i pravodobnim provođenjem ovih aktivnosti bitno se utječe na produljenje trajnosti građevine.

Danas se često umjesto riječi „ održavanje “ upotrebljava pojam „ sustav gospodarenja građevinama “ pod kojim podrazumijevamo skup sljedećih aktivnosti:

- prikupljanje, obradu i pohranjivanje podataka o konstrukcijama
- izradu i praktičnu provedbu programa uporabe i održavanja konstrukcija
- obavljanje pregleda po posebnom programu
- neposredne radove redovitog održavanja
- periodične radove obnove i izmjene uređaja i dijelova
- veće radove popravaka, ojačanja i rekonstrukcije

Svi su ovi radovi, kako je prikazano na slici 2.6., međusobno povezani i uvjetovani.



Slika 2.6. Povezanost i međusobna uvjetovanost radova na održavanju

### 3. MEHANIZMI OŠTEĆENJA GRAĐEVINA

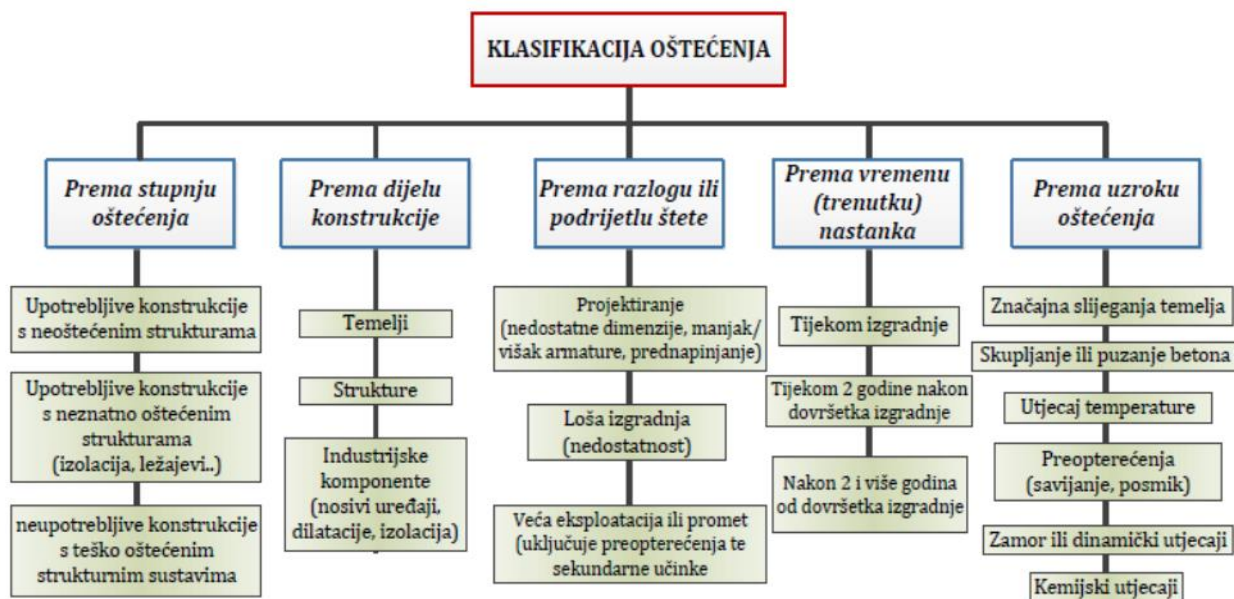
Mehanizmi i utjecaji na propadanje armiranobetonskih konstrukcija su brojni i vrlo različiti. Na objektima izgrađenim u prošlom stoljeću jasno su vidljivi određeni tipovi oštećenja kod kojih je razvidno da su nastali zbog kombinacije određenih faktora: dugotrajne eksploatacije konstrukcije, dugotrajnog kontinuiranog opterećenja, dinamičkih i na kraju kemijskih utjecaja. To možemo vidjeti na slici koja je prikazana u nastavku ( slika 3.1)



*Slika 3.1. Uočeno oštećenje stupa na staroj zgradi*

Osnovno pitanje kod ovako oštećenih strukturnih dijelova konstrukcije jest: može li, te kako dugo taj konstruktivni element i dalje obnašati svoju (projektiranu) nosivu zadaću. Sumarno se može reći da je glavnina oštećenja na betonskim strukturama nastala zbog općenito lošeg dizajna (faza projektiranja), loše tehnologije građenja i loše kvalitete materijala (faza izgradnje), preopterećenja konstrukcije (faza eksploatacije, ali i projektiranja!) te zbog raznih atmosferskih i kemijskih utjecaja.

Konkretna klasifikacija se može prikazati sljedećom slikom ( slika 3.2. )



Slika 3.2. Shema klasifikacije oštećenja konstrukcija

Osnovna oštećenja na konstrukciji nastaju zbog:

- karakter i vrsta oštećenja ab stupova
- proces smrzavanja i odmrzavanja
- kemijska djelovanja
- alkalno – silikatna reakcija
- slijezanje
- skupljanje
- puzanje

Osnovni uzročnici ili podloge koje ih pospješuju su VODA i SOL

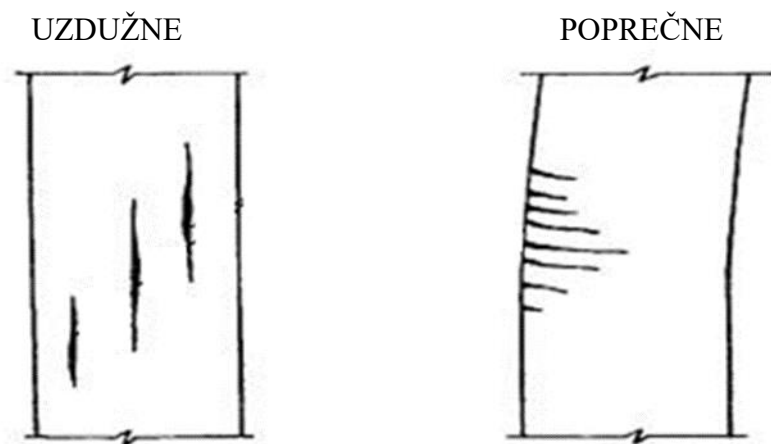
- VODA: - neophodna za nastupanje većine mehanizama razaranja
  - njena prisutnost uvišestručuje posljedice razaranja
  - osnovno pravilo: vodu što prije odvesti s objekta, spriječiti prodor
  - vode u konstrukciju, opća odvodnja i zaštita, nepropustan beton najrazorniji su ciklusi vlaženja i sušenja
- SOL: - kloridi najrazorniji s obzirom na svojstva armiranobetonskih konstrukcija



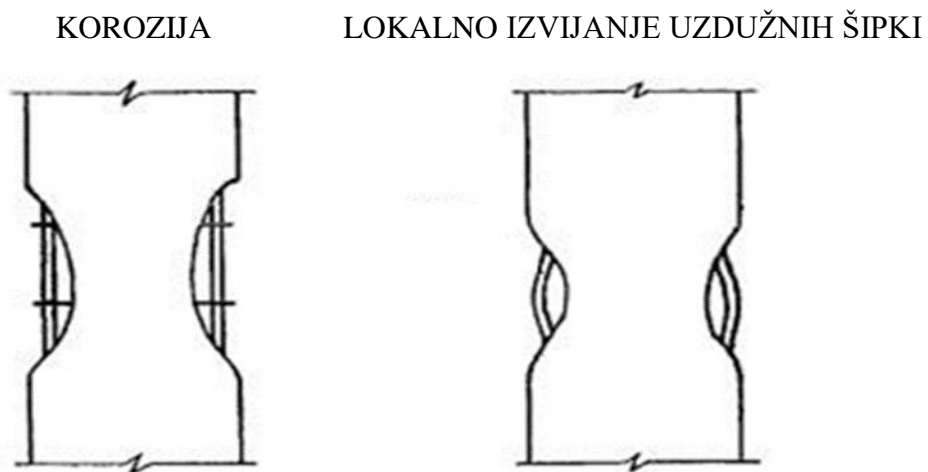
- iniciraju koroziju čelika za armiranje
- ima hidroskopska obilježja što znači da na sebe veže vlagu
- element zagađen solju teže se isušuje
- teško gotovo nemoguće očistiti beton od soli

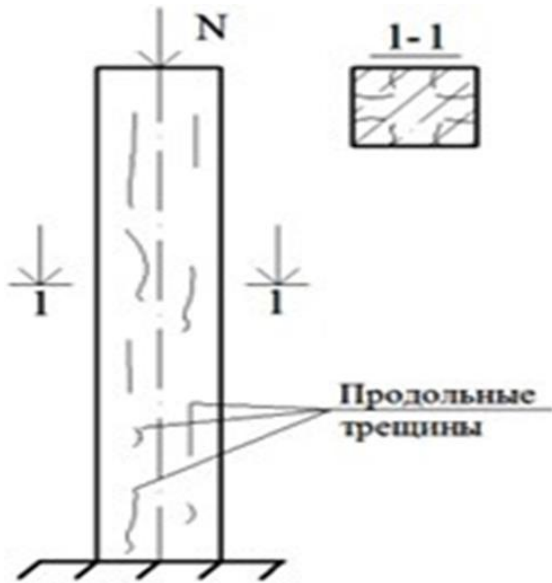
□ **KARAKTER I VSTA OŠTEĆENJA AB STUPOVA**

Pukotine



Oštećenje na armaturi





Uzrok oštećenja:

Uzdužne pukotine kroz presjek prikazuju preopterećenje središnjeg tlaka i smanjenje čvrstoće betona. Pukotine u području tlaka opterećenja prikazuju na veće smanjenje ekscentričnosti u promjeru tlačne armature zbog korozije.

Način sanacije:

Jačanje stupova iz proračuna



Uzrok oštećenja:

Vodoravne pukotine u vlačnoj zoni i uzdužnoj tlačnoj zoni rezultat su preopterećenja s većim povećanjem ekscentriteta, što pokazuje na sve veće smanjenje ekscentričnosti u promjeru tlačne armature zbog korozije

Način sanacije:

Jačanje stupova iz proračuna

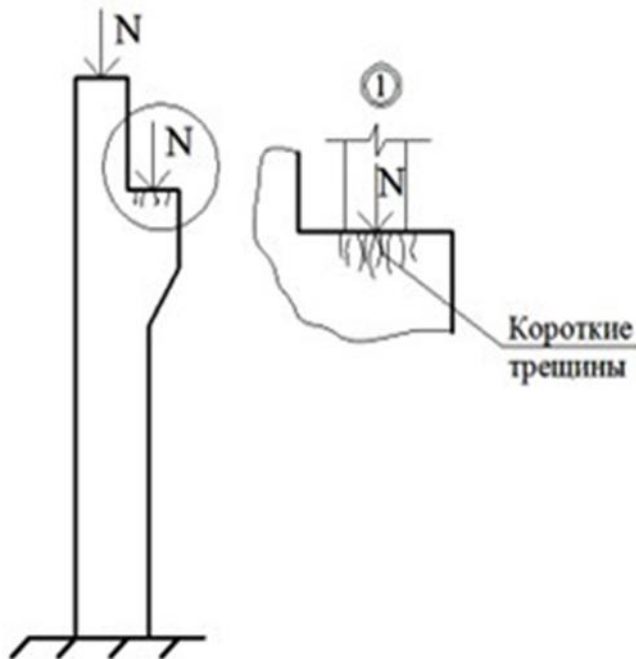


Uzrok oštećenja:

Pukotine i deformacije uslijed skupljanja betona

Način sanacije:

Obnova površina pukotina ( fugiranje, gips ),  
ubrizgivanje u deblje pukotine

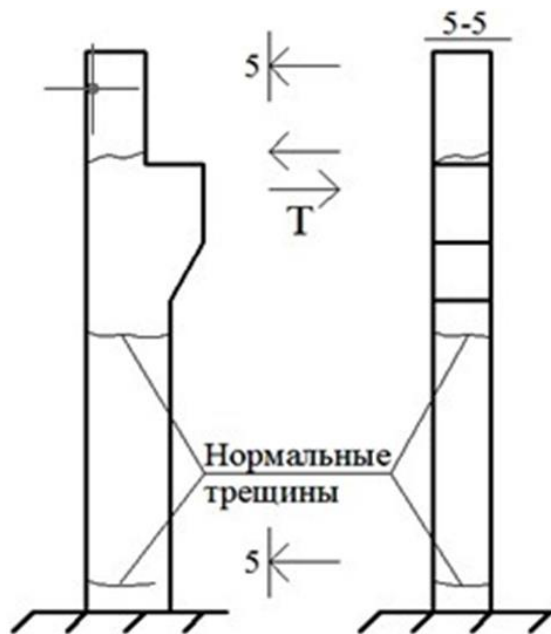


Uzrok oštećenja:

Kratke pukotine u mjestima kontakta grede sa stupom pokazuju lokalno lomljenje betona zbog preopterećenja, smanjenje čvrstoće betona, odsutnost bočnog jačanja armature.

Način sanacije:

Jačanje oštećenih područja

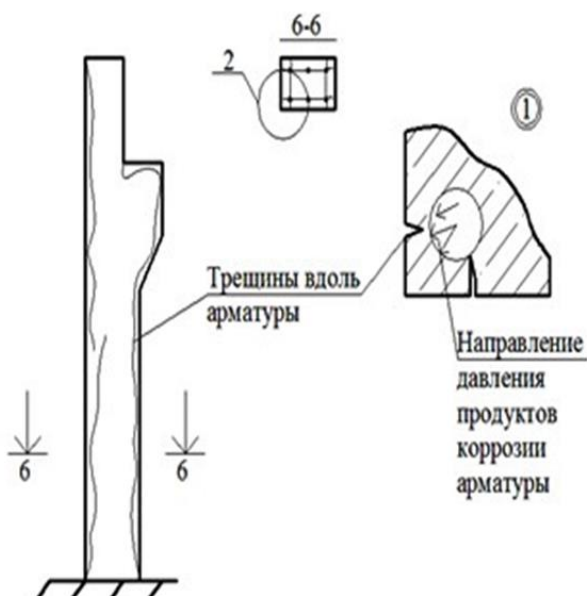


Uzrok oštećenja:

Normalne ( okomito na opterećenje ) pukotine, veća savitljivost dolazi iz usporavanja tijekom prijevoza, nepravilnog skladištenja i prijevoza, deformacije betona zbog temperaturnih, vlažnih promjena.

Način sanacije:

Jačanje stupova iz proračuna

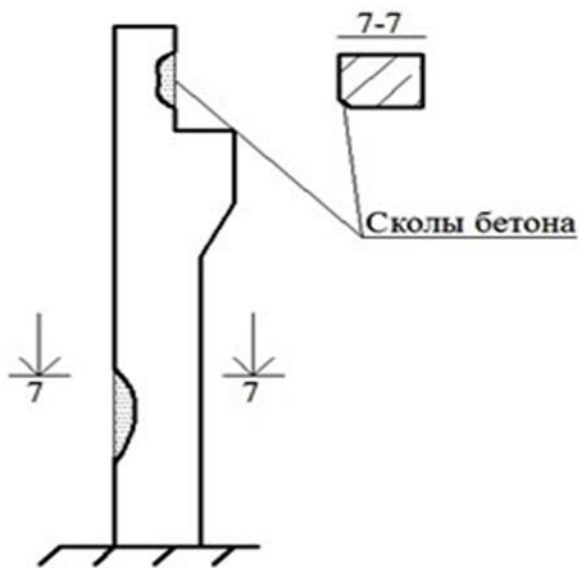


Uzrok oštećenja:

Pukotine uz armaturu, vidljive mrlje hrđe na betonu ukazuju na koroziju armature zbog oštećenja pokrovnog sloja betona i aktivnosti u agresivnim sredinama.

Način sanacije:

Obnova pokrovnog sloja betona, zaštita od korozije, jačanje stupova iz proračuna

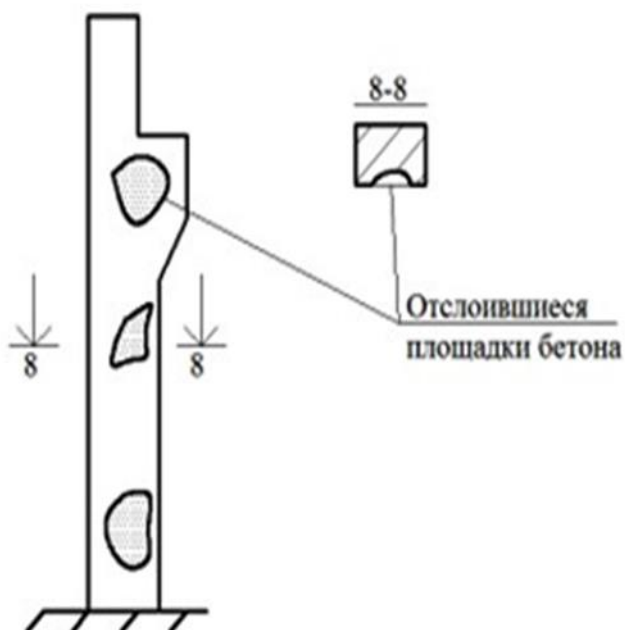


Uzrok oštećenja:

Ljuštenje betona zbog mehaničkih oštećenja prilikom transporta i eksploatacije, korozije armature, utjecaja vatre.

Način sanacije:

Obnova pokrovnog sloja betona, zaštita od korozije, jačanje stupova iz proračuna

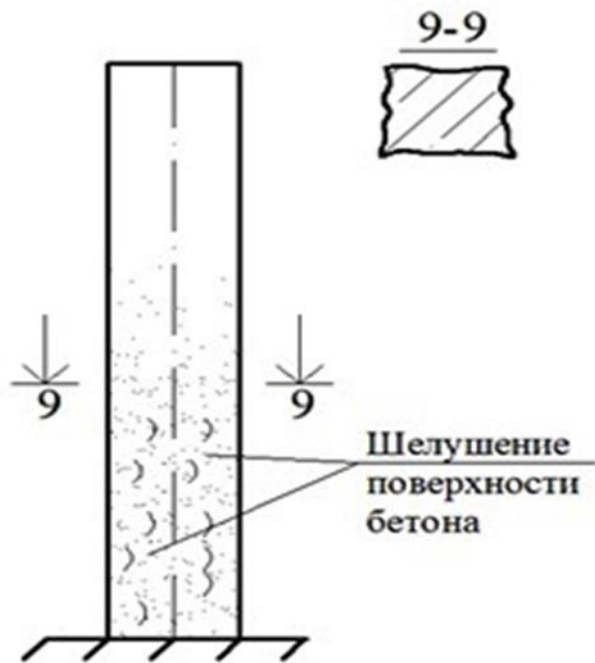


Uzrok oštećenja:

Delaminacija površine betona kada je izložena vatri, učinku soli i leda

Način sanacije:

Obnova pokrovnog sloja betona, jačanje stupova iz proračuna



Uzrok oštećenja:

Učinak agresivnih tvari. Promjena u  
betonu ( smrzavanje – odmrzavanje,  
mokro – suho )

Način sanacije:

Obnova pokrovnog sloja betona,  
zaštita od agresivnih tvari

### □ **SMRZAVANJE I ODMRZAVANJE**

Voda zadržana u strukturi betona pretvara se u led. Na površini betona vide se znakovi odvajanja, ljuštenja, raspucavanja te gubitak čvrstoće i nosivosti. Upotreba soli za odleđivanje odnosno sniženja ledišta što donosi povećanju sadržaja vode u porama a time se pojačava razorno djelovanje ( slika 3.3. )



*Slika 3.3. Primjeri oštećenja prilikom smrzavanja i odmrzavanja*

### □ **KEMIJSKA DJELOVANJA**

Kiseline - reakcija sa cementnom pastom → razaranje mikro strukture očvrslog betona → povećanje propusnosti betona

Sulfati - reakcija sulfata s ionima kalcija i aluminija

Alkalije – razorno djelovanje alkalija posljedica je reakcije alkalija i silikatnih agregata pri čemu nastaju mrežaste pukotine

#### □ **ALKALNO – SILIKATNA REAKCIJA**

Do štetnih pojava u betonu uslijed alkalno – silikatne reakcije dolazi do određenog udjela reaktivnog agregata koji ovisi o stupnju reaktivnosti minerala i o krupnoći zrna odnosno ukupnoj ploštini zrna izloženoj alkalijama. Sprečavanje oštećenja uslijed alkalno – silikatne reakcije postiže se dodavanjem određene količine pucolana ili drugih oblika reaktivnog  $\text{SiO}_2$  ( slika 3.4. )



*Slika 3.4. Primjeri oštećenja prilikom alkalno – silikatne reakcije*

#### □ **SLIJEGANJE**

Uslijed promjene opterećenja nekog područja mijenja se stanje naprezanja u tlu, što uzrokuje promjenu volumena tla. Vertikalna komponenta volumne deformacije naziva se slijeganjem. U slučajevima kada je tlo saturirano, najprije promjenu naprezanja preuzima voda (raste porni tlak). To izaziva neravnotežu u hidrauličkom polju u podzemnoj vodi, pokretanje vode s mjesta višeg potencijala prema mjestima nižeg potencijala. S vremenom kroz proces dreniranja porni tlak opada, te razliku naprezanja preuzimaju čvrste čestice (raste efektivno naprezanje). Sa stajališta građevinara voda je kruta u odnosu na zrnatu strukturu tla, te će do realizacije slijeganja doći postupnu sa opadanjem pornih tlakova i porastom efektivnih naprezanja. Taj proces naziva se konsolidacija. Slijeganjem se, u pravilu, smatra vertikalni pomak površine tla, odnosno temeljne konstrukcije, koji nastaje djelovanjem opterećenja na površinu tla ili temeljnu konstrukciju.



Površina tla, u ovom slučaju, može biti i tlo ispod građevine koje se može nalaziti na različitim dubinama. Slijeganje tla prate temelji, a time i cijela konstrukcija. ( slika 3.5. )



*Slika 3.5. Pojava pukotine uslijed slijeganja tla*

Uzroci slijeganja mogu biti različiti:

- isušivanje površinskih slojeva tla
- blizina drveća sa širokim korijenim sustavom
- puknuća cijevi, kanalizacijskih odvoda, i sl.
- iskopi u blizini građevine
- različitost u dimenzijama i dubinama temeljenja
- tla različitog litološkog sastava
- vibracije

Slijeganje je teško je procijeniti jer:

- tlo je nehomogeno,
- tlo ima složene odnose naprezanja i deformacija,
- teško je odrediti reprezentativne parametre deformabilnosti tla,
- nepraktična je primjena složenih teorija koje bolje opisuju tlo od teorije elastičnosti,
- slijeganje se slojeva kod koherentnih tala razvija s vremenom (konsolidacija).

Zbog toga je određivanje slijeganja u mehanici tla ispravnije nazvati procjenom (prognozom) nego proračunom.

Općenito se ukupno slijeganje može podijeliti na:

- trenutno slijeganje,
- primarno konsolidacijsko slijeganje
- sekundarno konsolidacijsko slijeganje.

Trenutno slijeganje nastupa neposredno nakon promjene opterećenja. Kod krupnozrnatih tala je to i najizraženija komponenta slijeganja. Kod slabopropusnih, potpuno saturiranih tala izazvano je samo promjenom oblika tla tj. bez promjene volumena (distorzionom deformacijom).

Primarno konsolidacijsko slijeganje posljedica je promjene i oblika i volumena uslijed istjecanja viška vode iz pora, a izrazito je sporo kod zasićenih slabopropusnih tala (glina, prah, jako zaglinjeni pijesak ili šljunak). Sekundarno konsolidacijsko slijeganje izazvano je puzanjem tla (deformacijom pri konstantnom opterećenju), a izraženo je kod koherentnih tala.

#### □ **SKUPLJANJE**

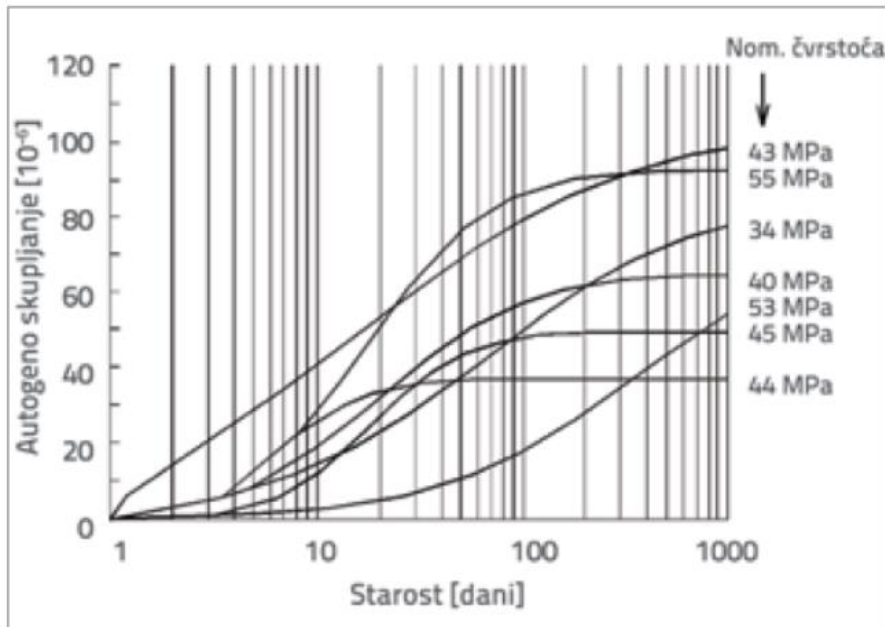
Skupljanje predstavlja vremensku deformaciju smanjenja volumena betona bez djelovanja vanjskih sila. Na vremenski tijek i konačne vrijednosti skupljanja utiče vrlo mnogo čimbenika: temperatura i vlažnost okoline, dimenzije elementa, vrsta i količina cementa, v/c faktor, granulometrijski i mineraloški sastav agregata, čvrstoća betona, način ugradnje i njega betona, starost betona u trenutku prekida njege i dr. Skupljanje se dijeli na:

- autogeno skupljanje
- plastično skupljanje
- skupljanje uslijed sušenja

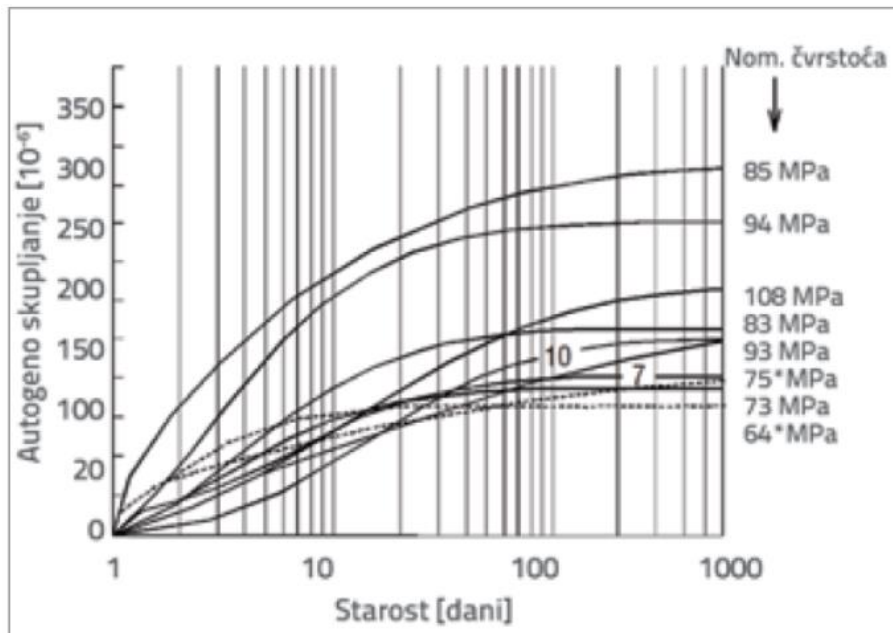
#### **Autogeno skupljanje**

Autogeno skupljanje betona, koje neki nazivaju i hidratacijsko skupljanje, posljedica je samoisušivanja u porama cementnog kamena zbog uporabe (konzumacija) vode u procesu hidratacije cementa. Veći dio autogenog skupljanja dogodi se već u prvom mjesecu, odnosno u prvim danima, a počinje već nekoliko sati poslije miješanja, što inače ovisi o vrsti mješavine.

Autogeno skupljanje ostaje manje od  $10^{-4}$  u betonima čiji je vodocementni omjer (v/c) veći od 0,45, ali povećava se vrlo brzo kada taj omjer pada ispod 0,40, i može dostići vrijednost do  $3 \times 10^{-4}$  ( slika 3.6. , slika 3.7. )



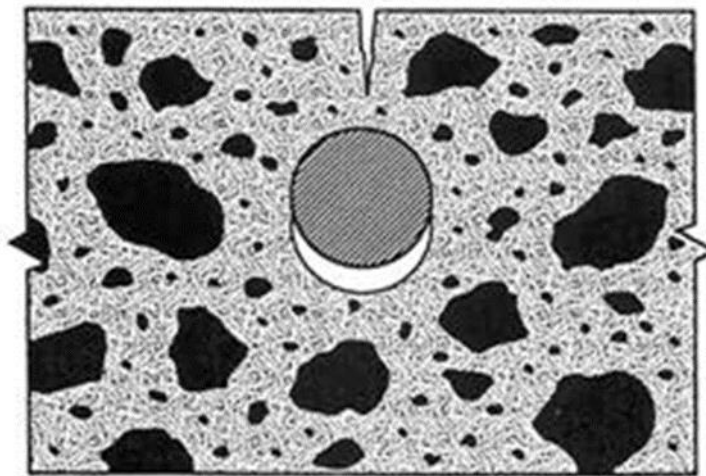
Slika 3.6. Autogeno skupljanje običnih betona



Slika 3.7. Autogeno skupljanje betona visoke čvrstoće

## Plastično skupljanje

Usljed gubitka vode evaporacijom s površine betona dolazi do smanjenja volumena dok je beton još u plastičnom stanju (prvih 10 - 12 sati od ugradnje) na nezasićenom zraku ( $RH < 95\%$ ) uz visoku temperaturu i snažan vjetar. Smanjenje volumena za cca 1% volumena cementa. Skupljanju površinskog sloja odupire se unutarnji dio betona, koji se još ne skuplja, što rezultira vlačnim naprezanjima u površinskom sloju. U slučaju kada su nastala naprezanja veća od vlačne čvrstoće mladog betona kao posljedica nastaju: plitke i dosta široke plastične pukotine ( slika 3.8. )



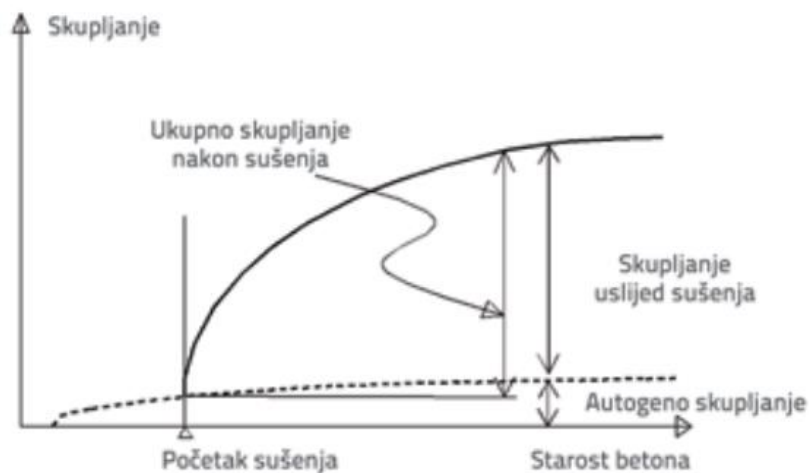
Slika 3.8. Deformacije prilikom plastičnog skupljanja

## Skupljanje uslijed sušenja

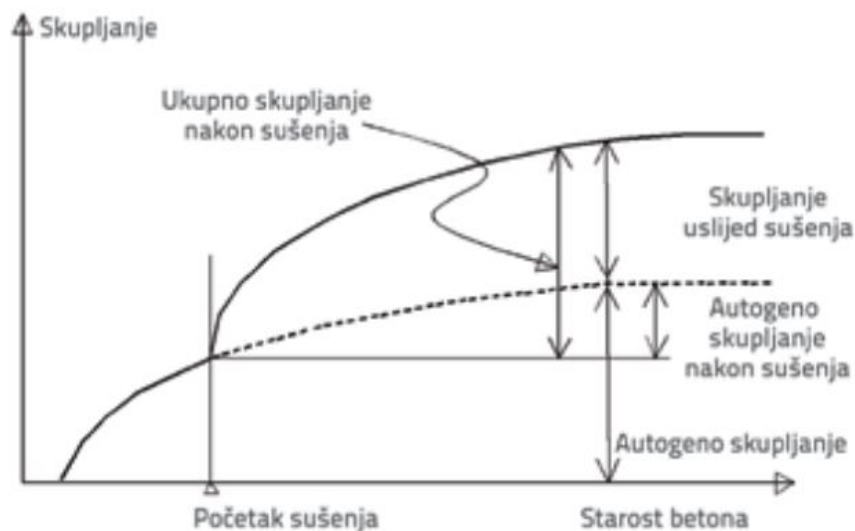
Skupljanje uslijed sušenja odnosi se na smanjenje volumena betona zbog gubitka vode iz betona. U početku slobodna voda izlazi na betonsku površinu u obliku mjehurića. Nakon isparavanja vode s površine dolazi do izvlačenja vode iz unutrašnjosti betonske mase. Stupanj sušenja mijenja se po debljini elementa, između njegove najveće vrijednosti (na površini) i najmanje vrijednosti (u jezgri). Skupljanje sušenjem varira između 2 i  $6 \times 10^{-4}$  i ovisi o mnogim parametrima. Parametri koji najviše utječu na tu vrstu skupljanja, poredani od najvećega prema najmanjemu utjecaju jesu: - debljina elementa

- poroznost ili količina slobodne vode u betonu
- volumen paste
- finoća veziva
- temperatura i relativna vlažnost.

Mali vodocementni omjer i mala propusnost betona visoke čvrstoće imaju značajnu ulogu pri skupljanju betona uslijed sušenja. Ako je vodocementni omjer tako mali, da se kod hidratacije cementa potroši gotovo sva voda i relativna vlažnost unutar betona padne ispod 80 %, onda zapravo nema razmjene vlage između betona i tipičnog vanjskog okoliša. Mala propusnost betona visoke čvrstoće također je uzrok da je sušenje betona, ako ga uopće ima, ekstremno malo. Tako je skupljanje uslijed sušenja kod betona visoke čvrstoće znatno manje nego kod betona uobičajene čvrstoće. Odnos autogenog skupljanja i skupljanja uslijed sušenja u ukupnom sušenju betona, i to običnog i betona visoke čvrstoće, prikazano je na dijagramima ( slika 3.9. , slika 3.10. )



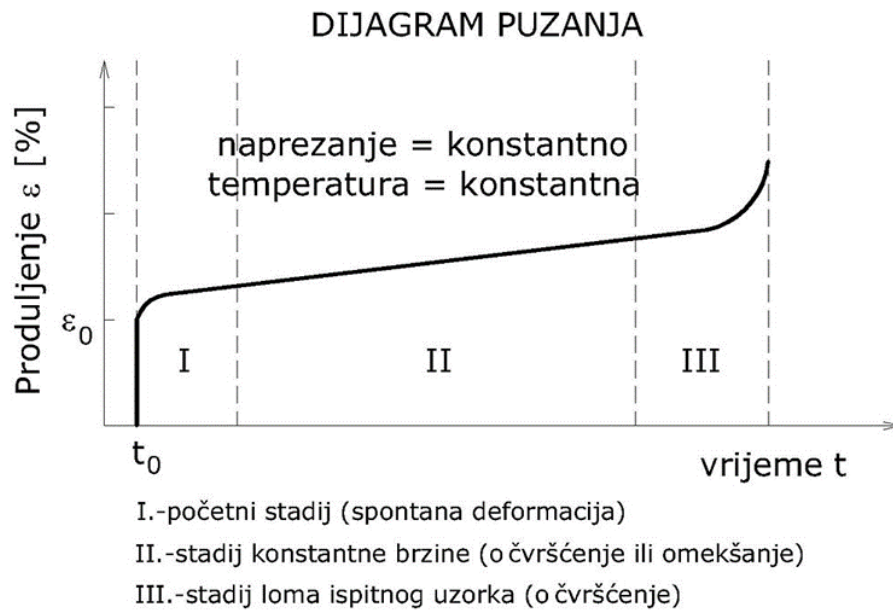
Slika 3.9. Skupljanje u običnom betonu



Slika 3.10. Skupljanje u betonu visoke čvrstoće

## □ PUZANJE

Povećanje deformacije pod trajnim djelovanjem naprezanja, nakon što se oduzmu dugotrajne deformacije, koje su posljedica skupljanja, bubrenja i temperaturnih promjena ( slika 3.11. ). Ovisi o: vlažnosti okoliša, dimenziji konstruktivnog elementa, sastavu betona, stupnju zrelosti betona.



*Slika 3.11. Dijagram puzanja*

### 3.1. KOROZIJA ARMATURE

Korozija armature je jedan od najčešćih uzroka propadanja armiranobetonskih konstrukcija. To utječe na sigurnost betonskih konstrukcija. Mnoge postojeće strukture pokazuju značajne štete od korozije, uglavnom zbog toga što nisu bile poduzete dovoljne ili odgovarajuće trajne mjere održavanja. Ekonomski učinak takvih oštećenja također je jako velik. Prema provedenim analizama u nekim zemljama ustanovljeno je da troškovi popravaka direktnih šteta uzrokovanih korozijom predstavljaju 1 – 5 % bruto društvenog proizvoda. U uobičajenim uvjetima okoliša kvalitetan beton pruža dobru antikorozivnu zaštitu armaturnom čeliku. Neposredno nakon procesa hidratacije na čeliku se stvara tzv. pasivni zaštitni sloj koji je nepropustan i stabilan sve dok je pH vrijednost dovoljno velika. Čelik na taj način nije izložen koroziji sve dok nije uništena pasivna zaštita. Dakle rizik korozije armature je minimalan u dobro projektiranoj konstrukciji s dovoljnom debljinom kvalitetno izvedenog zaštitnog sloja koji pruža kemijsku i fizičku barijeru koroziji. Prva posljedica procesa korozije kod betonskih konstrukcija smanjenje je poprečnog presjeka armature, a time i njezine nosivosti. Druga posljedica je da produkti korozije zauzimaju veći volumen nego čelik što uzrokuje vlačna naprezanja u betonu. Ako su vlačna naprezanja u betonu veća od njegove vlačne čvrstoće dolazi do pucanja betona i ljuštenje zaštitnog sloja. Uobičajeni vanjski znak pojave korozije armature može se vidjeti kada se pojave pukotine paralelne sa armaturom te smeđe mrlje na površini ( slika 3.12. ).



*Slika 3.12. Primjeri oštećenja prilikom korozije*

Korozija se može odvijati ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:

- prisustvo vode ili vlage
- prisustvo tvari otopljeni u vodi koje kemijski reagiraju s betonom

Brzina korozije ovisi o:

- vrsti i koncentraciji agresivnih tvari u vodi
- brzini toka vode koja oplakuje beton
- promjeni vodostaja ili naizmjeničnog vlaženja i sušenja
- trajanju djelovanja agresivnih tvari
- postojanju jednostranog tlaka vode na beton
- temperaturi betona i vodene otopine

Proces korozije odvija se u više faza:

- 1.faza: - beton izgleda „zdrav“
- pojava prvih mikropukotina
  - nema smeđih mrlja od nastanka hrđe ( slika 3.13. )



*Slika 3.13. Pojava mikropukotina*

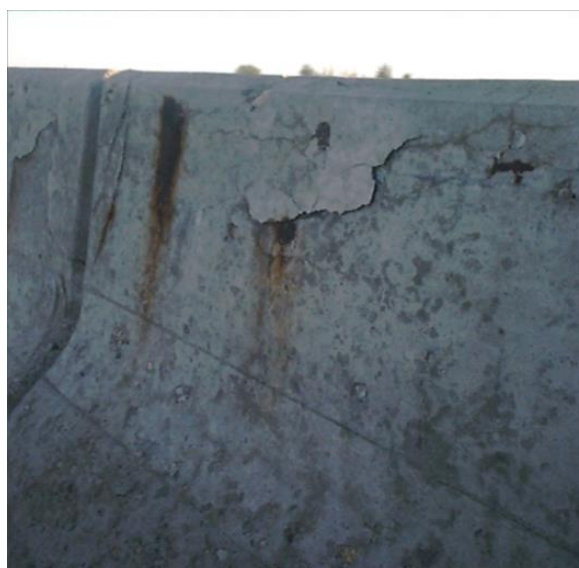


- 2.faza: - vidljive mikropukotine  
- smeđe mrlje od nastanka hrđe – produkta korozije ( slika 3.14. )



*Slika 3.14. Pojava smeđih mrlja*

- 3.faza: - jasno vidljivo odvajanje betonskog zaštitnog sloja iznad armaturene šipke  
- odvajanje nastupa uslijed većeg volumena korozijskih produkata ( slika 3.15. )



*Slika 3.15. Odvajanje betonskog zaštitnog sloja*

- 4.faza: - potpuno odvajanje betonskog zaštitnog sloja ( slika 3.16. )  
- otvorene korodirane šipke armature izravno izložene daljnjim djelovanjima



*Slika 3.16. Vidljivo potpuno odvajanje zaštitnog sloja*

## 4. SANACIJA

Svi su suglasni koji bi trebao biti cilj i kvaliteta izvedenih radova na sanaciji betonske građevine. Projektant, investitor ili izvođač moraju se sveobuhvatno informirati i školovati te biti svjesni visokih zahtjeva koje struka i zakonodavac postavljaju za radove na sanaciji kako bi se osigurali od mogućih grešaka i njihovim posljedicama. Tek nedavno, od 60 – tih godina prošlog stoljeća sazrela je spoznaja važnosti trajnosti betonskih konstrukcija. Istovremeno se sanacija betonskih građevina već izdvojila kao zasebno područje rada u kojem se razvijaju novi postupci i proizvodi. Kod sanacije najveću pažnju treba posvetiti projektiranju i nadziranju radova. Za procjenu stanja građevine i projektiranje popravaka i zaštite betonskih konstrukcija mora se angažirati projektant koji posjeduje sva potrebna znanja i iskustvo na sanaciji betonskih konstrukcija. Jedan od problema sanacije betonskih konstrukcija je taj da same radove često nisu projektirali dovoljnoiskusni inženjeri. Često se u opisu radova troškovnika sanacije armiranobetonskih konstrukcija navodi samo veličina mjesta oštećenja bez navođenja dubine oštećenja. Popunjavanje pukotina i šupljina u betonu tijekom radova na sanaciji betonskih konstrukcija jedan je od značajnijih i često neizbježnih radova uz ojačavanje konstrukcije i zaštitu vanjskih ploha u cijelosti. Osnovna podloga popravaka i zaštite pukotina i šupljina u betonu je detaljna ocjena njihovog utjecaja na nosivost, uporabljivost i trajnost armiranobetonskog konstrukcijskog elementa.

Sanacija se može podijeliti u 4 grupe: 1. lokalni popravci ili „patching“

2. sanacija pukotina

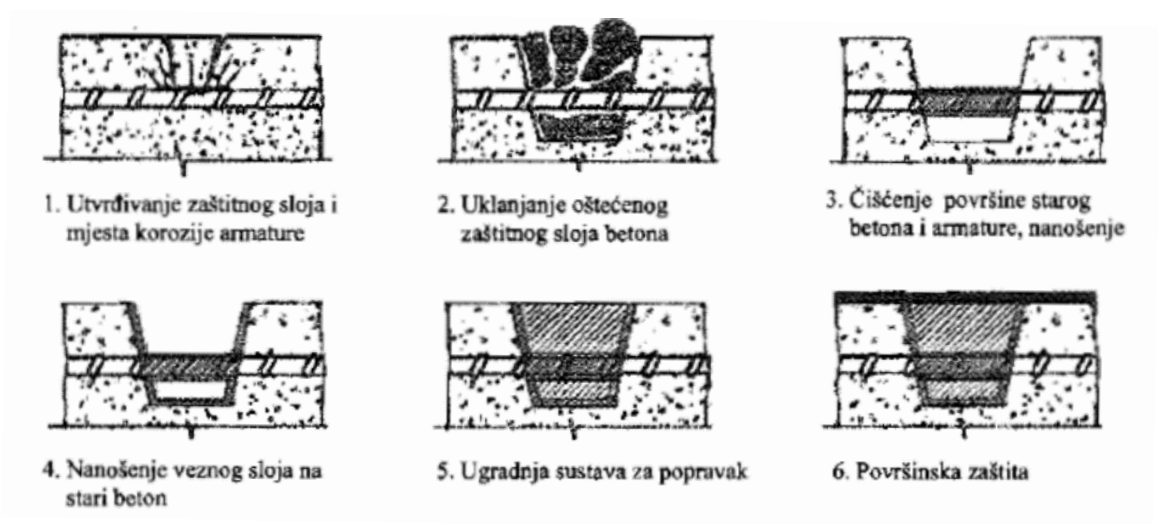
3. izvođenje površinske zaštite

4. sanacija ab stupova prilikom potresa pomoću FRP obloga

## 4.1. LOKALNI POPRAVCI ILI „PATCHING“

Postupak „patching“ ( engl. „zakrpa“ ) tehnika je popravaka betonske konstrukcije kojom se zamjenjuje oštećeni, nezdravi ili kontaminirani beton novim materijalom koji može biti: novi beton, sanacijski mort ili neki drugi materijal. Svrha ove tehnike popravaka je obnova estetskih i geometrijskih svojstava konstrukcije u cilju očuvanja sigurnosti konstrukcije i povećanja

trajnosti. U slučaju da se radi o armiranobetonskoj konstrukciji na kojoj je uočena korozija armature ili se zbog tankog, nepostojećeg ili kontaminiranog zaštitnog sloja sumnja da postoji, popravak zaštitnog sloja uključuje i čišćenje korodirane armature, te nanošenje zaštite od daljnjeg razvoja korozije prije nanošenja novog zaštitnog sloja. Nanošenjem novog sloja materijala za popravak ili sustava za popravak provodi se reprofilacija, tj. obnova površinskog sloja. „patching“ se definira kao bilo koji popravak koji uključuje zamjenu oštećenog betona bez obzira na veličinu površine koja se sanira. Zbog toga se slučajevi koji obuhvaćaju popravak velikih površina mogu shvatiti kao konstrukcijska ojačanja. ( slika 4.1. ).



Slika 4.1. Osnovne faze popravaka zaštitnog sloja

Ova tehnika je vrlo jeftina, brza i učinkovita ako se pravilno izvede. S druge strane, ako se ne izvede pravilno nema nikakve koristi. Da vi popravak bio uspješan vrlo je bitno da je betonska površina dobro pripremljena. To znači sa površina mora biti očišćena od svih nečistoća, te se mora pravilno nanijeti vezni sloj, a novi materijal za popravak mora biti kompatibilan sa starim betonom. Vrlo je učinkovita metoda gdje nije potrebno pojačavanje konstrukcije i obično se rabi u slučajevima kada nije ugrožena nosivost konstrukcije.

Ovom se tehnikom ne mijenja osnovni profil konstrukcije, nego se samo obnavlja i zato karakteristike konstrukcije ostaju iste kao i prije sanacije. Tehnologija izvođenja se odvija u 5 faza:

1. utvrđivanje mjesta oštećenja i potrebe za izvođenjem zahvata
2. uklanjanje betona
3. priprema površine
4. priprema armature
5. ugradnja sanacijskih slojeva

### Utvrđivanje mjesta oštećenja i potrebe za izvođenjem zahvata

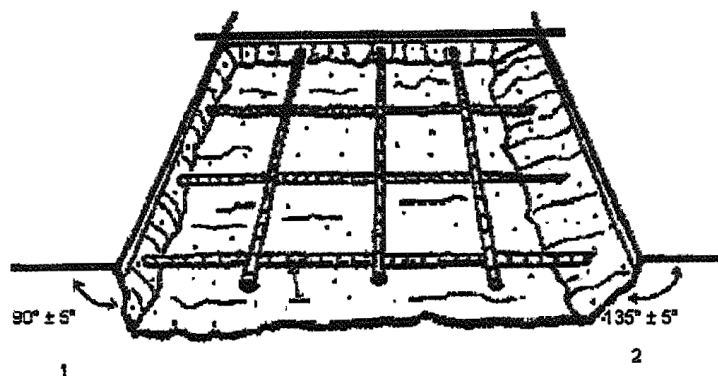
Samim tehnološkim fazama izvođenja prethodi utvrđivanje obujma i pozicije oštećenog zaštitnog sloja, te stupnja eventualne korozije armature

### Uklanjanje betona

Pri uporabi metoda koje zahtijevaju uklanjanje betona treba poštivati sljedeće zahtjeve:

- opseg uklanjanja treba biti prikladan načelu izabranom iz norme HRN ENV 1504-9:2001
- opseg uklanjanja treba biti prikladan odabranoj metodi i treba biti unaprijed određen
- uklanjanje treba biti minimalno
- uklanjanje ne smije smanjiti strukturnu cjelovitost i utjecati na funkcionalnost konstrukcije

Granice uklanjanja oštećenog betona potrebno je prilagoditi što jednostavnijem postupku popravaka ( pravilni oblik ), a ne pratiti strogo granice oštećenja ( nepravilan oblik ). Rubovi uklonjenog betona trebali bi biti po minimalnim kutom od  $90^\circ$  kako bi se izbjeglo odlamanje rubova, te pod maksimalnim kutom od  $135^\circ$  kako bi se osigurala što bolja veza s okolnim zdravim betonom ( slika 4.2. )



Slika 4.2. Rubovi uklonjenog betona, 1-minimalni kut, 2-maksimalni kut

### **Priprema površine**

Priprema površine betona jedan je od najvažnijih koraka kod izvođenja popravaka reprofilacijom. Priprema površine sastoji se od postupaka koji slijede nakon uklanjanja oštećenog betona. Uspješnost popravaka najviše ovisi o stanju pripremljene površine betona, a manje o kvaliteti i troškovima sanacijskog sustava koji se kasnije nanosi. Priprema površine uključuje čišćenje i hrapavljenje površine betona, u svrhu poboljšanja veze između starog i novog sanacijskog sustava. Na slici 4.3. prikazana je faza popravka armiranobetonskog stupa nadvožnjaka, a može se vidjeti pripremljena betonska površina za nanošenje novog sustava.

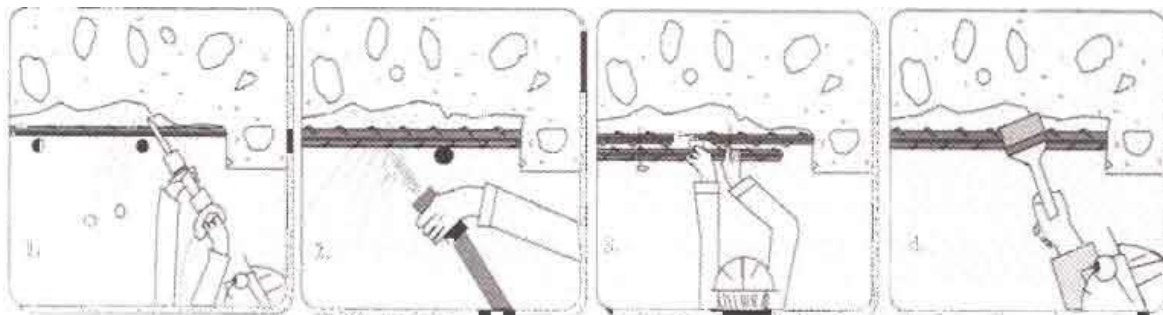


*Slika 4.3. Pripremljena površina betona i armature za nanošenje sloja novog morta*

### **Priprema armature**

Jedan od glavnih uzroka razaranja i odvajanja zaštitnog sloja betona je korozija armature, tako da je priprema armature također jedan od bitnih koraka kod provođenja popravaka reprofilacijom, tj. „patchingom“. Nakon uklanjanja oštećenog betona potrebno je osloboditi armaturu ( ovisno o zahtijevanoj dubini uklanjanja betona ), procijeniti stanje armature, te pripremiti armaturu za daljnje postupke popravaka. Pravilan način pripreme armature osigurat će dugotrajnije rješenje problema. Prvi korak pripreme armature uklanjanje je preostalog betona oko armature, ako je to potrebno, ovisno o dubini prethodno uklonjenog betona. Tijekom uklanjanja betona oko armature posebno treba paziti da se dodatno ne ošteti armatura, te da se ne unose vibracije koje bi smanjile vezu s postojećim betonom.

Na slici 4.4. prikazane su osnovne faze pripreme armature.



*Slika 4.4. Priprema armature: 1. uklanjanje okolnog betona, 2. priprema površine i čišćenje armature, 3. dodavanje nove armature, 4. zaštita armature*

### **Ugradnja sanacijskih slojeva**

Slojevi za popravak mogu se ugrađivati na nekoliko načina, ovisno o debljini uklonjenog sloja betona, dimenzijama i položaju površine koja se sanira ( slika 4.5 ).



*Slika 4.5. Popravak naglavne grede i stupa nadvožnjaka reprofilacijom*

## **4.2. SANACIJA PUKOTINA**

Iako pojava pukotina u armiranom betonu nije neobična, pukotine mogu imati negativan utjecaj na nosivost, funkcionalnost i trajnost konstrukcije, te je u takvim slučajevima potrebno poduzeti određene sanacijske mjere. Međutim, prije svega potrebno je utvrditi uzrok nastajanja pukotina. Prije poduzimanja sanacijskih postupaka potrebno je utvrditi je li popravak uopće potreban. Pukotine koje nastaju u betonu mogu se podijeliti na više tipova ovisno o samom uzroku nastajanja pukotina, orijentaciji, dubini, širini pukotine, itd. Kroz nastale pukotine na površini betona ulaze štetne tvari koje mogu ugroziti armaturu i razoriti strukturu betona. Ako se radi o pukotinama nastalim uslijed djelovanja opterećenja ( konstrukcijske pukotine ), mora se spriječiti njihovo daljnje širenje, te primijeniti metode ojačanja konstrukcije i restauracije betona.

Postupci sanacije pukotina mogu biti:

1. površinska zaštita polimerima
2. nadsvođenje pukotine
3. utiskivanje suhog materijala
4. zarezivanje i brtvljenje
5. injektiranje smolama
6. povezivanje

### **POVRŠINSKA ZAŠTITA POLIMERIMA**

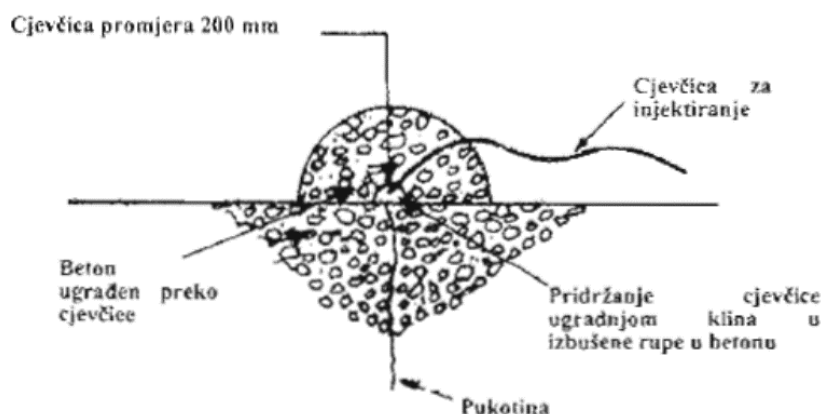
Upotreba monomera može biti vrlo učinkovita za popravak nekih pukotina. Upotrebljava se tekućina koja sadrži monomere koji kasnije polimeriziraju i pretvaraju se u krutu stvar. Imaju vrlo malu viskoznost i lako se upijaju u suhi beton i ispunjavaju pukotine gotovo jednako kao voda. Pod utjecajem topline monomeri započinju vezanje ili polimerizaciju te na taj način tvore čvrst i trajan plastičan sloj koji štiti beton. Ako su neke pukotine vlažne, monomer se neće upiti u svaku pukotinu betona i popravak neće biti zadovoljavajući.

### **NADSVODENJE PUKOTINE**

Ovaj postupak uglavnom se rabi za sanaciju pukotina nastalih u masivnim betonskim elementima uslijed površinskog sušenja i ostalih uzroka koji se mogu proširiti na novi beton tijekom daljnje gradnje. Takve se pukotine mogu zaustaviti postupkom nadsvođenja pukotina, proširivanjem vlačnog naprezanja na veću površinu. Preko pukotine se postavi komadić odgovarajuće membrane za sprečavanje vezivanja ili čelična mrežica prije nastavka betoniranja. Također se može postaviti cjevčica polukružnog presjeka. Nakon toga počinje se sa ugradnjom betona. Beton se ugrađuje ručno koncentrično preko cjevčice.



Te cjevčice se kasnije koriste za obnovu kontinuiteta strukture ( slika 4.6. )



Slika 4.6. Postupak nadsvodjenja pukotine

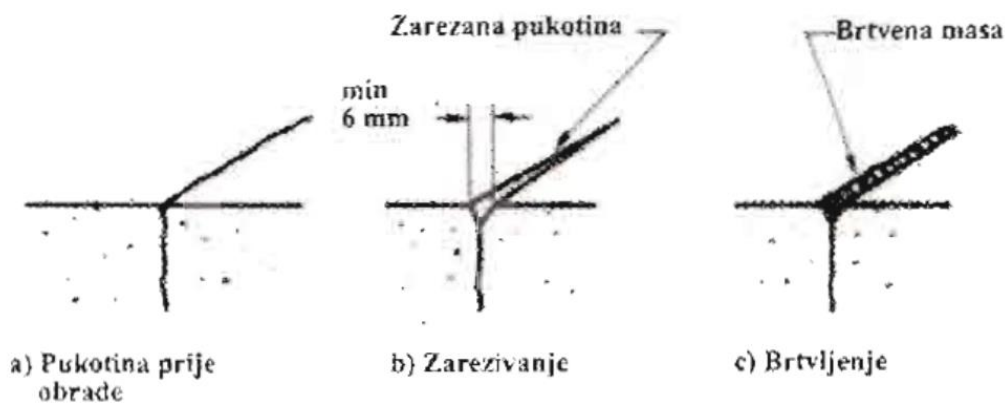
## UTISKIVANJE SUHOG MATERIJALA

Izvodi se ručnom ugrađnjom morta sa malim udjelom vode. Nakon toga se ugrađeni materijal nabija, te se na taj način postiže dobra veza ugrađenog morta s postojećim betonom. Skupljanje je malo, zbog malog vodocementnog omjera tako da to mjesto ostaje čvrsto i ima dobru trajnost, čvrstoću i vodonepropusnost. Prije ugrađnje sanacijskog morta potrebno je pukotinu na površini proširiti do otprilike 25 mm širine i 25 mm dubine i tako da je širina baze veća od širine na površini. Nakon što je pukotina dobro očišćena i osušena nanosi se vezni sloj za bolju prionjivost novog morta i postojećeg betona. Odmah nakon toga potrebno je započeti sa ugrađnjom suhog morta. Mort se sastoji od cementa i pijeska u omjeru 1:3 i vode dovoljno da se povežu cement i mort za vrijeme formiranja grude morta u ruci. Mort se nanosi u slojevima debljine 10 mm jedan za drugim. Svaki sloj treba dobro zbiti batom ili čekićem, a svaki prethodni sloj malo izgrebati kako bi se postigla što bolja veza sa sljedećim slojem. Na kraju je potrebno njegovati mort vodom ili sredstvom za njegu.

## ZAREZIVANJE I BRTVLJENJE

Može se primijeniti kada nije potrebna obnova strukture betona. Uključuje proširenje pukotine na površini i popunjavanje prikladnim sredstvom za brtvljenje. Ova je tehnika uobičajena kod sanacije pukotina i relativno je jednostavna u odnosu na tehniku injektiranja smolama. Najčešće se upotrebljava na horizontalnim površinama kao što su podovi i kolnici. Može se izvesti i na vertikalnim površinama kao i na zakrivljenim površinama. Koristi se za sanaciju sitnih mrežastih pukotina i većih izoliranih pukotina. Ova tehnika dobra je i efikasna za sanaciju pukotina na

betonskim površinama gdje se zadržava voda ili gdje je prisutan hidrostatički tlak, te smanjuje prodor vode i vlage u beton. Kao sredstvo za brtvljenje mogu se koristiti epoksidne smole, silikoni, asfaltni materijali ili polimerni mortovi. Treba izbjegavati cementne mortove zbog mogućnosti pucanja. Također bi trebao materijal biti otporan na atmosferske promjene i ne smije biti krhak. Proces sanacije pukotine sastoji se od zarezivanja pukotine do dubine od 6 – 25 mm, pri tome se može upotrijebiti pila, ručni ili pneumatski alat. Nakon toga se sve dobro očisti pjeskarenjem, mlazom vode ili zraka, te se ostavi da se osuši. Zatim se ugrađuje materijal za brtvljenje ( slika 4.7. ).

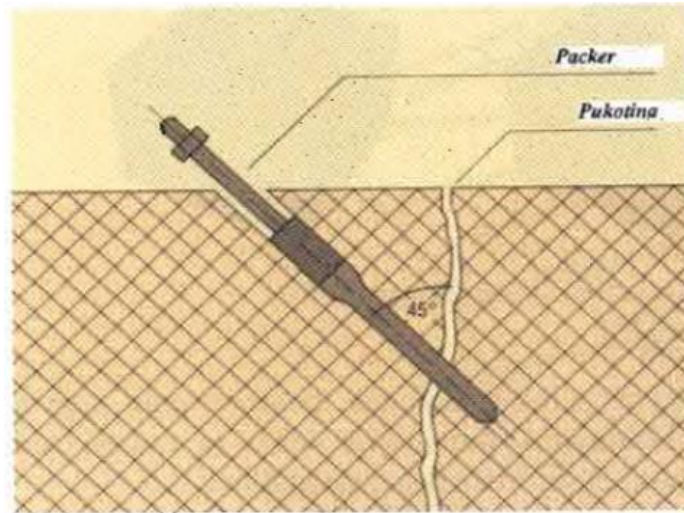


Slika 4.7. Sanacija pukotine zarezivanjem i brtvljenjem

## INJEKTIRANJE SMOLAMA

Pukotine širine 0,05 mm mogu se ispunjavati injektiranjem smolama. Tehnika se općenito sastoji od postavljanja packera uzduž pukotine, brtvljenja pukotine na vidljivim mjestima i injektiranja smole pod tlakom. Injektiranje smolama pokazalo se vrlo učinkovito kod popravaka pukotina nastalih na zgradama, mostovima, branama, i ostalim betonskih konstrukcijama. Ako uzrok nastanka pukotine nije uklonjen vjerojatno će se pojaviti nova blizu stare pukotine. Ako se uzrok pukotine ne može ukloniti mogu se primijeniti dvije mogućnosti. Jedan je način sa se pukotina pretvori u rešku koja će prihvaćati pomake, a zatim se injektira smolom ili nekim drugim prikladnim materijalom. Priprema za injektiranje obuhvaća zasijecanje traga pukotine u obliku slova „V“ što se izvodi lakim ručnim alatima. Nakon čišćenja i ispuhivanja utor se zatvara brzovezajućim mortom. Nakon očvršćivanja brtve od epoksidnog morta pristupa se bušenju rupa za ugradnju packera.

Rupe se buše pod kutom od  $45^\circ$  na površini betona, naizmjenice lijevo – desno od traga pukotine ( na udaljenost cca 25 – 35 cm) tako da svaka probije ravninu širenja pukotine ( slika 4.8. ). U rupe se ugrađuju packeri, prema uputi proizvođača te se pristupa utiskivanju mase za injektiranje. Po završetku postupka i nakon vremena vezivanja packeri se izvade ili odrežu, a masa za betoniranje traga pukotine se sa brusilicom poravna. ( slika 4.9. )



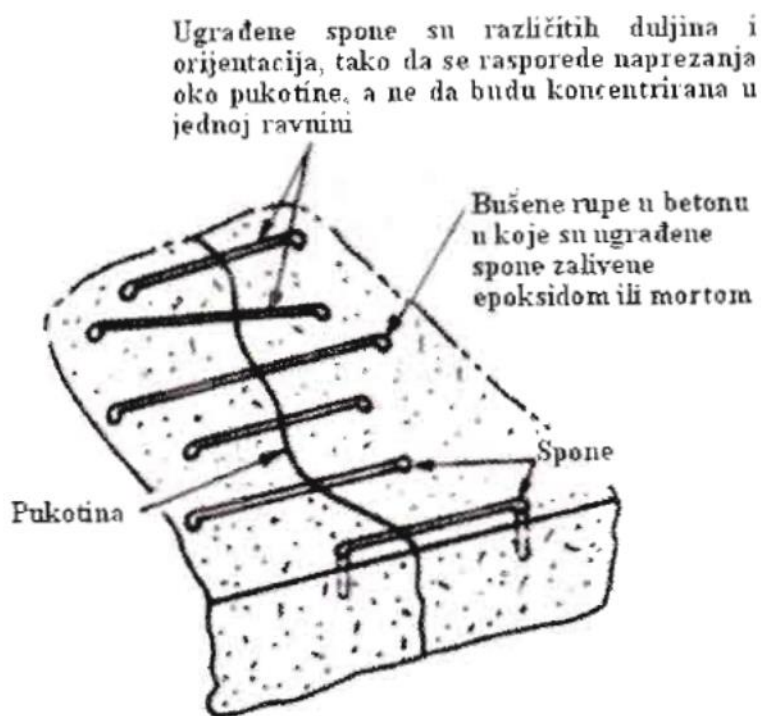
*Slika 4.8. Injektiranje pukotine ugradnjom packera*



*Slika 4.9. Oprema za injektiranje smole*

## POVEZIVANJE

Povezivanje uključuje bušenje rupa s obje strane pukotine i ugradnju spona u oblike slova „U“ okomito na pukotinu. Ova se tehnika upotrebljava kada je potrebno obnoviti vlačnu čvrstoću preko velikih pukotina. Primjenom ove tehnike povećava se krutost i nosivost elementa i može uzrokovati pucanje na drugom mjestu. Ponekad može biti potrebno ojačati okolni dio elementa dodatnom armaturom. Dakle, tehnika se sastoji od bušenja rupa s obje strane, čišćenja rupa i sidrenja spona u izbušene rupe, koje se zatim ispunjavaju mortom ili epoksilnom smolom. Spone mogu biti različitih duljina i smjerova, a treba ih postaviti tako da se vlačno naprezanje prenosi cijelim područjem, a ne preko samo jedne spona ( slika 4.10. ).



Slika 4.10. Sanacija pukotine postupkom povezivanja

### 4.3. POVRŠINSKA ZAŠTITA

Postoji nekoliko različitih razloga zašto je potrebno primijeniti površinsku zaštitu oštećenih betonskih konstrukcija, a neki od njih su sprečavanje daljnjeg propadanja betona uslijed djelovanja agresivnih tvari i vremenskih utjecaja. Ispravno projektirane armirano betonske konstrukcije mogu imati odličnu trajnost u većini slučajeva djelovanja okoliša, ali u nekim je slučajevima ipak potrebno primijeniti površinsku zaštitu kako bi se produljio životni vijek konstrukcije. Naravno pozitivni učinak površinske zaštite ima najbolje djelovanje ako se primijeni na samom početku inicijacije, a ne u trenutku kada agresivne tvari dosegnu svoju kritičnu vrijednost u betonu. U tom smislu površinsku zaštitu dobro je nanositi tijekom same izgradnje nove konstrukcije. Kod zaštite starih konstrukcija gdje je proces propadanja već započeo primjenom površinske zaštite može se usporiti daljnji napredak propadanja i produljiti životni vijek konstrukcije. Svojstva površinskih zaštita ovise o vrsti materijala od kojeg se izvodi zaštita. Za dobro postizanje željenog učinka površinske zaštite važno je da se ona nanosi ispravno na dobro pripremljenu površinu betona. U cilju postizanja zadovoljavajuće penetracije i adhezije nanesenog proizvoda na betonsku površinu potrebno je osigurati čistu površinu bez tragova ulja, masti, prašine, ostataka materijala. Priprema površine može se izvesti na sljedeće načine: pranjem vodom, čišćenjem parom, pranjem mlazom vode pod velikim tlakom, pjeskarenjem, čišćenjem plamenom, mehaničkim i kemijskim čišćenjem. Sustavi površinske zaštite možemo podijeliti na:

1. impregnaciju
2. hidrofobnu impregnaciju
3. premaz

Površina zaštićena hidrofobnom impregnacijom odbija vodu, impregnacija stvara diskontinuirani tanki sloj koji djelomično ispunjava kapilare, a premazi stvaraju kontinuirani sloj na površini ( slika 4.11. ).



Slika 4.11. Vrste površinske zaštite: a) impregnacija, b) hidrofobna impregnacija, c) premaz

## IMPREGNACIJA

Impregnacija je površinska zaštita kojom se smanjuje poroznost površine i očvršćava tj. povećava tvrdoća površine. Pore i kapilare se djelomično ili potpuno ispunjene. Kao površinska zaštita impregnacija se rijetko rabi sama za sebe, u većini slučajeva se upotrebljava prije nanošenja premaza.

## HIDROFOBNA IMPREGNACIJA

Hidrofobna impregnacija je zaštita betona koja stvara površinu odbojnom za vodu. Pore i kapilare su iznutra obložene, ali nisu ispunjene. Na površini betona ne postoji film i vidljiva je vrlo mala ili gotovo nikakva promjena izgleda površine ( slika 4.12. ).



*Slika 4.12. Usporedba površine koja nije zaštićena i površine tretirane hidrofobnom impregnacijom*

Hidrofobni agensi povećavaju kontaktni kut (kut močenja) između tekućine i zida preko 90° i na taj način sprečavaju ulazak tekućine u strukturu betona. Neovisno o sastojku nakon reakcije s cementom u strukturi betona konačan produkt je silikon koji nakon toga postaje odbojan za vodu. Može se nanositi valjkom ili prskanjem. Najčešća metoda nanošenja hidrofobne impregnacije je prskanje, budući da je većina površina na koje se nanosi zaštita vrlo velika ( slika 4.13. ).



*Slika 4.13. Postupak nanošenja hidrofobne impregnacije prskanjem*

## **PREMAZI**

Nanošenjem premaza stvara se kontinuirani zaštitni sloj na površini betona, koji na taj način u potpunosti štiti površinu betona. Premaz se nanosi u nekoliko slojeva. Trajnost premaza ovisi o njegovom sastavu i debljini nanesenog sloja. Premazi se mogu nanositi četkom, valjkom, krpom ili prskanjem. Kod nanošenja premaza bitna je vlažnost i temperatura površine. Proizvođač treba deklarirati maksimalnu i minimalnu temperaturu nanošenja. Obično se temperatura kreće od 5°C do 30°C. Mnogi se sustavi premaza nanose u više slojeva.

Neki se nanose mokro na mokro, a drugi zahtijevaju sušenje prije nanošenja sljedećeg sloja. Debljina sloja je jako važna, budući da o njoj ovise mnoga svojstva premaza ( slika 4.14. , slika 4.15. ).



*Slika 4.14. Betonska površina prije nanošenja premaza*

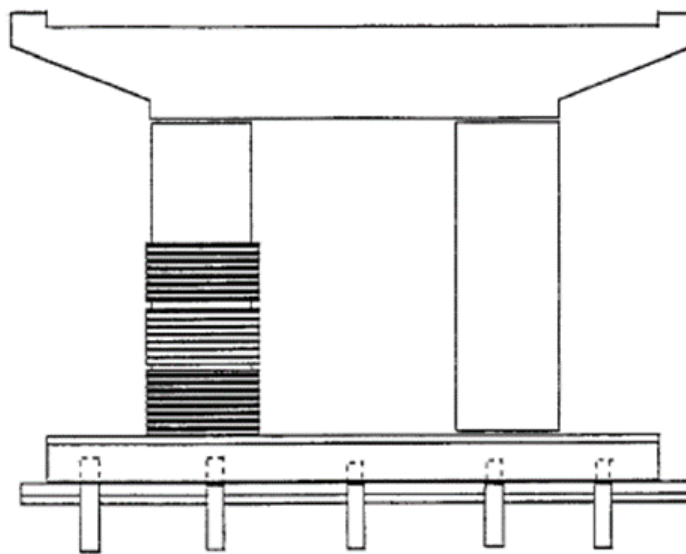


*Slika 4.15. Betonska površina zaštićena premazom*



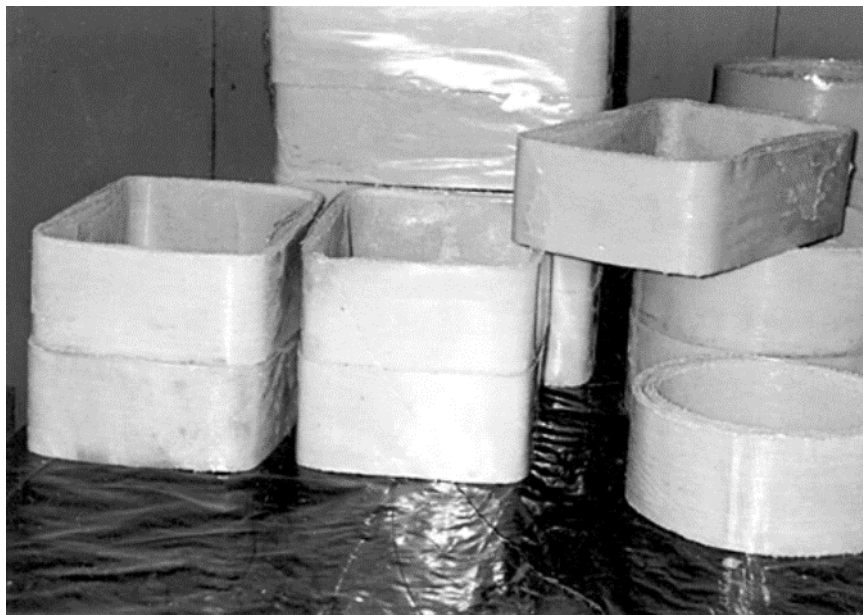
#### 4.4. SANACIJA AB STUPOVA PRILIKOM POTRESA POMOĆU FRP OBLOGA

Istraživanje je pokazalo da usko raspoređena poprečna armatura u betonskom stupu znatno povećava tlačnu čvrstoću i učinkovita krajnja tlačna naprezanja u jezgri betona. Primjena kompozitnih materijala u građevinarstvu i infrastrukturi uvelike se povećalo u posljednjih godina. To je prije svega zbog svoje visoke čvrstoće, male težine, otpornosti na koroziju, niske cijene, svestranost. Popravak od potresnog oštećenja armiranobetonskih stupova u vrlo rizičnoj seizmičkoj zoni je često potrebno. Zbog toga se stavlja FRP obloga. FRP kompozitna obloga izrađena je od visoko čvrstih staklenih vlakana u obliku tkanine, omotane oko oštećenog stupa u obliku neprekidnog prstena. Kompozitne trake posjeduju dovoljno fleksibilnosti da se lako omotaju oko kružnog ili pravokutnog presjeka armiranobetonskog stupa ( slika 4.16. ).



*Slika 4.16. Obloženi i neobloženi betonski stup*

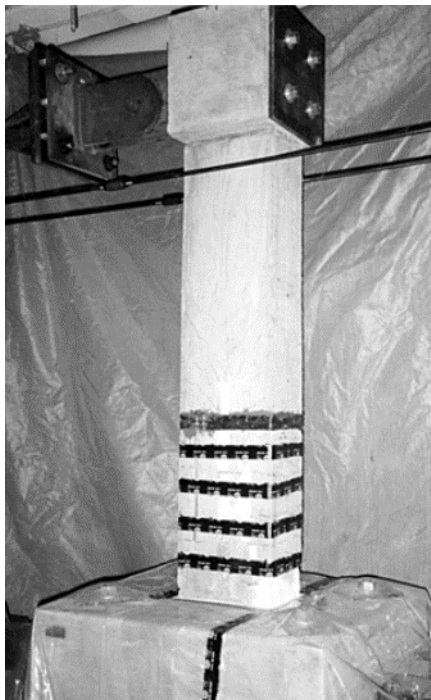
Konstruiranje kompozitnih obloga uključuje nanošenje ravne dugačke trake staklene tkanine zasićene s poliesterskim smolama. Sloj od mylar folije se zatim stavlja na vlažnu traku te se zatim sve to za rola oko osovine koja predstavlja veličinu i oblik stupa te se stavlja u peć na pečenje. Mylar folija predstavlja da se spriječi lijepljenje kompozitne trake prilikom stvrđivanja ( slika 4.17. ).



*Slika 4.17. FRP kompozitne trake za seizmičke popravke*

Postupci popravaka sastoje se od odlamanja betona u oštećenim zonama, punjenja praznina sa svježim betonom te primjenom aktivnog plana. Aktivni plan sastoji se od omatanja stupaca s nešto ogromnijom FRP oblogom (3mm) i punjenja praznine između stupa i kompozitne obloge pjenom pod tlakom. Prvi korak u popravku uključuje zamjenu krhotine i oštećenog betona sa brzim postavljanjem novog betona te dorade površine do njenog izvornog oblika i dimenzije ( slika 4.18. ). Na temelju projektnih zahtjeva, šest ili osam slojeva omotavaju se oko kružnog ili pravokutnog stupa ( slika 4.19. ). Broj slojeva je izabrano na osnovu dodatnog ograničenog pritiska potreban da se stup dovede do sadašnjeg dizajnerskog standarda. Tanki sloj dvokomponentnog nisko viskozno ljepila namaže se na oblogu prije nego se omotava oko stupa. Svaki prsten je širok 151 mm i stavlja se duž visine stupa. Završni korak popravka je ubrizgavanje pjene pod tlakom

između kompozitne obloge i betonske površine. Cijevne stezaljke na vrhu i na dnu popravljene zone sprečavaju istjecanje pjene tijekom prešanja.



*Slika 4.18. Zamjena oštećenog betona i površinska obrada stupa do izvornog oblika*



*Slika 4.19. Omotavanje kontinuiranog FRP kompozitnog prstena u mnoštvo slojeva oko oštećene zone stupa*

## 5. Zaključak

Dugo vremena se smatralo da je uporabni vijek armiranobetonskih konstrukcija neograničen, odnosno da je njihovo svojstvo trajnosti tijekom vremena neiscrpno. Praksa je pokazala da se ubrzano propadanje i skraćenje uporabnog vijeka javlja kod velikog broja armiranobetonskih konstrukcija. Osobito problematičnim su se pokazale one armiranobetonske konstrukcije kod kojih je izveden tanak zaštitni sloj betona, metalni dijelovi izviruju na površinu betona ili je beton porozan. Da bi se ostvarile trajne betonske konstrukcije potrebna je uspješna kombinacija osiguranja trajnosti materijala – betona, ispravnog konstruiranja pojedinosti (detalja) i projektantskog koncepta čitave konstrukcije. Stoga je potrebno temeljito poznavanje mehanizama degradacije materijala i konstrukcije s jedne strane te ponašanja i svojstava same konstrukcije s druge strane. Osnovni preduvjet dobrog rezultata popravaka i zaštite je ispravno i detaljno utvrđivanje postojećeg stanja prije zahvata te razrada koncepta, poželjno je više njih gdje će se razraditi plan provedbe mjera i njihov redosljed, detaljan opis i njihov utjecaj u konačnici. Poznavanje stvarnog stanja konstrukcije važno je i zbog realne procjene troškova popravaka i zaštite. Prihvaćanje novih normi i pravilnika u sklopu usklađivanja s europskim pravilima za armiranobetonske konstrukcije, što obuhvaća i radove na popravku i zaštiti dovelo je i do novih razmišljanja o poboljšanju trajnosti armiranobetonskih i prednapregnutih konstrukcija. Postoji veliko neistraženo područje ponašanja vidno oštećenih ab stupova koji zauzimaju veliki udio u eksploataciji objekata izgrađenim u prošlom stoljeću, a koji se još i danas naveliko koriste. Potrebno je odgovoriti na pitanje njihove nosivosti, vijeka trajanja te ugroženosti cijelog objekta jer je taj dio nedovoljno istražen.

## 6. Literatura

- [1] J. Radić – Trajnost konstrukcija I; Hrvatska sveučilišna naklada, Jadring, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, Zagreb 2010;
- [2] J. Radić – Betonske konstrukcije - Priručnik; Hrvatska sveučilišna naklada, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, Andris, Zagreb 2006;
- [3] Alen Harapin, Jure Radnić – Osnove betonskih konstrukcija – interna skripta; Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, listopad 2013
- [4] Orešković M. – Predavanja iz Betonskih konstrukcija, Sveučilište Sjever, 2012-2016
- [5] J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008;
- [6] Merima Šahinagić – Isović, Goran Markovski, Marko Čećez – Deformacije skupljanja betona – uzroci i vrste, Građevinar 9/2012, 727-734
- [7] Repair of Earthquake – Damaged RC Columns with FRP Wraps, Hamid Saadatmanesh, Mohammad R. Ehsani, Limin Jin, ACI Structural Journal / March-April 1997
- [8] В. В. Габрусенко: Аварии, дефекты и усиление железобетонных и каменных конструкций, Общество железобетонщиков Сибири и Урала, Новосибирск, 1994
- [9] СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ОРГРЭС: Методические указания по обследованию строительных конструкций производственных зданий и сооружений тепловых электростанций Москва 2001
- [10] S. Kono, H. Bechtoula, M. Sakashita, H. Tanaka, F. Watanabe, and M.O. Eberhard: Damage Assessment of Reinforced Concrete Columns Under High Axial Loading, SP-237—11
- [11] PROJET DE RECOMMANDATION DE LA RILEM: Draft recommendation for damage classification of concrete structures, 0025·5432/94 RILEM, December 1994.
- [12] Tim Gudmand-Høyer, Lars Zenke Hansen: Stability of Concrete Columns, Volume 1, Danmarks Tekniske Universitet, Department of Civil Engineering, 2002.
- [13] Guide of concrete repair: United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Centar, March 1, 2011.

Internet izvori:

- [14] <http://www.grad.unizg.hr>
- [15] [www.gradimo.hr](http://www.gradimo.hr)
- [16] [wikipedija](http://wikipedia.org)

## Popis slika

Slika 1.1. Armiranobetonska konstrukcija, Izvor: wikipedija.....	1
Slika 2.1. Čimbenici koji utječu na trajnost konstrukcije, Izvor: J. Radić – Trajnost konstrukcija I; Hrvatska sveučilišna naklada, Jadring, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, Zagreb 2010.....	3
Slika 2.2. Tijek projektiranja konstrukcije, Izvor: J. Radić – Trajnost konstrukcija I; Hrvatska sveučilišna naklada, Jadring, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, Zagreb 2010.....	4
Slika 2.3. Izvedba radova na zgradi Cvjetni prolaz u Zagrebu, Izvor: wikipedija.....	6
Slika 2.4. Održavanje građevina, Izvor: www.gradimo.hr.....	7
Slika 2.5. Utjecaj održavanja na produljenje uporabnog vijeka konstrukcije, Izvor: J. Radić – Betonske konstrukcije - Priručnik; Hrvatska sveučilišna naklada, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, Andris, Zagreb 2006.....	8
Slika 2.6. Povezanost i međusobna uvjetovanost radova na održavanju, Izvor: J. Radić – Betonske konstrukcije - Priručnik; Hrvatska sveučilišna naklada, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, Andris, Zagreb 2006.....	9
Slika 3.1. Uočeno oštećenje stupa na staroj zgradi, Izvor: Orešković M. – Predavanja iz Betonskih konstrukcija, Sveučilište Sjever, 2012-2016.....	10
Slika 3.2. Shema klasifikacije oštećenja konstrukcija, Izvor: Orešković M. – Predavanja iz Betonskih konstrukcija, Sveučilište Sjever, 2012-2016.....	11
Slika 3.3. Primjeri oštećenja prilikom smrzavanja i odmrzavanja, Izvor: wikipedija.....	18
Slika 3.4. Primjeri oštećenja prilikom alkalno - silikatne reakcije, Izvor: wikipedija.....	19
Slika 3.5. Pojava pukotine uslijed slijeganja tla, Izvor: wikipedija.....	20
Slika 3.6. Autogeno skupljanje običnih betona, Izvor: Merima Šahinagić – Isović, Goran Markovski, Marko Čećez – Deformacije skupljanja betona – uzroci i vrste, Građevinar 9/2012, 727-734.....	22
Slika 3.7. Autogeno skupljanje betona visoke čvrstoće, Izvor: Merima Šahinagić – Isović, Goran Markovski, Marko Čećez – Deformacije skupljanja betona – uzroci i vrste, Građevinar 9/2012, 727-734.....	22
Slika 3.8. Deformacije prilikom plastičnog skupljanja, Izvor: wikipedija.....	23
Slika 3.9. Skupljanje u običnom betonu, Izvor: Merima Šahinagić – Isović, Goran Markovski, Marko Čećez – Deformacije skupljanja betona – uzroci i vrste, Građevinar 9/2012, 727-734. ....	24

Slika 3.10. Skupljanje u betonu visoke čvrstoće, Izvor: Merima Šahinagić – Isović, Goran Markovski, Marko Čećez – Deformacije skupljanja betona – uzroci i vrste, Građevinar 9/2012, 727-734.....	24
Slika 3.11. Dijagram puzanja, Izvor: wikipedija.....	25
Slika 3.12. Primjeri oštećenja prilikom korozije, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	26
Slika 3.13. Pojava mikropukotina, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	27
Slika 3.14. Pojava smeđih mrlja, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	28
Slika 3.15. Odvajanje betonskog zaštitnog sloja, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	28
Slika 3.16. Vidljivo potpuno odvajanje zaštitnog sloja, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	29
Slika 4.1. Osnovne faze popravaka zaštitnog sloja, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	31
Slika 4.2. Rubovi uklonjenog betona 1-minimalni kut, 2-maksimalni kut, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	32
Slika 4.3. Pripremljena površina betona i armature za nanošenje sloja novoga morta, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	33
Slika 4.4. Priprema armature: 1.uklanjanje okolnog betona, 2.priprema površine i čišćenje, 3.dodavanje nove armature, 4.zaštita armature, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	34
Slika 4.5. Popravak naglavne grede i stupa nadvožnjaka reprofilacijom, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	34

Slika 4.6. Postupak nadsvođenja pukotine, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	36
Slika 4.7. Sanacija pukotine zarezivanjem i brtvljenjem, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	37
Slika 4.8. Injektiranje pukotine ugradnjom packera, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	38
Slika 4.9. Oprema za injektiranje smole, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	38
Slika 4.10. Sanacija pukotine postupkom povezivanja, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	39
Slika 4.11. Vrste površinske zaštite: a) hidrofobna impregnacija, b) impregnacija, c) premaz, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	40
Slika 4.12. Usporedba površine koja nije zaštićena i površine tretirane hidrofobnom impregnacijom, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008. ....	41
Slika 4.13. Postupak nanošenja hidrofobne impregnacije prskanjem, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	42
Slika 4.14. Betonska površina prije nanošenja premaza, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	43
Slika 4.15. Betonska površina zaštićena premazom, Izvor: J. Radić i suradnici – Betonske konstrukcije 4: Sanacije; Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, Zagreb 2008.....	43
Slika 4.16. Obloženi i neobloženi betonski stup, Izvor: Repair of Earthquake - Damaged Columns with FRP Wraps, Hamid Saadatmanesh, Mohammad R.Ehsani, Limin Jin, ACI Structural Journal/March - April 1997 .....	44



Slika 4.17. FRP kompozitne trake za seizmičke popravke, Izvor: Repair of Earthquake - Damaged Columns with FRP Wraps, Hamid Saadatmanesh, Mohammad R.Ehsani, Limin Jin, ACI Structural Journal/March - April 1997.....	45
Slika 4.18. Zamjena oštećenog betona i površinska obrada stupa do izvornog oblika, Izvor: Repair of Earthquake - Damaged Columns with FRP Wraps, Hamid Saadatmanesh, Mohammad R.Ehsani, Limin Jin, ACI Structural Journal/March - April 1997.....	46
Slika 4.19. Omotavanje kontinuiranog FRP kompozitnog prstena u mnoštvo slojeva oko oštećene zone stupa, Izvor: Repair of Earthquake - Damaged Columns with FRP Wraps, Hamid Saadatmanesh, Mohammad R.Ehsani, Limin Jin, ACI Structural Journal/March - April 1997. ....	46



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, LUKA HIŽMAN pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada po naslovom TRAJNOST I EKSPLOATACIJA ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJA te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Luka Hižman

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, LUKA HIŽMAN neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom TRAJNOST I EKSPLOATACIJA ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJA čiji sam autor.

Student:

Luka Hižman

(vlastoručni potpis)