

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidat:

Andrej Likar

Sanacija in zaščita betonskih objektov, poškodovanih zaradi korozije armature

Diplomska naloga št.: 2875

Mentor:

izr. prof. dr. Franc Saje

Somentor:

Iztok Leskovar

Ljubljana, 27. 3. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ANDREJ LIKAR**, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: **»SANACIJA IN ZAŠČITA BETONSKIH OBJEKTOV, POŠKODOVANIH ZARADI KOROZIJE ARMATURE«**.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 13.03.2006

(podpis)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**UDK:** 69.059:693.5 (043.2)**Avtor:** Andrej Likar**Mentor:** prof.dr. France Saje**Somentor:** Iztok Leskovar, univ.dipl.ing.gradb. (IRMA d.o.o.)**Naslov:** Sanacija in zaščita betonskih objektov poškodovanih zaradi korozije armature**Obseg in oprema:** 85 str., 13 pregl., 40 sl., 11 en.**Ključne besede:** betonska konstrukcija, korozija, armatura, poškodbe, sanacija, zaščita**Izveček:**

Diplomsko delo obravnava sanacijo poškodb na betonskih konstrukcijah, ki so posledica korozije armature. V prvem delu so opisane lastnosti primarnih komponent betona (cement, voda, agregat). Opisane so mehanske lastnosti betona in armature ter njuna kompatibilnost. V nadaljevanju so navedene vrste procesov, ki povzročajo poškodbe tako v betonu, kot tudi korozijo armature. Poudarek je na dveh kemijskih procesih, ki povzročata korozijo armature in sicer na karbonatizaciji in difuziji kloridov v notranjost betonskih elementov. Sledi interpretacija življenjske dobe projektiranih AB konstrukcij in ugotavljanje dejanskega stanja v naravi. Po novem evropskem standardu EN 206-1 je povzeta strategija projektiranja in dokazovanja trajnosti betonskih konstrukcij za različna okolja v katerih naj bi se konstrukcija nahajala. Ne dolgo nazaj se je pojavila tudi nova veja projektiranja trajnosti, to je napovedovanje življenjske dobe AB konstrukcij z različnimi modeli. Glavno vodilo naloge predstavljajo sistemi za sanacijo korozijsko poškodovanih AB objektov. V praktične namene so bila v preteklosti najbolj uporabljena tehnična priporočila RILEM TC 124, ki ločeno obravnavajo sanacijo poškodb kot posledico korozije armature zaradi karbonatizacije in ločeno zaradi prodora kloridov. Primerjalno je bil vključen del novega evropskega standarda SIST EN 1504-9, ki prav tako ločeno obravnava sanacijo betona in armature zaradi korozije armature. Predzadnje poglavje obravnava kontrolo kvalitete uporabljenih proizvodov. Podani so kriteriji kontrole kvalitete po EN 1504-10 v povezavi z EN 1504-3. V zadnjem poglavju je naveden primer sanacije v realnosti.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 69.059:693.5 (043.2)
Author: Andrej Likar
Supervisor: prof.dr. France Saje
Co-Supervisor: Iztok Leskovar, B. Sc. Civil Eng. (IRMA d.o.o.)
Title: Repair and protection of concrete structures damaged by reinforcement corrosion
Notes: 85 p., 13 tab., 40 fig., 11 eq.
Key words: concrete structure, corrosion, reinforcement, damage, repair, protection

Abstract:

The present work is focused on repair of concrete structures damaged by reinforcement corrosion. First part describes properties of primary components in concrete (cement, water, aggregate). Further are described mechanical properties of concrete and reinforcement and their compatibility. Second part introduces kinds of processes which causes corrosion of reinforcement in concrete. There are two emphasized chemical processes which cause corrosion of reinforcement, carbonation and chloride diffusion into concrete elements. Third part interprets the service life of designed reinforced concrete structures and finds out their actual condition. There is summarized strategy of design and proving of durability for different environments of new European standard EN 206-1. Not long time ago, there were developed a new branch of durability design. That is the prediction of service life with different models.

The main core represents systems for repair of reinforcement corrosion damaged concrete structures. Technical guidelines of RILEM TC 124 were most used in practice in past. They separately treat concrete damaged by corrosion of reinforcement because of carbonation and separately because of chloride diffusion. The new European standard SIST EN 1504-1/10, part 9 is included because of the comparison with RILEM TC 124. At almost last part of work scopes quality control of used products. There are criteria of quality control given by EN 1504-10 in connection with EN 1504-3. In the last part is example of repair of reinforcement corrosion damaged concrete structures in reality.

*Kdor hoče stvari resnično spoznati od
blizu, jih mora najprej videti od daleč.*

*Gradbenika, ki se ukvarja s sanacijo
konstrukcij, lahko po načinu dela
primerjamo s kirurgom, ki načrtuje
operacijo na človeku.*

Moji ženi Tei in sinu Amadeju

ZAHVALA

V prvi vrsti gre zahvala mojima staršema Jakobu in Heleni, ki sta me na poti mojega šolanja podpirala ob spodrseljajih in izražala veselje ob vzponih.

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Francu Sajetu in somentorju Iztoku Leskovarju, u.d.i.g., za njuno strokovno pomoč, vodenje in zaupanje skozi nastajanje diplomske naloge.

Ravno tako se zahvaljujem inštitutu IRMA d.o.o., ki mi je nudil finančno podporo med študijem in omogočil praktično usposabljanje v prostem.

Ljubeznivo se zahvaljujem moji ženi Tei in sinu Amadeju za potrpežljivost in ljubezen ves čas nastajanja diplomskega dela in upam, da bom v prihodnje lahko nadoknadil izgubljene urice z vama.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	ARMIRAN BETON	2
2.1	Beton	2
2.1.1	Zgodovina betona	2
2.1.2	Sestava in mehanske lastnosti.....	2
2.1.3	Mineralni agregat.....	4
2.1.4	Cement.....	4
2.1.5	Voda.....	5
2.2	Armatura	6
3	VZROKI ZA NASTANEK POŠKODB AB KONSTRUKCIJ IN UGOTAVLJANJE POŠKODOVANOSTI	7
3.1	Poroznost – osnova procesov propadanja¹	8
3.2	Kemijski procesi	10
3.2.1	Korozija betona.....	10
3.2.2	Korozija armature	14
3.2.2.1	Korozija armature zaradi prodora kloridov (difuzija).....	15
3.2.2.2	Korozija armature zaradi karbonatizacije	17
3.3	Mehanski vplivi	20
3.4	Biološki vplivi	21
4	PREDVIDENA ŽIVLJENJSKA DOBA AB KONSTRUKCIJ	22
4.1	Definicija življenjske dobe	22
4.2	Splošne ugotovitve	22
4.3	Projektiranje trajnosti po SIST EN 206-1	23
4.3.1	Strategija projektiranja trajnosti	23
4.3.2	Dokazovanje trajnosti betonov za različne stopnje izpostavljenosti ...	24

4.4	Napovedovanje življenjske dobe konstrukcije v odvisnosti od agresivnosti okolice	29
5	SISTEMI ZA SANACIJO AB KONSTRUKCIJ, POŠKODOVANIH ZARADI KOROZIJE ARMATURE	34
5.1	Tehnična priporočila po RILEM TC 124.....	36
5.1.1	Vrste zaščit in popravil betonske krovne plasti	36
5.1.2	Osnovne metode za sanacijo in zaščito v primeru korozije armature, povzročene s karbonatizacijo.....	38
5.1.3	Osnovne metode za sanacijo in zaščito v primeru korozije armature, povzročene s kloridi.....	46
5.1.4	Elektrokemijske metode	51
5.1.5	Inhibitorji korozije	54
5.2	Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij po seriji standardov EN 1504-1/10	55
6	KONTROLA KVALITETE VGRAJENIH MATERIALOV IN IZVEDENIH DEL	60
6.1	Vzdrževanje in opazovanje objektov	60
6.2	Kontrola kvalitete po prEN 1504-3 in EN 1504-10.....	61
7	PRIMER IZVEDENE SANACIJE 8. IN 9. VEZA V LUKI KOPER	63
7.1	Opis konstrukcije in območja sanacije.....	64
7.2	Opis poškodb	64
7.3	Postopek sanacije	66
7.3.1	Priprava podlage	66
7.3.2	Čiščenje, nadomeščanje in zaščita armature.....	67
7.3.3	Reprofilacija betonskih elementov	69
7.3.4	Površinska zaščita betonskih površin	71

7.3.5	Izvedba zaščite jeklenih pilotov	72
7.3.6	Zagotavljanje kakovosti uporabljenih materialov in izvedbe del.....	73
8	SKLEP	74
	VIRI	75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti betona in armature	3
Preglednica 2: Stopnje nevarnosti korozije armature pri različnih procesih in vlažnostnih pogojih (vir: Kavčič F., Tehnologija betona, Skripta)	10
Preglednica 3: Oznake stopenj nevarnosti (vir: Kavčič F., Tehnologija betona, Skripta)	11
Preglednica 4: Mejne vrednosti vsebnosti kloridov glede na vrsto konstrukcije po ACI 318	17
Preglednica 5: Mejne vrednosti vsebnosti kloridov glede na vrsto konstrukcije po SIST EN 206-1	17
Preglednica 6: Klasifikacija oznak betonov za različne stopnje izpostavljenosti po SIST EN 206-1 (pregled. 1).....	25
nadaljevanje preglednice 6	26
Preglednica 7: Mejne vrednosti za stopnje izpostavljenosti pri kemičnem delovanju naravnih zemljin in talne vode po SIST EN 206-1 (Preglednica 2).....	27
Preglednica 8: Priporočene mejne vrednosti za sestavo in lastnosti betona po SIST EN 206-1 (preglednica F.1).....	28
Preglednica 9: Čiščenje armature je glede na stopnjo korodiranosti armature v povezavi z R1 zajeto v DIN 55 928	38
Preglednica 10: Ukrepi in metode za sanacijo poškodb v betonu zaradi korozije armature po ENV 1504-9:1997 (preglednica 1).....	57
nadaljevanje preglednice 10	58
Preglednica 11: Ukrepi in metode za sanacijo poškodb na armaturi zaradi korozije armature po ENV 1504-9:1997 (preglednica 2).....	59

Preglednica 12: Priporočeni maksimalni in minimalni parametri za kontrolo kvalitete po EN 1504-10:2003 (preglednica A.2).....	61
preglednica 13: Mejne vrednosti količin pri kontroli kvalitete uporabljenih materialov po prEN 1504-3:2005 (preglednica 3)	62

KAZALO SLIK

Slika 1: Struktura betona v otrdelem stanju	3
Slika 2: Obdobja propadanja AB konstrukcij.....	7
Slika 3: Običajni vzroki propadanja AB konstrukcij (ENV 1504-9:1997).....	8
Slika 4: Izločanje sige kot posledica razpada CS-hidratov (vodna pregrada Ajba).....	11
Slika 5: Kemijski proces korozije armature v primeru prekomerne koncentracije kloridnih ionov.....	14
Slika 6: Korozija armature.....	15
Slika 7: Propadanje konstrukcije zaradi korozije armature kot posledice prodora soli.....	15
Slika 8: Karbonatiziran beton (cementni kamen) vzdolž razpok	18
Slika 9: Razpoke v zaščitnem sloju betona kot posledica korozije armature zaradi karbonatizacije.....	19
Slika 10: Odpadli krovni sloj betona na vogalu AB elementa kot posledica korozije armature zaradi karbonatizacije	19
Slika 11: Fenolftaleinski test na izvrtanih valjih, kjer roza barva pomeni pH vrednost večjo od 9,2.	19
Slika 12: Prikaz koncentracije kloridov v krovni plasti po 50 letih pri upoštevanju različnih ukrepov, ki zavirajo prodor kloridov (Pridobljeno z računalniškim programom LIFE-365)	33
Slika 13: Prikaz povečevanja koncentracije kloridov na globini armature z leti (do 50let) pri upoštevanju različnih ukrepov, ki zavirajo prodor kloridov (Pridobljeno z računalniškim programom LIFE-365).....	33
Slika 14: Zapolnitev lokalnih poškodb s cementno malto ali betonom	36
Slika 15: Nanos cementne malte ali betona na obstoječo površino	36

Slika 16: Nanos vodo-odbojnega impregnacijskega premaza.....	36
Slika 17: Zapolnitev razpok s cementno injekcijsko maso ali smolo	36
Slika 18: Nanos penetracijskega premaza, ki ustvari na površini neprepusten film	37
Slika 19: Preplastitev betonske površine s prevleko, ki ustvari neprepusten film	37
Slika 20: Osnovna metoda R1 - Shematski prikaz repasivacije armature z nanosom alkalnega medija v primeru karbonatizacije.....	39
Slika 21: Osnovna metoda R2 – Shematski prikaz lokalne sanacije z alkalno cementno malto ali betonom v primeru karbonatizacije.....	41
Slika 22: Osnovna metoda W – Shematski prikaz zaščite pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru karbonatizacije	43
Slika 23: Osnovna metoda C – Shematski prikaz zaščite armature pred korozijo z zaščitnim premazom v primeru karbonatizacije	45
Slika 24: Osnovna metoda R1-Cl ⁻ – Shematski prikaz repasivacije armature z nanosom alkalnega medija v primeru prodora kloridov	47
Slika 25: Osnovna metoda R2-Cl ⁻ – Shematski prikaz lokalne sanacije z alkalno cementno malto ali betonom v primeru prodora kloridov	48
Slika 26: Osnovna metoda W-Cl ⁻ – Shematski prikaz zaščite pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru prodora kloridov ..	49
Slika 27: Osnovna metoda C-Cl ⁻ – Shematski prikaz zaščite pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru prodora kloridov ..	50
Slika 30: Animiran prikaz zaščite AB konstrukcij z inhibitorji korozije.....	54
Slika 31: Izvedbene faze projekta za sanacijo.....	56
Slika 32: Stanje branaste konstrukcije 8. in 9. veza pred sanacijo.....	63
Slika 33: Luščenje zaščitne plasti betona na vogalu AB nosilca zaradi močne korozije armature	64

Slika 34: Močna »pitt« korozija armature, ki je posledica prekomerne koncentracije kloridnih ionov.....	65
Slika 35: Premajhna debelina zaščitne plasti dovoljuje lažji in hitrejši prodor kloridov do armature	65
Slika 36: Odvzem vzorcev betona za določitev koncentracije kloridov	66
Slika 37: Meritev globine karbonatizacije v izvrtinah, kjer so bili odvzeti vzorci betona	66
Slika 38: Protikorozijska zaščita očiščene obstoječe in dodane armature	69
Slika 39: Dokončanje sanacije z reprofilacijo in zaščitnim premazom za beton	70
Slika 40: Zaščitni premaz na saniranih jeklenih stebrih.....	72

1 UVOD

Znano je, da je še do nedavnega beton veljal za zelo obstojen gradbeni material, mehansko in kemično odporen proti agresivnim vplivom okolja. V 70. do 80. letih prejšnjega stoletja, ko je prišlo do velikih poškodb (nemehanske narave) na znanih betonskih objektih, so se pojavili dvomi o vsestranski odpornosti betona. Kasneje so temeljite raziskave pokazale, da je v velikih primerih za nastanek poškodb in propad armiranobetonskih konstrukcij kriva korozija armature.

Navedel bom različne procese, ki vodijo do propada betona in armature. Podrobneje bom opisal dva najbolj pomembna kemijska procesa - to sta karbonatizacija in prodor kloridov. Posledica obeh je korozija armature.

V nadaljevanju bom podal definicijo ter teoretično ocenjevanje življenjske dobe armiranobetonskih konstrukcij, predstavil matematične modele, ki so osnova za razvoj programske opreme, s katero je mogoče napovedovanje življenjske dobe pri posameznih kombinacijah vplivov okolice.

Opisal bom poškodbe, ki so posledica propadanja ene ali več komponent armiranega betona zaradi korozije armature.

Glavni del bo zajemal prikaz sanacijskih sistemov za popravilo poškodb povzročenih zaradi korozije armature. To so postopki, navedeni po priporočilih RILEM TC 124 in novega evropskega standarda SIST EN 1509-1/10, s pomočjo katerih lahko podaljšamo življenjsko dobo konstrukcije.

V zadnjem delu bo po 3. in 10. delu standarda EN 1504 povzeta kontrola kvalitete uporabljenih materialov in sistemov.

2 ARMIRAN BETON

2.1 Beton

2.1.1 Zgodovina betona

V preteklosti so se v gradbeništvu uporabljala naravna gradiva, kot sta les (naravni kompozit) in kamen. Zaradi potrebe po izboljšavi mehanskih in drugih lastnosti osnovnih materialov, so se začeli pojavljati umetni kompoziti.

Beton naj bi uporabljali že Egipčani 3000 let pred našim štetjem v obliki cementne paste, zmešane s peskom pri gradnji piramid. Prav gotovo so ga uporabljali Rimljani približno 300 let pred našim štetjem pri gradnji koloseja in panteona. Pucolanskemu cementu, vodi, pesku in apnu so kot dodatke dodajali živalske maščobe, kri in mleko. Ostanke betona najdemo tudi med arheološkimi najdbami stare Emone. Pravi razcvet uporabe je beton doživel z iznajdbo portland cementa v Angliji leta 1824. V Nemčiji so leta 1836 prvič preizkusili betonsko prizmo v tlaku in upogibu.

Večina zgodovinskih virov za rojstvo armiranega betona navaja letnico 1867, ko je Joseph Monier, vrtnar francoskega rodu, pri izdelavi loncev za rože spoznal, da jeklena žica v stenah betonskih loncev preprečuje razpoke. Prvi armiranobetonski most je bil zgrajen že leta 1889. Leta 1891 so v ZDA, v Ohio naredili prvo betonsko avtomobilsko cesto. Leta 1936 sta bila zgrajena prva betonska jezova (Hoover in Grand Cooley).

2.1.2 Sestava in mehanske lastnosti

Beton, umetni kompozit, je trenutno eden temeljnih gradbenih materialov. Sestavljen je iz mešanice agregata, vode in veziva (običajno cementa) ter drugih dodatkov, ki mu spreminjajo lastnosti bodisi v svežem bodisi v otrdelem stanju.

V otrdelem stanju se razvije v betonu (v odvisnosti od recepture in sestave betonske mešanice) določena tlačna trdnost. Predvsem velike tlačne trdnosti in njegova togost pripomorejo k pogosti uporabi v gradbeništvu.



Slika 1: Struktura betona v otrdelem stanju

Poleg dobrih lastnosti ima beton kot vsak drug gradbeni material tudi slabe. Ena poglobitnih je natezna trdnost! Pri projektiranju konstrukcij iz varnostnih razlogov privzemamo, da je natezna trdnost betona nična, pa čeprav je nekaj premore.

Z željo, da bi betonu dodali še druge mehanske lastnosti, kot je natezna trdnost, duktilnost itd., se je pojavil armiran beton. Zaradi visoke alkalnosti betonskega medija in enakega koeficienta temperaturne razteznosti se mu lahko nemoteno dodaja jeklo kot armaturo za prenašanje nateznih napetosti. Beton in jeklo imata zelo dobro sprijemnost, zato lahko delujeta kot eno, čeprav sta po strukturi in mehanskih lastnostih dva povsem različna materiala. Lahko bi rekli, da beton daje armaturi skoraj vse, česar sama nima in armatura daje betonu skoraj vse, česar sam nima (Preglednica 1).

Preglednica 1: Lastnosti betona in armature

PREDNOST	MATERIAL
velika tlačna trdnost	beton, armatura
strižna odpornost	beton, armatura
velika natezna trdnost	armatura
koefic. temperaturne razteznosti	beton, armatura
alkalnost	beton
modul elastičnosti	armatura
ekonomičnost	beton
Poissonov količnik	beton, armatura
odpornost proti visokim temperaturam	beton
duktilnost	armatura
žilavost	armatura

2.1.3 Mineralni agregat

Agregat je najtrša komponenta betona, ki se meša v granuliranih delih, pri čemer vsebuje delež peska, zrna drobirja in prah. Za lastnosti, vsebnosti in velikosti posameznih komponent agregata, kot so gostota, velikost maksimalnega zrna, oblika zrn, površinska tekstura, trdnost, granulometrijska sestava, vlažnost itd., so predpisane mejne vrednosti.

Predvsem naj ne bi agregat vseboval prekomernih količin škodljivih sestavin, ki bi lahko škodovale samemu strjevanju, kasneje obstojnosti betona in bi v najslabšem primeru povzročile korozijo armature.

Lastnosti mineralnega agregata, pomembne za pripravo, vgrajevanje in odpornost otrdelega betona so:

- Mineralno-petrografske lastnosti, ki dajejo otrdelemu betonu trajnost in dobre mehanske lastnosti.
- Granulometrijska sestava, od katere sta odvisni predvsem obdelavnost in gostota svežega betona.
- Oblika in površinska tekstura, ki vplivata na obdelavnost v svežem stanju ter sprijemljivost cementnega kamna z agregatom v otrdelem stanju.

2.1.4 Cement

Cement ima v betonu vlogo veziva. To pomeni, da mora pri reakciji z vodo zlepiti med seboj zrna mineralnega agregata ter zapolniti prazen prostor med njimi. Cementna pasta, ki je produkt cementnega prahu in vode, skupaj z manjšimi delci agregata tvori cementni kamen, kar zagotavlja betonu plastičnost. Količina cimenta v betonu se giblje nekje med 7-14% prostorninske mase betona (to pomeni 200 do 400 kg/m³ betona).

Kemijska sestava cementnega klinkerja

- trikalcijev silikat → C_3S (nastane iz komponent $3CaO, SiO_2$)
40% do 70%
- dikalcijev silikat → C_2S (nastane iz komponent $2CaO, SiO_2$)
5% do 30%
- trikalcijev aluminat → C_3Al (nastane iz komponent $3CaO, Al_2O_3$)
7% do 15%
- tetrakalcijev aluminat → C_4Al (nastane iz komponent $3CaO, Al_2O_3$)
7% do 15%

Hidratacija

Hidratacija cementa je proces vezanja vode in cementa. Dogaja se v štirih fazah:

- 1 Voda se kemijsko veže na C_3S , za kratek čas se tvori $C_3S \cdot H_2O$.
- 2 Iz nasičene raztopine se kristalizira nov kristal silikat-hidrat.
- 3 Novo nastali kristali preidejo v fazo cementnega gela. To je gosto tekoča masa z enakomerno razporejenimi zrnji.
- 4 Iz gela se tvori cementni kamen. Novonastajajoči kristali cementnega kamna rastejo in tvorijo mrežo.

2.1.5 Voda

Voda služi kot sekundarna komponenta za vezanje cementnega prahu in drobnih delcev agregata v cementni kamen. Prav tako je ključen element oblikovanja in vgrajevanja sveže betonske mešanice.

Ločimo trdo in mehko vodo. Ti dve vrsti vode se razlikujeta po vsebnosti mineralnih snovi. Za betonsko mešanico se uporablja trda voda, ker vsebuje dodaten kalcij, ki pospešuje nastajanje produkta reakcije. Mehka voda bo obravnavana v naslednjem poglavju, in sicer zaradi negativnih učinkov, ki jih povzročata v produktu reakcije.

2.2 Armatura

Naloga betonske armature je, da prevzema natezne sile, dodatne tlačne in strižne sile, če je to potrebno. Običajno je material betonske armature mehko konstrukcijsko jeklo, ki zagotavlja ustrezno duktilnost in žilavost ter varilno sposobnost. Uporablja se v obliki jeklenih vroče ali hladno valjanih palic, ki imajo krožni prerez.

Betonsko armaturo delimo na:

⇒ GA - gladke palice $\Phi 6\text{mm} - \Phi 36\text{mm}$

⇒ RA - rebraste palice $\Phi 6\text{mm} - \Phi 40\text{mm}$

⇒ MA - mrežasta armatura (mreže):

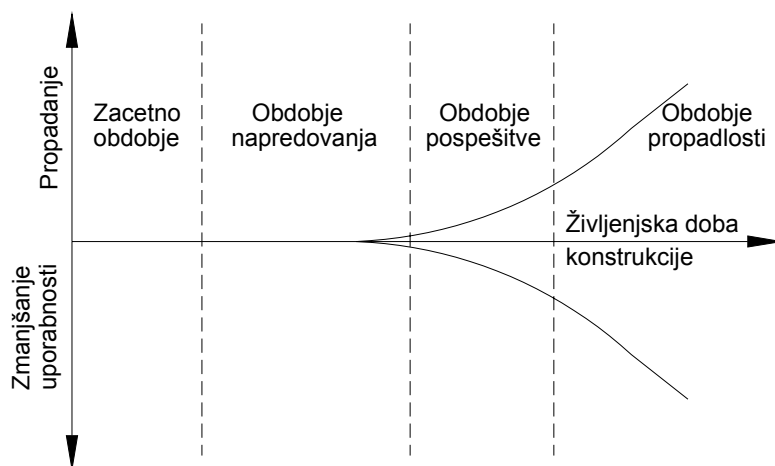
- Mreže nosilne v obeh smereh Q131 – Q1130
- Mreže nosilne v eni smeri R131 – R1130

Sprijemna trdnost

Sprijemno trdnost določata predvsem adhezija in trenje med betonom in armaturo. Če hočemo pri statičnem računu AB konstrukcij upoštevati, da sestavljata beton in armatura enoten prerez, moramo v realizaciji njuno sprijemnost tudi zagotoviti.

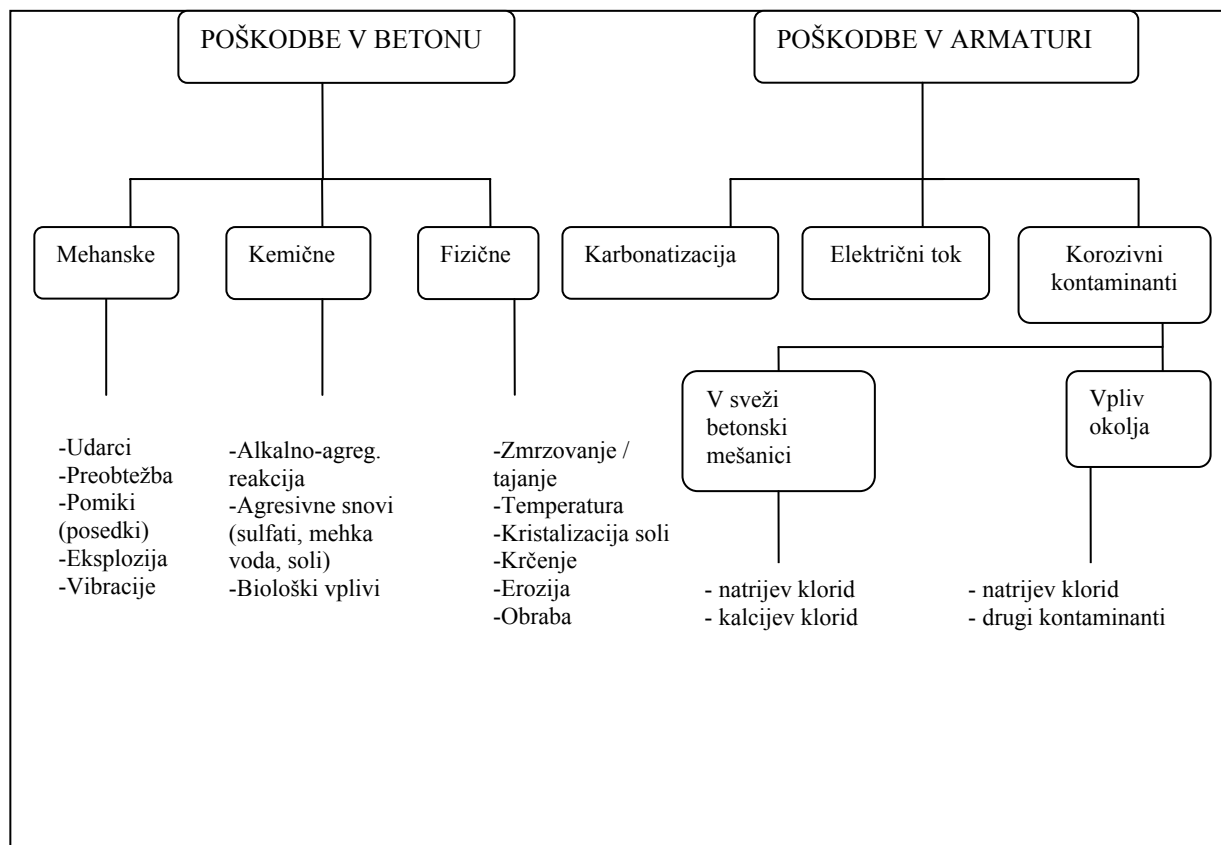
Sprijemna trdnost posameznih kombinacij vrste betona in armature se preskuša z izvlačenjem armature, ki je sidrana 15 cm v beton. Iz razloga, da se zagotovi čimboljša sprijemnost, se v praksi uporabljata večinoma rebrasta in mrežasta armatura, medtem ko se je gladka bolj uporabljala v začetkih gradenj AB konstrukcij, sedaj pa se počasi opušča.

3 VZROKI ZA NASTANEK POŠKODB AB KONSTRUKCIJ IN UGOTAVLJANJE POŠKODOVANOSTI



Slika 2: Obdobja propadanja AB konstrukcij

Vzroki za nastanek poškodb na AB konstrukcijah se skrivajo v naravi betona in armature ter njunih reakcijah z okolico, ki povzročajo kemijsko in fizično korozijo. Na AB konstrukcijah mehanske poškodbe dostikrat povzročijo manjše razpoke, luknjice, porušitev notranjih sten med porami – izguba vodotesnosti. To ima za posledico začetek propadanja konstrukcije, saj je v tem primeru ustvarjena platforma za razvoj fizične in kemične korozije. Beton je sicer alkalen medij, ki ima zaščitno sposobnost, da s svojo alkalnostjo ščiti armaturo pred korozijo, vendar v agresivnem okolju to dobro lastnost izgubi. Zelo pomembna je izbira materialov v specifičnih okoljih. Standard SIST EN 206-1 že predpisuje stopnjo izpostavljenosti za različna okolja in na podlagi teh kriterijev določa merila za preizkušanje betona, da se zagotovijo potrebne lastnosti. Če take betonske mešanice ni moč narediti, lahko posežemo po drugih ukrepih, kot so na primer različni premazi za beton ali armaturo, različne debeline krovnih plasti, itd. Nedoločeno število je takšnih AB objektov, ki imajo predpisano življenjsko dobo 50 let ali več, sanacija pa se izvaja že po nekaj letih. Zato je potrebno zelo skrbno preučiti vplive okolja v katerega bo konstrukcija nameščena in jo temu primerno tudi projektirati.



Slika 3: Običajni vzroki propadanja AB konstrukcij (ENV 1504-9:1997)

V splošnem se vplivi po njihovi naravi delijo na:

- **kemijski procesi,**
- **mehanski vplivi,**
- **biološki vplivi.**

3.1 Poroznost – osnova procesov propadanja¹

Procesi propadanja potekajo v betonu pretežno v cementnem kamnu in le redko v kamenem agregatu. Korozijski procesi v betonu nastanejo kot posledica prodora vlage in agresivnih kemijskih snovi v beton največkrat ob istočasnem delovanju temperature in vlage okolja. Vstop vode in agresivnih kemijskih snovi v beton omogoča poroznost cementnega kamna.

¹ Povzeto po: SLOVENSKI KOLOKVIJ O BETONIH – Sanacije betonskih objektov, A. Zajc.

Poroznost cementnega kamna predstavljajo štiri vrste por:

- **Gelne pore** nastanejo zaradi volumske razlike cementa in vode kot primarnih komponent. Njihova velikost se giblje okrog 1,5 nm.
- **Kapilarne pore** so prazni prostori v hidratizirani cementni pasti, ki niso zapolnjeni s trdnimi hidratacijskimi produkti in se pojavijo, če je v/c vrednost večja od 0,32. Ta vrednost v/c faktorja je ravno tista, pri kateri cement popolnoma hidratira. Kapilarne pore so velikosti med 10 in 50 nm ter 3 do 5 μm , ki nastanejo zaradi manjšega volumna hidratacijskih produktov v primerjavi z volumnom cementa in vode, iz katerih ti nastanejo.
- **Zračni mehurčki**, ki se ujamejo v betonu kot posledica vgrajevanja.
- **Aeriranje betona** povzroči zračne mehurčke, ki jih zaradi obstojnosti z aeranti uvedemo v beton.

Za nastanek korozijskih procesov so v betonu krive le kapilarne pore, ki odpirajo notranjost betona in omogočajo prost prehod agresivnih snovi. Večji ko je v/c faktor, več je kapilarnih por. V betonu z v/c vrednostjo 0,7 se zgodi, da se kapilarne pore držijo skupaj. Kapilarne pore so lahko prazne ali zapolnjene z vodo, odvisno od vlažnostnega stanja betona. Voda v porah je šibko vezana, zato se lahko dokaj hitro izsušuje in obratno. Pore se lahko izsušujejo že, če je parcialni parni tlak okolice manjši kot v porah, vlažijo pa obratno.

Kapilarne pore torej omogočajo prodor raznim plinom, kot so CO_2 , SO_2 , NO_2 , raztopinam soli, kislin in baz. Prodor teh snovi povzroča ostenje kapilarnih por. Učinek korozijskih procesov je sorazmeren propustnosti cementnega kamna in obratnosorazmeren trdnosti. Kamni agregat je redko vzrok nastanka poškodb, saj se za pripravo betonske mešanice uporablja zmrzlinško obstojen agregat, ki ima znatno manjšo poroznost kot cementni kamen, ravno tako pa se z zlepljenjem s cementno pasto te pore začepijo. V tem primeru je zelo majhna verjetnost, da bi se korozijski procesi razvili v porah agregata.

3.2 Kemijski procesi

Kemijski procesi, s katerimi se vrši korozija posameznih elementov AB konstrukcij, so dostikrat zapletene narave. Kemijske reakcije med nekaterimi primarnimi snovmi povzročijo razpad ene ali več komponent.

3.2.1 Korozija betona

Korozija betona je proces propadanja betona, ki nastane kot posledica kemijskih reakcij snovi iz okolja s cementnim kamnom ali med snovmi, ki sestavljajo cementni kamen. Z razpokanjem, nabrekanjem in luknjičavostjo betona se ustvari podlaga za neoviran prodor agresivnih snovi v globino do armature.

Korozija betona je pogojena tudi:

- ❖ s hitrostjo vode, v kateri se nahajajo agresivne kemijske snovi – izpiranjem;
- ❖ z menjavanjem prisotnosti vode;
- ❖ s količino in trajanjem delovanja agresivnih snovi;
- ❖ z različnimi pritiski vode na stene AB konstrukcije – hitrejši prodor agresivnih snovi;
- ❖ z debelino krovne plasti;
- ❖ z vodoprepustnostjo

Ker je pri večini kemijskih procesov za njihov razvoj potrebna vlaga, je zelo pomembno, kakšno vlažnost ima okolica v kateri je konstrukcija (Preglednica 2).

Preglednica 2: Stopnje nevarnosti korozije armature pri različnih procesih in vlažnostnih pogojih (vir: Kavčič F., Tehnologija betona, Skripta)

Relativna vlažnost zraka		Proces				
		karbonatizacija	korozija armature v betonu, ki je:		mraz	kemijska agresija
			karbonatiziran	nasičen s Cl		
zelo majhna	<45%	1	0	0	0	0
majhna	45-65%	3	1	1	0	0
srednja	65-85%	2	3	3	0	0
velika	85-95%	1	2	3	2	1
nasičena	>95%	0	1	1	3	3

Ločimo štiri skupine korozije betona glede na vrsto razpada:

Preglednica 3: Oznake stopenj nevarnosti (vir: Kavčič F., Tehnologija betona, Skripta)

Oznaka	0	1	2	3
stopnja nevarnosti	je ni	majhna	srednja	velika

Raztapljanje hidratacijskih produktov

Mehka voda na poroznih mestih izpira hidratacijski produkt Ca(OH)_2 , zaradi česar kasneje razpadejo CS-hidrati. Ca(OH)_2 se izloča na površini betona v obliki sige, v notranjosti se zato povečuje poroznost, znižujeta se trdnost in togost. Raztapljanje hidratacijskih produktov preprečujemo z uporabo bolj gostih betonov in zaščito (premazi) pred pronicanjem meteornih ter drugih vod.



Slika 4: Izločanje sige kot posledica razpada CS-hidratov (vodna pregrada Ajba)

Preoblikovanje trdnih komponent

Do tega pojava pride takrat, ko cementni kamen reagira s kisljinami ali solmi. Razrahlja se trdna struktura, poveča se prepustnost. Takšna korozija se pojavi v betonih, kjer so prisotne mineralne vode, kisline, raztopljene soli ali v močno bazičnem okolju. K tej vrsti korozije kot

najbolj znano prištevamo karbonatizacijo. Karbonatizacija uničuje zaščitno funkcijo betona (izguba alkalnosti), zmanjšuje trdnost in togost betona.

Alkalno-agregatna reakcija

Če se v agregatu nahajajo snovi, ki reagirajo z alkalijami v cementnem kamnu, dobimo alkalno-agregatno reakcijo. Novonastale spojine v obliki gela vežejo nase kristalno vodo in pri tem ekspanzirajo. V notranjosti se pojavijo dodatne napetosti, ki povzročijo kohezivni (adhezivni) razpad betona. Alkalno-agregatna reakcija je v Sloveniji zelo redek pojav (oziroma je sploh ni). Bolj pogosto se s tem pojavom srečujejo v Angliji, kjer so nastale na AB konstrukcijah nezanemarljive poškodbe.

Glede na reaktivno komponento v agregatu poznamo dve tipični reakciji:

- Alkalno-silikatna reakcija (ASR)

Da lahko nastane potencialno ekspanzivni gel, je potrebna prisotnost Ca, OH, reaktivnih silikatnih mineralov, vode in topnih metalno-alkalnih ionov. Kemična reakcija poteka med alkalijami (hidroksilni ioni, pucolani ter razni dodatki) v portland cementu in silikatnimi minerali (vulkanska stekla, kvarc itd.). Produkt reakcije, je silikatni gel, ki nabreka in povzroča razpoke v cementni pasti.

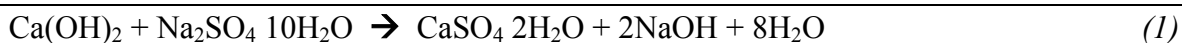
- Alkalno-karbonatna reakcija (ACR)

Alkalno-karbonatno reakcijo povzročijo dolomitni minerali agregata, ki reagirajo z alkalnimi ioni portland cementa. Edina oblika alkalno-karbonatne reakcije, za katero je znano, da škodi betonski zmesi, je dedolomitizacijska reakcija. Ta reakcija se dogaja med dolomitnimi agregati in pornimi tekočinami z visokim pH v cementni pasti.

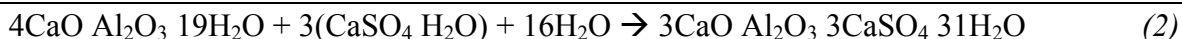
Sulfatna korozija ²

Sulfatna korozija je ena najpogostejših in najmočnejših korozij betona. Vpliv sulfatov se izkazuje v nabrekanju in pokanju betona, kar je posledica tvorbe ekspandirajočih produktov. Poleg magnezijevega sulfata ima zelo uničujoče vplive na betone amonijev sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Njegovo močno agresivno delovanje na beton je najverjetneje povezano z naraščanjem topnosti kalcijevega sulfata v raztopini amonijevega sulfata.

Tvori se dvojna sol $\text{CaSO}_4 (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Korozija sulfatnih raztopin je v veliki meri odvisna od kemijske sestave oziroma njegove konstitucije. Glavni vzrok neobstoynosti betonov je tvorba kalcijevega sulfoaluminat hidrata - etringita iz hidratiranega trikalcijevega aluminata in sadre, ki nastaja iz sulfatov iz vode in apna v hidratiranem cementu. Reakcija med Na_2SO_4 in $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se sprošča pri hidrataciji cementa po enačbi:



Nastali $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalje reagira s kalcijevim aluminat hidratom in tvori manj topni kalcijev sulfoaluminat hidrat - etringit, ki zaradi povečanja volumna povzroča ekspanzijo betona. Reakcija poteka po enačbi:



Znano je, da so cementi z nizkim odstotkom C_3Al komponente odpornejši proti koroziji sulfatov kot cementi z višjo vsebnostjo C_3Al . Poleg količine C_3Al je pomembna tudi oblika te komponente. Kristaliničen C_3Al je bolj reaktiven od steklastega. V določeni meri reagira s sulfati tudi C_4Al , medtem ko C_3S in C_2S v glavnem ne reagirata. Ugotovljeno je bilo, da visoka vsebnost C_3S komponente pri sulfatno odpornem cementu z nizkim odstotkom C_3A prav tako povzroča neopornost cementov proti sulfatom.

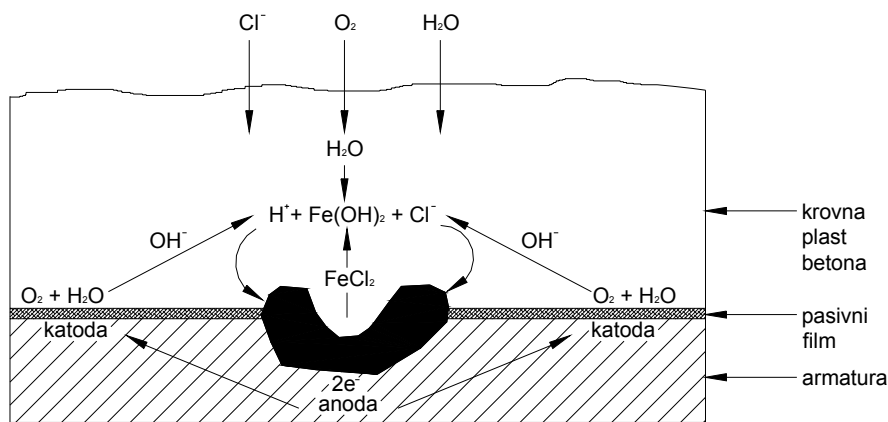
²Povzeto po: <http://www.salonit.si/uploads/files/Predavanje1.pdf>

3.2.2 Korozija armature

Beton s svojo alkalnostjo (pH vrednost porne tekočine je večja od 12,5) ščiti jekleno armaturo. *Pasivacija* je zaščita, ko se na površini jekla ustvari mikroskopsko tanek sloj oksidov (pasivni film). V takšnih pogojih se korozija ne bo pojavila tudi, če so izpolnjeni vsi ostali pogoji (zadostna količina vlage in kisika).

Ravnovesje se vendarle lahko poruši lokalno ali na večjih površinah kot posledica karbonatizacije betona, v primeru prisotnosti soli in kislin ter spiranja alkalij s tekočo mehko vodo.

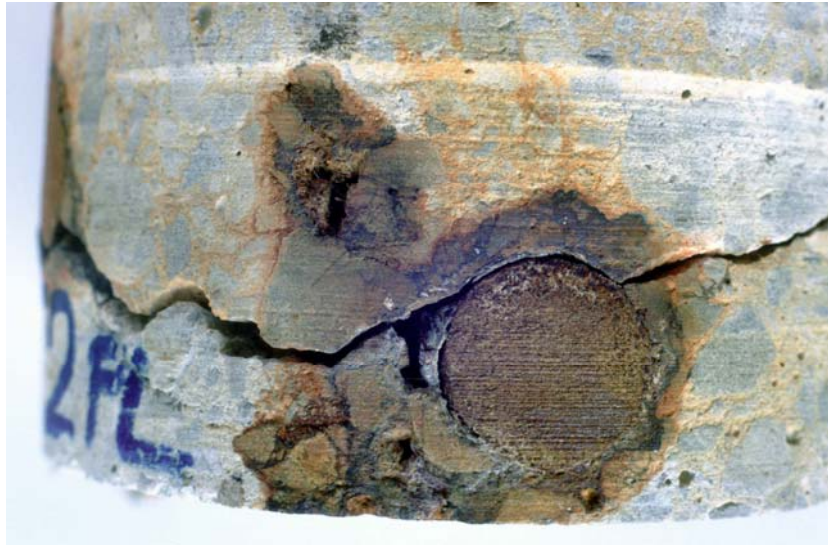
Korozija armature je elektrokemijski proces, pri katerem je en del armature palice anoda, drugi pa katoda. Če so v porni vodi betona raztopljene soli ali kisline, le-te predstavljajo elektrolit. Anodna in katodna mesta se na armaturi pojavijo zaradi različnih potencialov ali različnih koncentracij elektrolita v porni vodi. Armatura palica in elektrolit tvorita skupaj galvanski člen.



Slika 5: Kemijski proces korozije armature v primeru prekomerne koncentracije kloridnih ionov

Železovi oksidi in hidrosidi so produkti, ki nastanejo na anodi kot posledica korozije in imajo večjo prostornino kot jeklo pred pričetkom korozije.

Zaradi stalnega večanja volumna armature palice (poveča se tudi do 6-krat) se pojavijo napetosti na stiku z njeno okolico. Najprej se v krovnem sloju betona pojavijo razpoke vzporedno z armaturo, v naslednji fazi pa nastopi luščenje dela ali celotnega krovnega sloja.



Slika 6: Korozija armature

3.2.2.1 Korozija armature zaradi prodora kloridov (difuzija)

Kot je bilo že omenjeno, je beton na prvi pogled kompakten in nepropusten material, vendar je mikroskopska struktura kot nekakšen labirint majhnih kapilar, por in luknjic, ki tvorijo nezapolnjen prostor med cementnim kamnom in agregatom. Skozi porozno strukturo betona tako lahko prodirajo različne tekoče ali plinaste snovi, ki nosijo s seboj kontaminante, kot so kloridni ioni (Cl^-) in druge škodljive snovi.



Slika 7: Propadanje konstrukcije zaradi korozije armature kot posledice prodora soli

Nevarno delovanje in izguba zaščite se pojavita pri določenem razmerju koncentracije med hidroksilnimi in kloridnimi ioni. V tem primeru je nujna tudi prisotnost vlage in kisika. Pogosto je omogočena koncentracija kloridov v bližini armature z uporabo agregatov in dodatkov, ki že vsebujejo kloride. Na cestnih objektih se pojavijo kloridi iz soli za preprečevanje zmrzovanja in pri obmorskih objektih morska voda, ki zelo intenzivno depasivira jekleno armaturo.

V poslovnih in stanovanjskih AB objektih ter v skladiščih predstavlja nevarnost požar v kombinaciji z inventarjem z veliko vsebnostjo PVC materiala. Med gorenjem PVC se sproščajo kloridi, prodirajo skozi nezaščiten porozno strukturo betona in se kmalu nakopičijo do prekomerne koncentracije.

Fizikalnim zakonitostim difuzije kloridov v notranjost betonskih elementov se je močno približal Fick s svojim 1. in 2. zakonom. Prvi zakon opisuje razvoj koncentracije kloridov na določeni globini ob določeni difuzijski konstanti in začetni koncentraciji kloridov na površini. Drugi zakon opiše spreminjanje difuzijske konstante v odvisnosti od časa in temperature. Oba zakona sta podrobneje opisana v poglavju napovedovanja življenjske dobe.

Meritev vsebnosti kloridov in mejne količine

Metod za določevanje vsebnosti kloridov v betonskih konstrukcijah je veliko in vse so neprimerljivo zahtevnejše od fenolftaleinskega testa pri določevanju globine karbonatizacije, zato njihov podroben opis presega okvire te naloge. Testi za določevanje vsebnosti kloridov se razlikujejo tudi po vrsti kloridnih ionov, kjer so za vsako vrsto posebej predpisani ustrezni kriteriji. Za določevanje vsebnosti se uporablja enota [%/maso cementa].

Poznamo tri skupine, v katere razvrščamo kloride po topnosti:

- količina celokupnih kloridov,
- količina kislinotopnih kloridov,
- količina vodotopnih kloridov.

Preglednica 4: Mejne vrednosti vsebnosti kloridov glede na vrsto konstrukcije po ACI 318

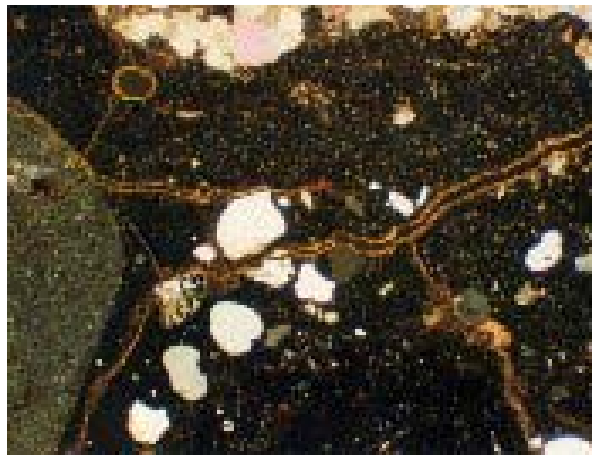
delež v %/maso cem.	vrsta konstrukcije
0,05%	v prednapetem betonu
0,15%	v armiranem betonu, ki je neposredno izpostavljen kloridom
1,00%	v armiranem betonu, ki se nahaja v suhem okolju ali je ustrezno zaščiten pred vlago
0,30%	za vse ostale a.b. konstrukcije

Preglednica 5: Mejne vrednosti vsebnosti kloridov glede na vrsto konstrukcije po SIST EN 206-1

Uporaba betona	Razred vsebnosti klorida ^a	Največja vsebnost Cl na maso cementa ^b
Ne vsebuje jekla za armiranje ali drugih vgrajenih kovin, z izjemo dvigalnih priprav, odpornih proti koroziji	Cl 1,00	1,00%
Vsebuje jeklo za armiranje ali druge vgrajene kovine	Cl 0,20	0,20%
	Cl 0,40	0,40%
Vsebuje jeklo za prednapenjanje	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%
^a Za posebno uporabo betona, se ustrezni razred določi po predpisih, veljavnih v kraju uporabe betona. ^b Če se uporabijo mineralni dodatki tipa II in se upoštevajo pri količini cementa, se vsebnost klorida izrazi kot masni odstotek kloridnega iona od skupne količine cementa in upoštevanih mineralnih dodatkov.		

3.2.2.2 Korozija armature zaradi karbonatizacije

Karbonatizacija se v betonu pojavi takrat, ko kalcijev hidroksid s cementne paste reagira z ogljikovim dioksidom v vodnih porah betona. Produkt reakcije je kalcijev karbonat. Cementna pasta vsebuje od 25 do 50%/težo kalcijevega hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kar pomeni, da je pH sveže cementne paste najmanj 12,5. Visoko karbonatizirana cementna pasta ima pH okrog 7.



Slika 8: Karbonatiziran beton (cementni kamen) vzdolž razpok

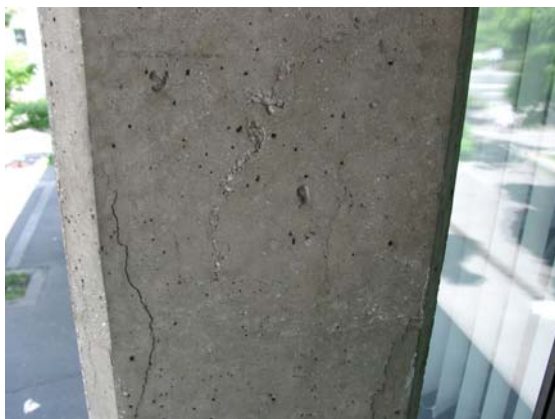
Reakcija (karbonatizacija) je naslednja:



Ko je kalcijev hidroksid izčrpan, ostane prost CaO, ki kasneje prav tako karbonatizira. Proces karbonatizacije zahteva prisotnost vode, saj se CO₂ v nasprotnem primeru ne more vezati v H₂CO₃. Če je beton suh (RH<40%), se CO₂ ne more vezati in nasprotno, če je beton moker (RH>90%), CO₂ ne more prodreti v notranjost.

Za razvoj karbonatizacije sta potrebni dovolj velika poroznost in prisotnost vlage. Normalna posledica karbonatizacije je zmanjšana poroznost in povečana trdnost cementne paste, kar pomeni dobro lastnost v nearmiranem betonu. Za armiran beton je usoden padec vrednosti pH pod 7, kar povzroči še ob prisotnosti vlage in kisika depasivacijo armature ter začetek korozije.

Karbonatizacijo prepoznamo kot cono barvnega kontrasta na betonski površini. Barve, ki razkrivajo karbonatizacijo, so lahko svetlosivi kontrasti, ki jih težje prepoznamo ali pa temnooranžni, ki jih razmeroma hitro opazimo. Za prepoznavanje karbonatizacije se uporablja fenolftalein.



Slika 9



Slika 10

Slika 9: Razpoke v zaščitnem sloju betona kot posledica korozije armature zaradi karbonatizacije
Slika 10: Odpadli krovni sloj betona na vogalu AB elementa kot posledica korozije armature zaradi karbonatizacije

Meritev globine karbonatizacije (fenolftaleinski test)

S tem, ko beton reagira z atmosferskim CO_2 , se alkalnost betona nevtralizira najprej na njegovi površini. Kdaj v življenjski dobi betonske konstrukcije se bo to zgodilo, je odvisno od kvalitete betona.

Globino karbonatizacije lahko merimo na preizkušancih v obliki valjev, ki jih vrtamo v kontaminiran betonski element. Na obod valja s pršenjem naneseemo fenolftalein, ki indicira globino karbonatizacije tako, da se pri pH vrednosti, večji od 9,2, površina obarva z roza-viola barvo. Karbonatiziran del obdrži prvotno barvo in ga izmerimo s kljunastim merilom.



Slika 11: Fenolftaleinski test na izvrtanih valjih, kjer roza barva pomeni pH vrednost večjo od 9,2.

*Empirični formuli za določitev hitrosti prodora in globine karbonatizacije**(privzeto po: MG ASSOCIATES)*

Velja, da je hitrost karbonatizacije obratno sorazmerna s kvadratnim korenom starosti betona.

$$RC = \frac{1}{t_c^{0.5}} \quad (4)$$

kjer je:

RC – hitrost karbonatizacije betonske konstrukcije v mm/leto

t_c – starost betonske konstrukcije v letih.

Globina karbonatizacije pa je sorazmerna s kvadratnim korenom starosti betona.

$$D = t_c^{0.5} \quad (5)$$

kjer je:

D – globina karbonatizacije v milimetrih

t_c – starost betonske konstrukcije v letih

*Opomba: Ta razmerja veljajo samo do RH = 50%, tako da pri RH = 90% pade potenca na 0.3.

3.3 Mehanski vplivi

Med fizikalne vplive štejemo mehanske vplive, ki rušilno vplivajo na betonsko konstrukcijo.

To so:

- mehanske preobremenitve,
- volumske spremembe,
- temperaturni vplivi.

Mehanske preobremenitve

Mehanske preobremenitve povzročajo posredni in neposredni udarci v betonsko konstrukcijo, pomiki raznih podpornih elementov in ciklično obremenjevanje, pri čemer se pojavljajo vedno večje razpoke. To omogoča neoviran vpliv zunanjega okolja v notranjost konstrukcije. Bolj kot je konstrukcija duktilna, manjša je verjetnost za razpoke. To dosegamo z uporabo mikroarmiranih betonov, ki vsebujejo jeklena vlakna, s katerimi preprečujemo razpoke.

Volumske spremembe

Volumske spremembe so največkrat posledica:

- temperaturnih in vlažnostnih sprememb,
- kristalizacijskih pritiskov soli v porah cementnega kamna,
- korozije armature (ekspanzije armaturnih palic),
- razlike koeficientov temperaturnega raztezanja agregata in cementnega kamna.

S povečevanjem volumna različnih komponent betona ali povečevanjem prereza armature, se v notranjosti pojavijo dodatne napetosti, ki povzročajo razpoke ali celo luščenje večjih segmentov krovnega sloja.

3.4 Biološki vplivi

Predvsem v vlažnih okoljih je beton primeren material za rast vegetacije, razvoj mikro- in makro-organizmov. Površinska poroznost (luknjičavost) omogoča zadrževanje vode v mikro in makro porah, kar deluje kot nekakšna epruveta za razvoj korenin različne vegetacije. V morskih okoljih pod morsko gladino so predvsem nevarne školjke, ki imajo izjemno prodorno moč in s svojimi koreninami utirajo pot v notrajnost. Na gosto posejane korenine povzročajo s svojo razširitvijo dobesedno drobljenje betona. Takšna nevarnost ni zanemarljiva, saj je tako v morski vodi, pa čeprav v izolirani okolici (brez menjavanja klimatskih pogojev), jeklena armatura še hitreje dostopna. Tej vrsti agresije pravimo biološka agresija. Različni organizmi lahko s svojimi koreninami segajo tudi do 50 cm v notranjost betona.

4 PREDVIDENA ŽIVLJENJSKA DOBA AB KONSTRUKCIJ

4.1 Definicija življenjske dobe

Življenjska doba konstrukcije določa obdobje, v katerem projektirana konstrukcija služi svojemu namenu ves čas projektirane dobe, nima škodljivih vplivov na ljudi, se ne poruši v primeru požara ali potresa pri določeni stopnji ter da prenaša ostale zunanje vplive (vibracije).

4.2 Splošne ugotovitve

Ob ugotovitvi konec prejšnjega stoletja, da beton predvsem v agresivnih okoljih ni trajen, so se zaradi splošne tehnične in ekonomske upravičenosti njegove rabe v gradbeništvo pričele obširne raziskave, da bi ugotovili vzroke propadanja.

Nekaj časa je v preteklosti veljala miselnost, da se dosega določena življenjska doba AB konstrukcij le s trdnostnimi razredi betona in faktorji, ki zagotavljajo varnost ter stabilnost konstrukcij v intervalu med statičnim okoljem in na drugi strani limitiranimi dinamičnimi vplivi na konstrukcijo. Pri velikem številu preiskav je obveljala ugotovitev, da je za propad AB konstrukcij kriva kontaminacija z agresivnimi snovmi, ki so povzročile korozijo armature, karbonatizacijo, delovanje trdne faze, sulfatno reakcijo itd.

Na trajnost betonske konstrukcije vplivajo predvsem:

- vrsta in jakost agresivnih vplivov (vrsta okolja), ki deluje na konstrukcijo,
- mehanizem transporta agresivnih snovi na izpostavljene površine in v notranjost elementov,
- lastnosti in struktura vgrajenega betona,
- vrsta in smer razpok.

4.3 Projektiranje trajnosti po SIST EN 206-1

Res je, da ta naloga ni predmet projektiranja novih konstrukcij, vendar kadar gre v primeru sanacije za rekonstrukcijo določenega AB objekta, to pomeni, da lahko spreminjamo statični sistem celotne ali dela konstrukcije ali pa jo samo ojačamo in zaščitimo. Takrat uporabimo najnovejše standarde, ki so nam na voljo z željo, da bi AB konstrukciji podaljšali življenjsko dobo. Področje projektiranja trajnosti betona in betonskih konstrukcij, ki je povezana s stopnjo izpostavljenosti, obravnava novi evropski standard SIST EN 206-1.

4.3.1 Strategija projektiranja trajnosti

Da bi s sanacijo omogočili konstrukciji odpornost proti različnim agresivnim vplivom, imamo na voljo tri strategije:

STRATEGIJA A

Določa tri različne možnosti za preprečitev reakcij propadanja:

- A1 Sprememba okolja na izpostavljeni površini betona (s premazi ali prevlekami).
- A2 Uporaba nereaktivnih materialov (nerjavna armatura, armatura s prevleko, cement – odporen proti sulfatom).
- A3 Ustavitev reakcije (preventivna katodna zaščita v primeru korozije armature ali aeriranje v primeru zmrzovanja-tajanja).

STRATEGIJA B

Pri projektiranju trajnosti moramo opraviti naslednje:

- B1 Ugotoviti in določiti agresivne vplive, v katerih se bo nahajala konstrukcija ali posamezni elementi.
- B2 Določiti parametre betona, ki bodo zagotavljali potrebno odpornost proti predvidenim agresivnim vplivom, če je beton pravilno vgrajen in vzdrževan in če uporabljeni materiali izpolnjujejo zahteve.

- B3 Oblikovati izpostavljene dele konstrukcije tako, da se prepreči zamakanje in zastajanje vode na površinah elementov.
- B4 Določiti vrsto, položaj in razporeditev armature, ki omogoča pravilno vgrajevanje in zgoščevanje betona.
- B5 Določiti debelino zaščitnega sloja in analizirati možnost nastanka razpok v zaščitnem sloju.
- B6 Predpisati kontrolo kakovosti med pripravo in vgrajevanjem betona.
- B7 Predpisati način in kontrolo vzdrževanja.

STRATEGIJA C

Večstopenjska zaščita združuje več istočasnih, med seboj usklajenih ukrepov z namenom, da bi podaljšali normalno ocenjeno življenjsko dobo ali zanesljivost napovedi. Med te ukrepe spadajo:

- C1 Uporaba visokovrednih in zmogljivih betonov.
- C2 Dobro zaglajene površine, zaobljeni vogali, kapni robovi in zaščitni napušči.
- C3 Zaščita površine (impregnacija, premazi, obloge).
- C4 Povečanje debeline zaščitnega sloja.
- C5 Uporaba opažev z vodovpojno oblogo, da se izboljša kakovost betonske skorje.
- C6 Uporaba nerjavne armature ali armature s prevleko.
- C7 Uporaba kablov za prednapenjanje s plastičnim oklepom.

4.3.2 Dokazovanje trajnosti betonov za različne stopnje izpostavljenosti

Na podlagi izkušenj je odpornost betona proti delovanju okolja pri posameznih stopnjah izpostavljenosti iz SIST EN 206-1, dovolj zanesljivo zagotovljena, če je s predpisano metodo preskušanja in v skladu s predpisanimi merili SIST 1026.

Preglednica 6: Klasifikacija oznak betonov za različne stopnje izpostavljenosti po SIST EN 206-1 (pregled. 1)

Oznaka stopnje	Opis okolja	Informativni primeri za določitev možne stopnje izpostavljenosti
1 NI NEVARNOSTI KOROZIJE ALI AGRESIVNEGA DELOVANJA		
X0	<i>Pri betonu brez armature ali vgrajenih kovinskih delov:</i> vse vrste izpostavljenosti, razen zmrzovanja/tajanja, abrazije ali kemijskega delovanja. <i>Pri betonu z armaturo ali vgrajenimi kovinskimi deli:</i> zelo suho	Beton znotraj stavb z zelo nizko vlažnostjo zraka
2 KOROZIJA ZARADI KARBONATIZACIJE		
Če je beton, ki vsebuje armaturo ali druge kovinske dele, izpostavljen zraku in vlagi, je treba stopnjo izpostavljenosti določiti na naslednji način: OPOMBA: Pogojev vlažnosti velja za stanje v zaščitnem sloju betona nad armaturo ali drugim vgrajenim kovinskim delom, v mnogih primerih pa se lahko upošteva, da stanje v zaščitnem sloju odraža pogoje v neposredni okolici. V teh primerih je lahko ustrezno razvrščanje glede na pogoje v neposredni okolici. To pa morda ne drži, če je med betonom in njegovo okolico zaporni sloj.		
XC1	Suho ali trajno mokro	Beton znotraj stavb z zelo nizko vlažnostjo zraka Beton stalno potopljen v vodi
XC2	Mokro, le redko suho	Betonske površine v dolgotrajnem stiku z vodo Mnogi temelji
XC3	Zmerna vlažnost	Beton znotraj stavb z zmerno ali visoko vlažnostjo zraka Zunanji beton, zaščiten pred dežjem
XC4	Izmenično mokro in suho	Površine betona v stiku z vodo, ki ne spadajo v stopnjo izpostavljenosti XC2
3 KOROZIJA ZARADI KLORIDOV, KI NE IZVIRAJO IZ MORSKE VODE		
Če je beton, ki vsebuje armaturo ali druge kovinske dele, v stiku z vodo, ki vsebuje kloride, vključno soli za tajanje, ki ne izvirajo iz morske vode, je treba stopnjo izpostavljenosti določiti na naslednji način: OPOMBA: Glede pogojev vlažnosti glej tudi 2. odstavek te preglednice.		
XD1	Zmerna vlažnost	Betonske površine, izpostavljene kloridom, ki jih prenaša zrak
XD2	Mokro, le redko suho	Plavalni bazeni Beton, izpostavljen industrijskim vodam, ki vsebujejo kloride
XD3	Izmenično mokro in suho	Deli mostov, izpostavljeni pršču, ki vsebuje kloride Krovne plasti vozišč Plošče v parkirnih hišah
4 KOROZIJA ZARADI KLORIDOV IZ MORSKE VODE		
Če je beton, ki vsebuje armaturo ali druge vgrajene kovinske dele, v stiku s kloridi iz morske vode ali z zrakom, ki prenaša soli iz morske vode, je treba stopnjo izpostavljenosti določiti na naslednji način:		
XS1	Izpostavljeno soli, ki jo prenaša zrak, vendar ne v neposrednem stiku z morsko vodo	Konstrukcije blizu obale ali ob njej
XS2	Trajno potopljeno	Deli morskih zgradb
XS3	Območja plimovanja, pljuskanja in pršenja	Deli morskih zgradb

nadaljevanje preglednice 6

5 ZMRZOVANJE/TAJANJE S SREDSTVI ZA TAJANJE ALI BREZ NJIH		
Če je moker beton izpostavljen znatnemu delovanju izmeničnega zmrzovanja/tajanja, je treba stopnjo izpostavljenosti določiti na naslednji način:		
XF1	Zmerna nasičenost z vodo brez sredstva za tajanje	Navpične betonske površine, izpostavljene dežju in zmrzovanju
XF2	Zmerna nasičenost z vodo, ki vsebuje sredstvo za tajanje	Navpične betonske površine konstrukcij na cestah, izpostavljene zmrzovanju in sredstvom za tajanje, ki se prenašajo po zraku
XF3	Močna nasičenost z vodo brez sredstva za tajanje	Vodoravne betonske površine, izpostavljene dežju in zmrzovanju
XF4	Močna nasičenost z vodo, ki vsebuje sredstvo za tajanje, ali z morsko vodo	Krovne plasti na cestah in mostne plošče, izpostavljene sredstvom za tajanje
		Betonske površine, izpostavljene neposrednemu pršilcu, ki vsebuje sredstva za tajanje in zmrzovanje
		Območje pljuskanja na morskih zgradbah, ki so izpostavljene zmrzovanju
6 KEMIČNO DELOVANJE		
Če je beton izpostavljen kemičnemu delovanju naravnih zemljin in talne vode, kot je navedeno v preglednici 7, jetreba stopnjo izpostavljenosti določiti na spodaj navedeni način. Klasifikacija morske vode je odvisno od geografskega položaja: zato je treba upoštevati klasifikacijo, veljavno v kraju uporabe betona.		
OPOMBA: Za določitev ustreznih pogojev okolja je morda potrebna študija, če: <ul style="list-style-type: none"> - so mejne vrednosti zunaj tistih v preglednici 7, - so prisotne druge agresivne kemikalije, - so tla in voda kemično onesnažena, - je hitrost vode v kombinaciji s kemičnimi snovmi iz preglednice 7 velika. 		
XA1	Malo agresivno kemično okolje v skladu s preglednico 7	
XA2	Zmerno agresivno kemično okolje v skladu s preglednico 7	
XA3	Močno agresivno kemično okolje v skladu s preglednico 7	

Preglednica 7: Mejne vrednosti za stopnje izpostavljenosti pri kemičnem delovanju naravnih zemljin in talne vode po SIST EN 206-1 (Preglednica 2)

Spodnja klasifikacija agresivnih kemičnih okolij velja za naravne zemljine in talno vodo pri temperaturi vode/zemljine od 5 do 25°C in pri hitrosti vode, ki je tako majhna, da se približuje statičnim pogojem.

Stopnjo izpostavljenosti določa najugodnejša vrednost vsake posamezne kemične karakteristike.

Če do iste stopnje pripeljeta dve ali več karakteristik agresivnosti, je treba okolje uvrstiti v naslednjo višjo stopnjo, razen če se s posebno študijo takega primera dokaže, da ni potrebno.

Kemična karakteristika	Referenčna metoda preskušanja	XA1	XA2	XA3
Talna voda				
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	EN 196-2	≥ 200 in ≤ 600	≥ 600 in ≤ 3000	> 3000 in ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 in ≥ 5,5	< 5,5 in ≥ 4,5	< 4,5 in ≥ 4,0
agresivni CO ₂ , mg/l	prEN 13577:1999	≥ 15 in ≤ 40	> 40 in ≤ 100	> 100 do nasičenosti
NH ₄ ⁺ [mg/l]	ISO 7150-1 ALI ISO 7150-2	≥ 15 in ≤ 30	> 30 in ≤ 60	> 60 in ≤ 100
Mg ²⁺ [mg/l]	ISO 7980	≥ 300 in ≤ 1000	> 1000 in ≤ 3000	> 3000 do nasičenosti
Zemljina				
SO ₄ ²⁻ [mg/kg]	EN 196-2 ^b	≥ 2000 in ≤ 3000 ^c	> 3000 ^c in ≤ 12000	> 12000 in ≤ 24000
kislost ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	V praksi ne nastopa	
^a Glinaste zemljine s prepustnostjo manjšo od 10 ⁻⁵ m/s se smejo razvrstiti v nižjo stopnjo. ^b Preskusna metoda predpisuje izločitev SO ₄ ²⁻ s klorovodikovo kislino; če obstajajo v kraju uporabe betona zadostne izkušnje, se namesto tega lahko uporabi izločanje z vodo. ^c Če obstaja nevarnost kopičenja sulfatnih ionov v betonu zaradi izmeničnega sušenja in močenja ali kapilarnega sesanja, je treba mejo 3000 mg/kg znižati na 2000 mg/kg.				

Preglednica 8: Priporočene mejne vrednosti za sestavo in lastnosti betona po SIST EN 206-1 (preglednica F.1)

		Stopnje izpostavljenosti																
		Korozija zaradi karbonatizacije				Morska voda			Drugi kloridi			Zmrzovanje-tajanje				Kemijsko agresivna okolja		
		XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Ni nevarnosti korozije ali agresivnega delovanja	X0																	
Max. v/c		0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Min. trdnostni razred	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	
Min. vsebnost cementa, kg/m ³		260	280	280	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Min. vsebnost zraka, %												4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a				
Druge zahteve												Agregat po prEN 12620:2000 z zadostno odpornostjo proti zmrzovanju/tajanju				Sulfatno odporni cement ^b		

^a Če beton ni aeriran, naj se obnašanje betona preskusi po ustreznih preskusnih metodah in primerja z betonom, za katerega je odpornost proti zmrzovanju/tajanju pri ustreznih stopnjah izpostavljenosti dokazana.

^b Če SO₂ nakazuje stopnjo izpostavljenosti XA2 in XA3, je uporaba sulfatno odpornega cementa bistvena. Če je cement razvrščen glede na sulfatno odpornost, naj se pri stopnji izpostavljenosti XA2 (in pri XA1, kadar nastopa) uporabi zmerno ali visoko sulfatno odporen cement.

4.4 Napovedovanje življenjske dobe konstrukcije v odvisnosti od agresivnosti okolice

O zanesljivem napovedovanju življenjske dobe AB konstrukcij v preteklosti in sedanjosti še ne moremo govoriti. Pri napovedi mehanskih vplivov v času življenjske dobe konstrukcije se srečamo s terminskim problemom, kdaj se bo ta vpliv pojavil (naj si bo to potres, poplave, močan veter...), vendar to rešujemo z vpeljevanjem verjetnosti povratne dobe vpliva v statični sistem AB konstrukcije. Pri fizikalno-kemijsko-bioloških procesih seveda poznamo njihov časovni vpliv, vendar njihova splošna interpretacija še zdaleč ni enostavna.

Za določevanje življenjske dobe gradbenih konstrukcij obstaja več modelov, ki jih delimo na dve glavni skupini:

- empirične modele in
- modele, ki temeljijo na fizikalnih zakonih.

Empirični modeli

Ti modeli temeljijo na določanju materialnih lastnosti na vzorcih, ki so izpostavljeni podobnim pogojem, kot jih pričakujemo med eksploatacijo objekta. Ti modeli temeljijo na podatkovni bazi velikega števila vzorcev, na katerih so bili poskusi izvedeni. Na osnovi velikega števila rezultatov se izpeljejo empirične enačbe in kriteriji za oceno rezultatov. Ti rezultati veljajo le za preiskovano območje. Poskusi v laboratorijskih pogojih so praviloma načrtovani tako, da so pogoji okolja ostrejši od tistih v naravi. V večini primerov posamezen model temelji le na enem procesu propadanja.

Modeli, ki temeljijo na fizikalnih zakonih

Fizikalne, mehanske in kemične procese, ki potekajo med propadanjem betona in armature, lahko opišemo s temeljnimi naravnimi zakonitostmi, ki predstavljajo osnovo za formulacije inženirskih orodij za napovedovanje življenjske dobe AB konstrukcij. Ravno prenos

teoretičnega znanja na uporabne ravni predstavlja težavo, saj se srečujemo s problemom kvantitativnega in kvalitativnega opisa agresivnega delovanja okolja.

Matematični modeli za simulacijo prodora karbonatizacije in kloridov

Modeli temeljijo na fizikalnih zakonih transporta tekočin in plinov skozi porozno strukturo strjenega betona. Pri ocenjevanju začetka depasivacije armature se uporabljata matematična modela za karbonatizacijo in prodor kloridov v morskem okolju. **Potrebno se je zavedati dejstva, da zaradi kompleksnosti opisa vseh fizikalnih zakonitosti spodnji modeli veljajo le v primeru stacionarnih vplivov!**

Matematični model za prodor karbonatizacije

Globina karbonatizacije x po času t je dana z izrazom:

$$x = k^* \cdot \sqrt{t} \quad (6)$$

kjer je

$$k^* = \sqrt{2 \cdot c_{s,ca} \cdot D_{ca}} \quad (7)$$

k^* - koeficient karbonatizacije, ki je funkcija stopnje izpostavljenosti vlagi in temperaturi.

$$D_{ca} = D_{ca,0} \cdot k_{e,ca} \cdot k_{c,ca} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^{2 \cdot n_{ca}} \quad (8)$$

kjer so:

$C_{s,ca}$ = koncentracija CO_2 na površini

D_{ca} = efektivni koeficient koncentracije

$D_{ca,0}$ = koeficient difuzije, določen s preskusom

$k_{e,ca}$ = faktor okolja

$k_{c,ca}$ = faktor nege

t_0 = starost betona pri preskusu $D_{ca,0}$

n_{ca} = faktor staranja (0 do 0,16)

Matematični model za prodor kloridov

Naravno in časovno odvisnost prodora kloridov glede na različne koncentracije, je skušal opisati Fick z difuzijsko enačbo.

1. Fickov zakon

Ta zakon govori o tem, da se s časom po celotni globini betonskega elementa izenači koncentracija kloridov s koncentracijo na površini.

V enodimenzionalnem modelu je 1. Fickov zakon izražen s formulo:

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \quad (9)$$

kjer so:

$C_{(x,t)}$ = koncentracija kloridov v globini x v času t

C_0 = koncentracija kloridov na površju

D_c = difuzijska konstanta

erf = napaka funkcije (v standardih matematičnih modelih)

Betoni z nizko difuzijsko konstanto (D_c) zagotavljajo daljšo zaščito armaturi na globini x .

2. Fickov zakon

Drugi Fickov zakon pove, da je koeficient difuzije kloridov $D(t)$ odvisen tako od časa kot od temperature.

Za enodimenzionalni in dvodimenzionalni model je 2. Fickov zakon izražen s formulo:

$$D(t) = D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m \quad (10)$$

kjer so:

$D(t)$ = koeficient difuzije kloridov v času t

D_{ref} = koeficient difuzije koridov v referenčnem času t_{ref} , ki je odvisen od v/c faktorja in cementnih aditivov

m = časovna konstanta (odvisna os mešalnega razmerja)

Sprememba difuzijskega koeficienta v odvisnosti od temperature je zajeta v naslednji formuli:

$$D(T) = D_{ref} \cdot \exp \left[\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (11)$$

kjer so:

$D(T)$ =koeficient difuzije v času t in temperaturi T

D_{ref} =koeficient difuzije koridov v referenčnem času t_{ref} in temperaturi T_{ref}

U =aktivacijska energija difuzijskega procesa (35000 J/mol)

R =plinska konstanta

T =absolutna temperatura

T_{ref} =referenčna temperatura

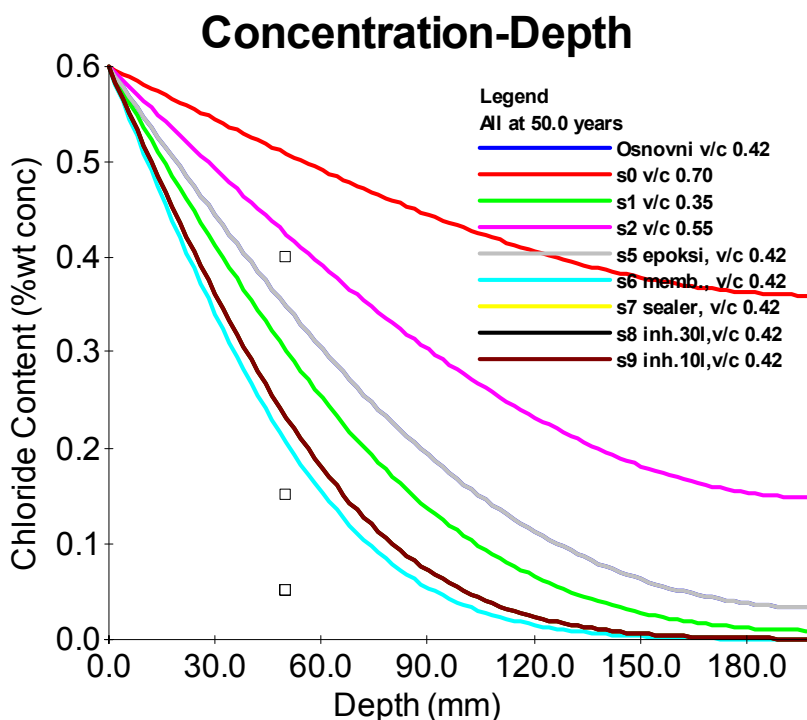
Računalniško modeliranje

Na spodnjih slikah sta prikazana hitrost prodora kloridov v globino in povečevanje koncentracije na betonski površini z leti.

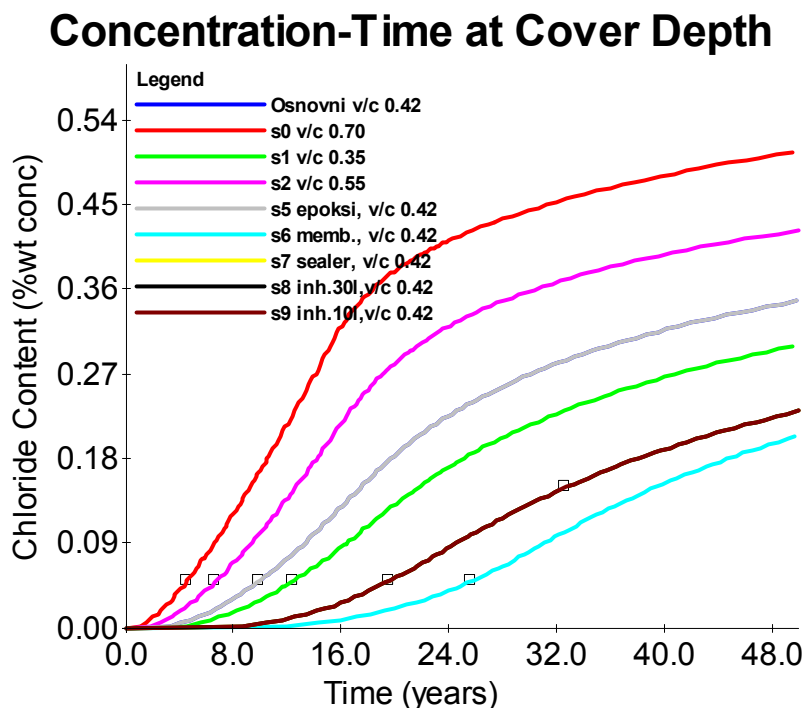
Podatki so pridobljeni s programom **Life-365**, ki je poleg **Chlodif-a** najbolj razširjen za napovedovanje življenjske dobe, vendar zanesljivost pridobljenih podatkov še ne zadošča za resnejšo uporabo pri realnih analizah betonskih konstrukcij. Life-365 temelji na 1-D in 2-D končnih diferencah 2. Fickovega zakona in je omejen le na simulacijo prodora kloridov.

Veliko podatkov ima privzetih, lahko pa jih določimo tudi sami. Difuzijske konstante ima privzete glede na okolico, v katero smo postavili konstrukcijo, lahko spreminjamo lastnosti betona in dodatke (vsebnost mikro silike, elektrofilterskega pepela), v/c faktor itd.

Prav tako lahko predpišemo različne zaščite pred vplivom kloridov bodisi za beton bodisi za armaturo.



Slika 12: Prikaz koncentracije kloridov v krovni plasti po 50 letih pri upoštevanju različnih ukrepov, ki zavirajo prodor kloridov (Pridobljeno z računalniškim programom LIFE-365)



Slika 13: Prikaz povečevanja koncentracije kloridov na globini armature z leti (do 50let) pri upoštevanju različnih ukrepov, ki zavirajo prodor kloridov (Pridobljeno z računalniškim programom LIFE-365)

5 SISTEMI ZA SANACIJO AB KONSTRUKCIJ, POŠKODOVANIH ZARADI KOROZIJE ARMATURE

Cilji sanacije AB konstrukcij

Osnovni faktorji, ki jih je potrebno vzeti v razmislek pri izbiri sanacijskega ukrepa, so načrtovanje, življenjska doba, cena, uporaba, vzdrževanje in obseg sanacijskih posegov v prihodnosti.

Da bi s primernimi ukrepi dosegli trajnostne zahteve v smislu življenjske dobe konstrukcije, je potrebno upoštevati:

- a) opazovanje AB konstrukcije v določenem časovnem obdobju;
- b) dodatna analiza kapacitete zgradbe z možnostjo spremembe funkcionalnosti AB konstrukcije;
- c) preprečitev ali redukcija nadaljnjih poškodb, brez ojačanja AB konstrukcije;
- d) izboljšanje, ojačanje ali prenova vseh delov AB konstrukcije;
- e) rekonstrukcija celotne ali del AB konstrukcije;
- f) rušenje celotne ali del AB konstrukcije.

Faktorji, ki jih je potrebno upoštevati za primerno izbiro ukrepov

Splošno

- a) uporabnost, načrtovana doba, življenjska doba betonske konstrukcije;
- b) odpornost proti različnim vplivom (požarna odpornost, vodoneprepustnost);
- c) dolgotrajna odpornost zaščite betonske konstrukcije;
- d) dopuščanje možnosti zaščite, popravila in opazovanja;
- e) število in cena sprejemljivih sanacijskih ciklov skozi načrtovano dobo betonske konstrukcije;
- f) strošek in vložek alternativne zaščite ali reparacije, vključno s stroški vzdrževanja;
- g) lastnosti in možne metode priprave obstoječe zaščite;
- h) zunanji videz sanirane betonske konstrukcije.

Zaščita in varnost

- a) posledice porušitve betonske konstrukcije;
- b) zahteve po zaščiti in varnosti;
- c) preučitev vpliva sanacijskih del na betonski konstrukciji, na zaposlene ali uporabnike ter mimoidoče.

Konstrukcija

- a) možna ali nujna sprememba dinamičnih vplivov na betonsko konstrukcijo med samo sanacijo ali po njej;
- b) preučiti je potrebno pomen dodatne obtežbe, povzročene med sanacijo in po njej;
- c) preučitev potreb po preiskavah in vzdrževanju po sanaciji.

Okolje

- a) lokalna sprememba okolja sanirane betonske konstrukcije;
- b) potreba ali priložnost obnove betonske konstrukcije pred zunanjimi vplivi vključno z zaščito preplastitev med sanacijo.

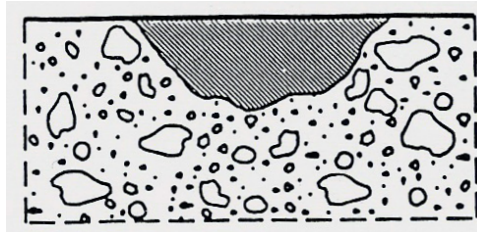
Izbira primernega ukrepa

Zahteve za zaščito in reparacijo betonskih konstrukcij naj bi določale, katere metode so primerne:

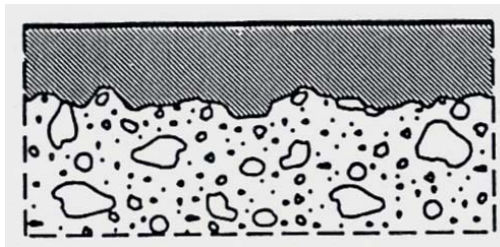
- tipu in vzroku ali kombinaciji vzrokov ter obsežnosti poškodb,
- pogojem za nadaljnje služenje,
- vrsti zaščite ali reparacije, ki je bila izbrana.

5.1 Tehnična priporočila po RILEM TC 124

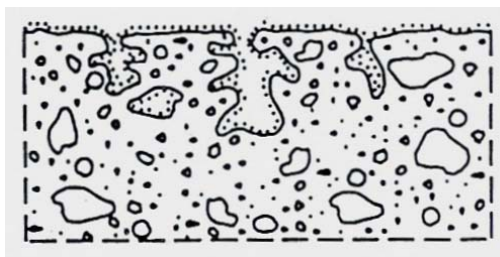
5.1.1 Vrste zaščit in popravil betonske krovne plasti



Slika 14: Zapolnitev lokalnih poškodb s cementno malto ali betonom



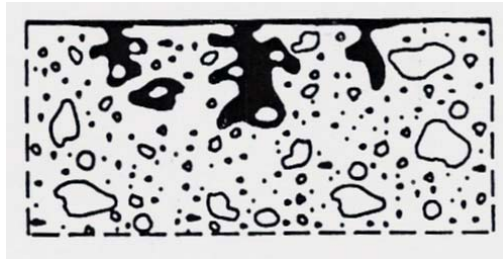
Slika 15: Nanos cementne malte ali betona na obstoječo površino



Slika 16: Nanos vodo-odbojnega impregnacijskega premaza



Slika 17: Zapolnitev razpok s cementno injekcijsko maso ali smolo



Slika 18: Nanos penetracijskega premaza, ki ustvari na površini neprepusten film



Slika 19: Preplastitev betonske površine s prevleko, ki ustvari neprepusten film

5.1.2 Osnovne metode za sanacijo in zaščito v primeru korozije armature, povzročene s karbonatizacijo

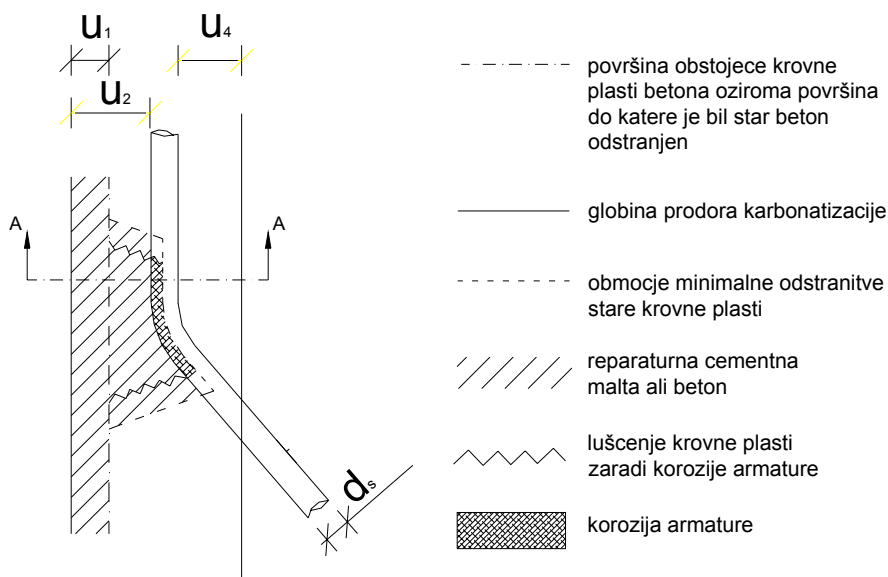
Repasivacija armature z nanosom alkalnega medija na obstoječo betonsko površino v primeru karbonatizacije (OSNOVNA METODA R1)

Za obnovo pasivnega filma na armaturi obstaja več različnih možnosti. Metoda R1 predvideva uporabo s cementom bogatih malt in betonov, ki imajo visokoalkalne lastnosti. Nanos reparaturne malte ali betona na obstoječo očiščeno betonsko površino je pogojen z odpornostjo proti karbonatizaciji, da se zagotovi trajna repasivacija armature. Namen metode je doseganje re-alkalizacije karbonatiziranih con v starem krovnem sloju s procesom difuzije. Reparaturna malta mora biti alkalno dovolj močna in nanešena v takem sloju, da ob postopni izgubi alkalnosti od konca sanacije CO₂ vso preostalo življenjsko dobo ne doseže ponovno stare krovne plasti. Razpokana ali okrušena krovna plast naj bo odstranjena do globine nepoškodovanega območja in nato reparirana.

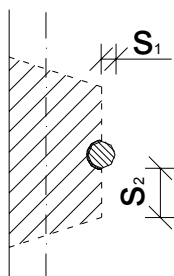
Ta metoda je merodajna le v primeru, da karbonatizacija ni prišla globlje od 20 mm preko armature. V primeru, da je karbonatizacija globlja od 20 mm preko armature, je potrebno odstraniti krovni sloj do armature (slika 11) in očistiti armaturo v skladu z zahtevo čistosti po DIN 55 928. Po čiščenju se lahko armatura eventuelno premaže s premazom, ki ni organskega izvora, nato pa sledi izvedba novega visoko-alkalnega krovnega sloja iz cementne malte ali betona (priporočena je uporaba portland cementa).

Preglednica 9: Čiščenje armature je glede na stopnjo korodiranosti armature v povezavi z R1 zajeto v DIN 55 928

armatura	čistost	čiščenje	
		vodni curek	suho
nepremazana	St 2 ali Sa 2	≥ 600bar	ročno
premazana	Sa 2 ^{1/2}	≥ 600bar	ročno



PREREZ A-A



ZAHTEVE:

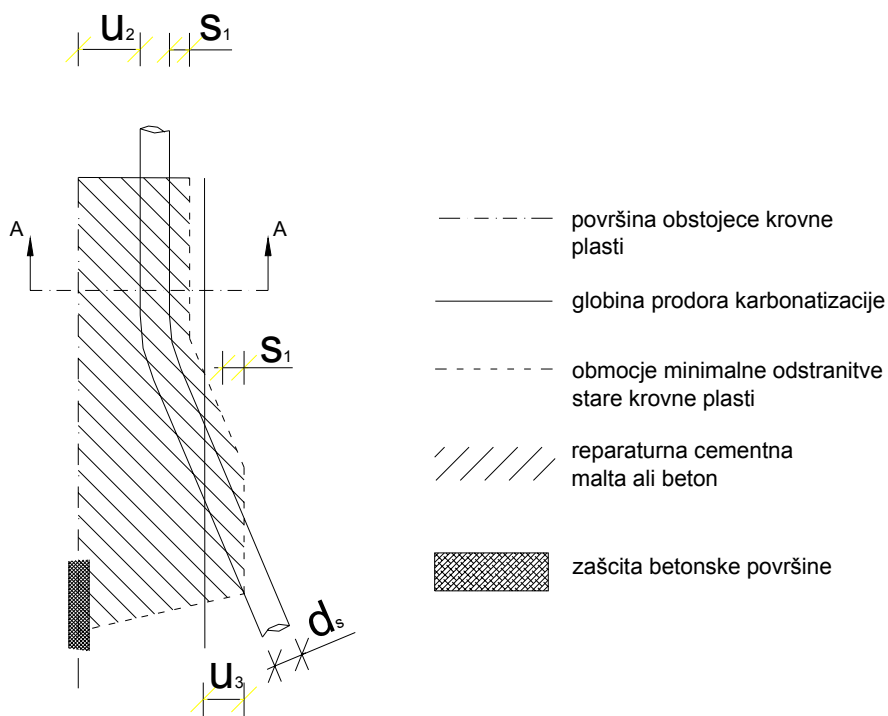
u_1	>	$t_{k,1}$
	\geq	20 mm
$t_{k,1}$	=	globina karbonatizacije v reparaturni malti na koncu življenjske dobe AB konstrukcije
u_2	\geq	preglednica 10, DIN 1045
u_4	\leq	20 mm
$u_2 - u_1$	=	neomejeno
S_1	=	0
S_2	=	varno območje (ponavadi 20 mm)
d_s	=	premer armaturne palice

Slika 20: Osnovna metoda R1 - Shematski prikaz repasivacije armature z nanosom alkalnega medija v primeru karbonatizacije

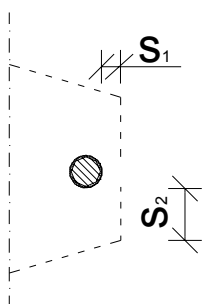
Lokalna sanacija z alkalno cementno malto ali betonom v primeru karbonatizacije (OSNOVNA METODA R2)

Ta metoda omejuje sanacijo na posamezna območja AB konstrukcije. Na tistih delih, kjer je bila ugotovljena korozija armature zaradi karbonatizacije, ali je bil odkrit zelo tanek, popolnoma karbonatiziran krovni sloj. Popolnoma karbonatiziran del krovnega sloja, v katerem ni več možna realkalizacija z difuzijo hidroksilnih ionov, je potrebno odstraniti, pa čeprav se korozijski proces še ni aktiviral (po vsej verjetnosti bi se aktiviral pred končano življenjsko dobo konstrukcije). Reparacija se izvaja z reparaturnimi maltami in betoni, ki morajo biti visokoalkalni, neprepustni in nanešeni v dovolj debelem sloju, da se zagotovi trajna repasivacija armature. Po končani reparaciji je potrebno premazati betonsko površino z neprepustnimi premazi (za CO₂).

Omejena trajnost premazov mora biti zajeta v vzdrževalnem planu. Premaz ni potreben v primeru dokaza, da je nova krovna plast dovolj debela in karbonatizacija ne bo dosegla nivoja armature do konca življenjske dobe konstrukcije. Po tej metodi je minimalna debelina (u_2 na sliki 12) krovne plasti 10 mm. Varnostno odkritje betona v okolici armature, ki ima $d \geq 20$ mm, mora biti vsaj 15 mm ($s_1 \geq 15$ mm na sliki 12).



PREREZ A-A



ZAHTEVE:

u_2	>	$t_{k,1}$
	\geq	10 mm
$t_{k,1}$	=	globina karbonatizacije v reparaturni malti na koncu življenjske dobe AB konstrukcije
u_3	\geq	maksimalna predvidena globina karbonatizacije v stari krovni plasti na koncu življenjske dobe AB konstrukcije
s_1	=	varno območje (ponavadi 10 mm) $s_1=0$ če $s_2 \geq 20$ mm
s_2	=	varno območje (ponavadi 20 mm)
d_s	=	premer armaturne palice

Slika 21: Osnovna metoda R2 – Shematski prikaz lokalne sanacije z alkalno cementno malto ali betonom v primeru karbonatizacije

Zaščita pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru karbonatizacije (OSNOVNA METODA W)

V tem primeru je metoda sanacije vperjena v zmanjšanje vlažnosti znotraj elementov AB konstrukcije v primerjavi z vlažnostjo okolice. Tako stanje se lahko doseže z uporabo primernih premazov, ki preprečujejo pronicanje in vsrkavanje vode iz okolice v notranjost betona.

Efekt vodne zapore se lahko doseže:

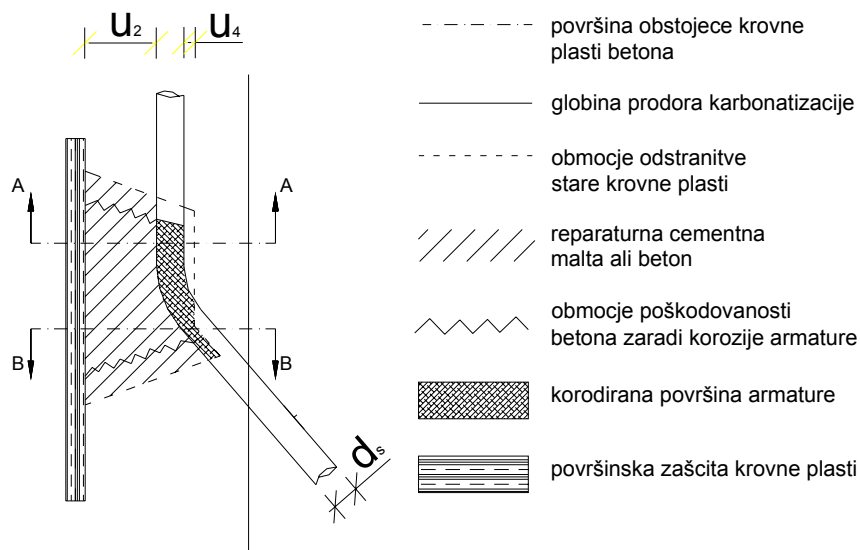
- s hidrofobno impregnacijo (najbolj učinkovita) ,
- z vodoneprepustnimi premazi (nanešenimi po izsuševanju),
- z različnimi sistemi prevlek,
- z membranami, ki so zaščitene pred direktnimi vremenskimi vplivi.

Rezultati kažejo, da je korozija armature manj pogosta pri karbonatiziranih betonih z nizko vsebnostjo vlage. *Metoda je najbolj učinkovita v okolju z dokaj konstantnimi klimatskimi pogoji.* Krovna plast mora biti odstranjena le na delih, kjer je korozija povzročila razpoke in luščenje. Premazi armature pri lokalni reparaciji niso potrebni, ker z obravnavano metodo izključimo elektrolitno-konduktivni proces.

Za površinsko zaščito na reparirani konstrukciji je potreben monitoring v regularnih intervalih. Prav tako je potrebno opazovanje učinkovitosti sanacijskega ukrepa na koroziji armature.

Priporočene inštalacije za monitoring so sledeče:

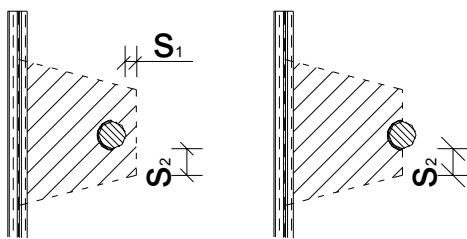
- kontrola vlažnosti v vrtinah v določenem intervalu,
- vstavev elektrod na območja korozije armature,
- makro-celični senzorji korozije,
- linearni polarizacijski senzorji.



PREREZ A-A

PREREZ B-B

ZAHTEVE:



u_2	\geq	neomejeno
s_1	$=$	varno območje (ponavadi 10 mm)
s_2	$=$	varno območje (ponavadi 20 mm)
d_s	$=$	premer armaturene palice

Slika 22: Osnovna metoda W – Shematski prikaz zaščite pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru karbonatizacije

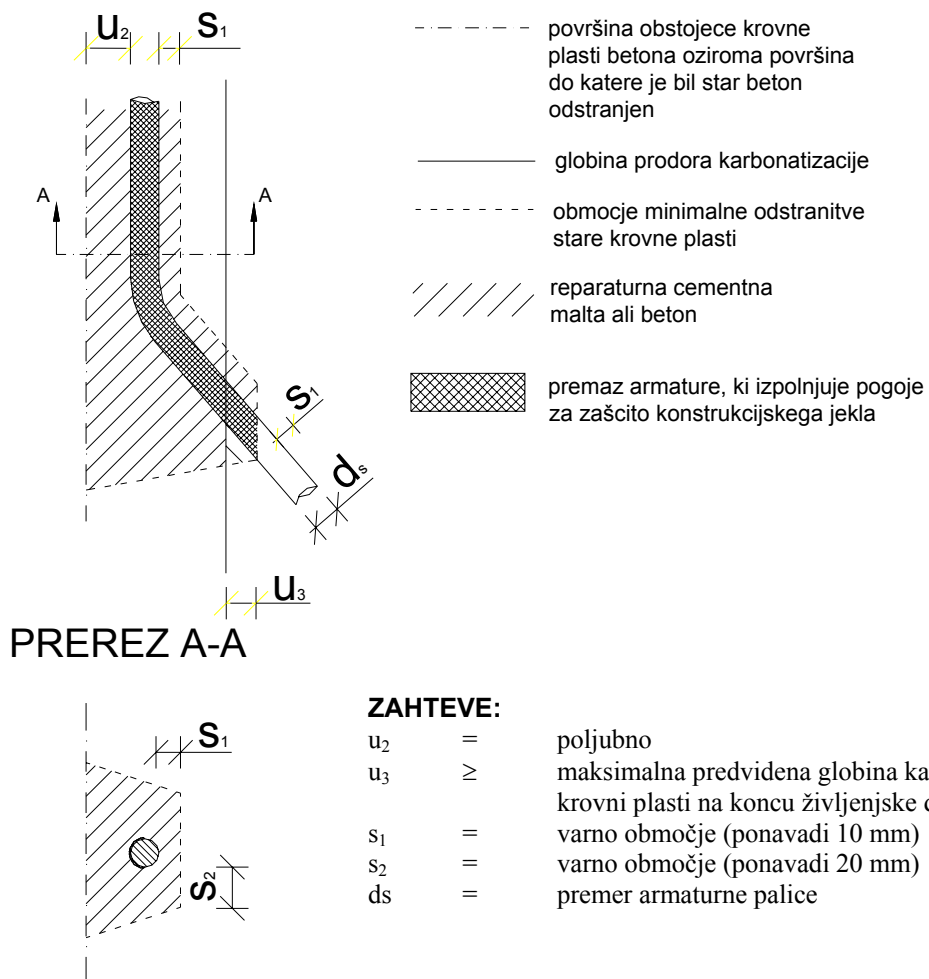
Zaščita armature pred korozijo z zaščitnim premazom v primeru karbonatizacije (OSNOVNA METODA C)

V primeru, da z osnovnima metodama R in W ne moremo doseči ustrezne zaščite (ni možnosti repasivacije ali zmanjšanja vsebnosti vode znotraj elementov) AB konstrukcije, preostane še zaščita površine armature s premazi organskega izvora. Takšne vrste premazi morajo opravljati funkcijo fizične bariere med površino armature in reparaturno cementno malto v vseh primerih, kjer malta sama ne bi zadostovala za trajno repasivacijo armature.

Odstranitev krovne plasti je potrebna na vseh mestih, kjer je karbonatizacija že dosegla nivo armature. Ta metoda predvideva tudi premaz betonske površine po sanaciji z namenom, da se omeji prodor karbonatizacije v prihodnosti.

Posledice korozije na armaturi (rje) je potrebno očistiti (do stopnje **Sa2^{1/2}** v skladu z DIN 55 928). Fizična bariera mora biti popolna po celotni površini armature. Posebno pozornost je treba posvetiti krivljenim vogalom in mestom, kjer se stika več palic. Čiščenje armature se lahko izvaja s ščetkanjem ali vodnim curkom. V praksi je težko doseči čistost armature **Sa1/2** ter neprepusten, elektro-izolativen premaz, zato mora biti uporaba te metode skrbno pretehtana pod primernimi pogoji na mestu izvedbe.

Visoka alkalnost novega krovnega sloja ni nujna, ker je pri tej metodi izključena repasivacija. Premaz betonske površine mora biti redno kontroliran!



Slika 23: Osnovna metoda C – Shematski prikaz zaščite armature pred korozijo z zaščitnim premazom v primeru karbonatizacije

5.1.3 Osnovne metode za sanacijo in zaščito v primeru korozije armature, povzročene s kloridi

Uspešna sanacija korozijsko poškodovanih objektov, kjer se je razvila korozija zaradi prekomernih vsebnosti kloridnih ionov, je veliko bolj zahtevna od sanacije v primeru karbonatizacije. V primerih, kjer je nivo kloridne kontaminacije visok, osnovne metode R, W in C ne pridejo v poštev. Tudi katodno zaščito in ostale specialne metode je potrebno pretehtati. Da kloridi povzročijo depasivacijo, je odvisno od mnogih parametrov (kvalitete betona, okolja itd.).

V večini primerov je groba ocena vsebnosti kloridov za nizko tveganje korozije med 0,3 in 0,5% (POZOR! PO RILEM TC 124) na maso cementa. Pričetek korozije je verjeten tudi pri vsebnostih, nižjih od 0,3%, ko so izpolnjeni še drugi pogoji (na primer ob prisotnosti karbonatizacije). Območja, kjer je velika verjetnost lokalne korozije, so območja z negativnim potencialom. Popravilo takih območij ima lahko za posledico povzročitev korozije na mestih, ki so bila prej katodno zaščiteni.

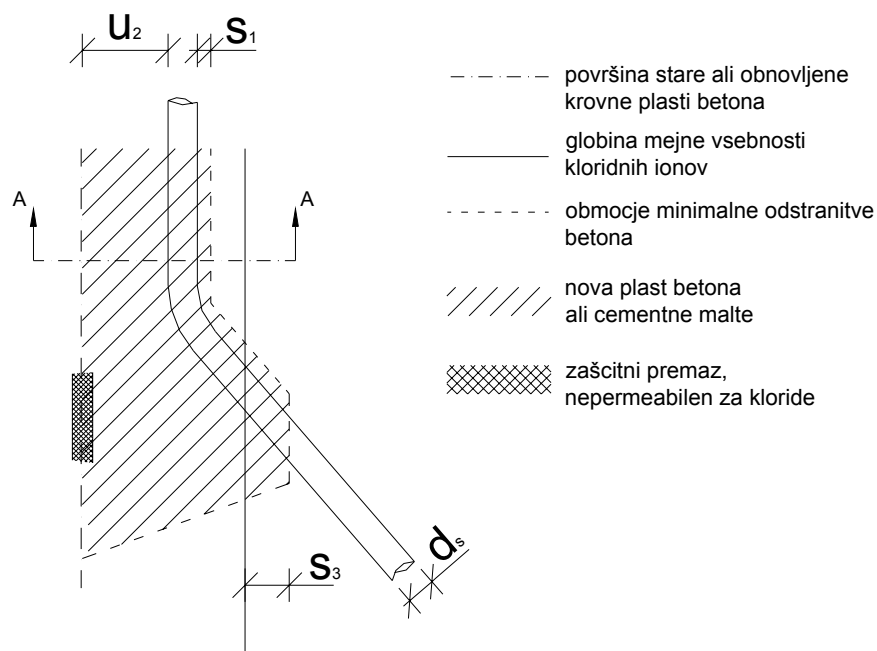
Ocena kontaminiranosti in izbira prave metode za sanacijo je drugačna če:

- so bili kloridi vnešeni v svežo betonsko mešanico (**metodi R in C odpadeta!**),
- so kloridi migrirali v otrdeli beton po čiščenju površine s kislinami,
- sokloridi prenetirali v otrdeli beton iz okolja.

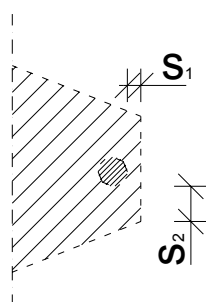
Čiščenju armature je potrebno posvetiti veliko pozornost. Pogosto pride v poštev le čiščenje z vodnim curkom pod visokim pritiskom, da se doseže dovolj velika čistost na mestih jamičaste korozije. Pri uporabi metod R, W ali C so obvezni dodatni površinski premazi na betonski površini, ki morajo zagotavljati neprepustnost za kloride vso preostalo življenjsko dobo konstrukcije!

Lokalna sanacija z alkalno cementno malto ali betonom v primeru prodora kloridov (OSNOVNA METODA R2-Cl)

Metoda R2-Cl je v smislu postopka lokalne sanacije popolnoma identična metodi R2 (za sanacijo v primeru korozije armature zaradi karbonatizacije). Potrebno je upoštevati temeljne zahteve in pogoje, kot so navedeni v metodi R2 z razliko, da se v tem primeru tretira vsebnost kloridov, ki povzročajo korozijo armature. To pomeni, da je potrebno upoštevati varnostno odstranitev betona v okolici armature ter nanos za kloride nepermeabilnega premaza na izpostavljeni betonsko površino.



PREREZ A-A



ZAHTEVE:

u_2	>	$t_{c,1}$
$t_{c,1}$	=	maksimalna globina penetracije kloridov na koncu življenjske dobe AB konstrukcije
S_1	=	varno območje (ponavadi 10 mm)
S_2	=	varno območje (ponavadi 20 mm)
S_3	=	varno območje (ponavadi 5 mm)
d_s	=	premer armaturene palice

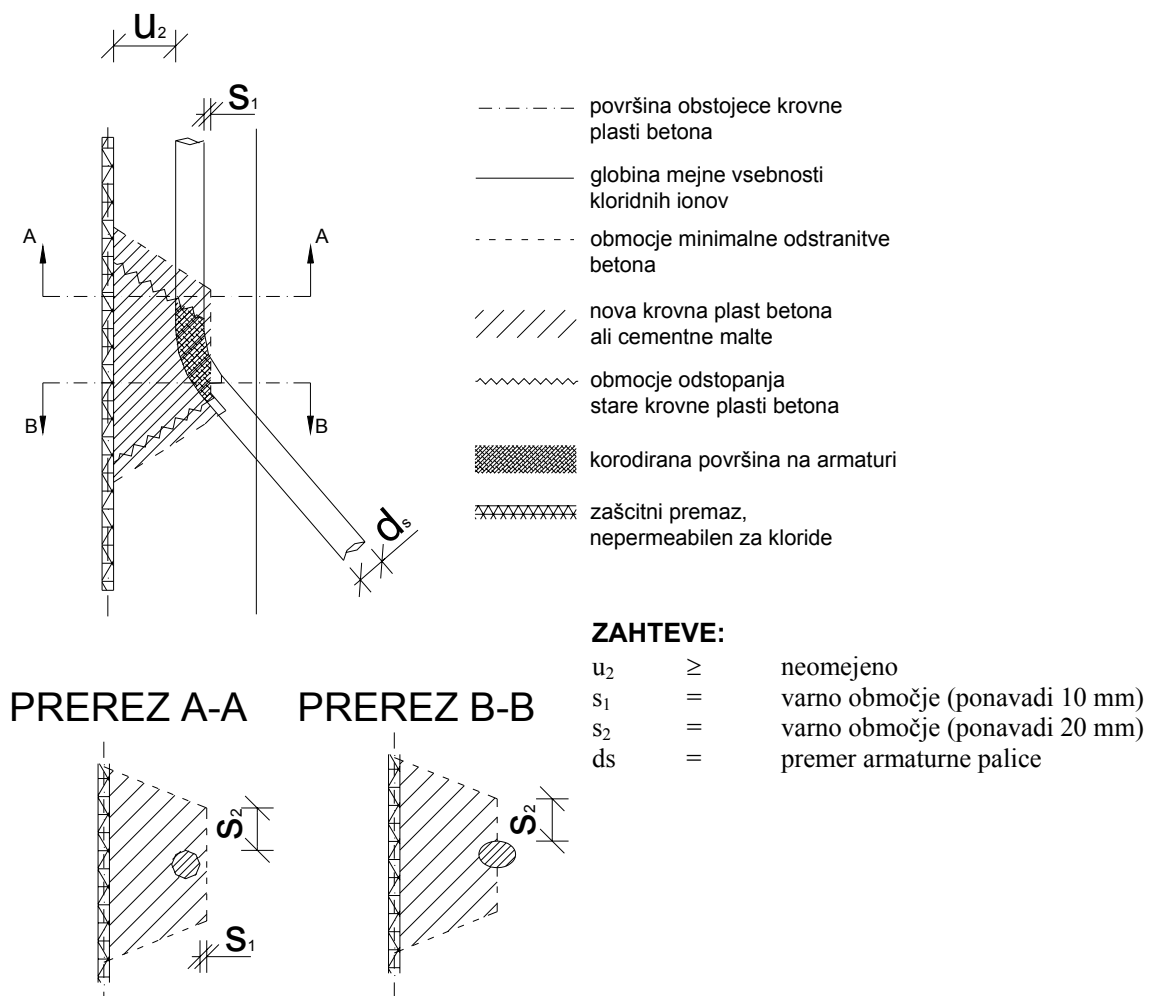
Slika 25: Osnovna metoda R2-Cl – Shematski prikaz lokalne sanacije z alkalno cementno malto ali betonom v primeru prodora kloridov

Zaščita pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru prodora kloridov (OSNOVNA METODA W-Cl)

Zanesljivost te metode v realizaciji še ni znana. Niso bili še pridobljeni ustrezni podatki o učinkovitosti na daljši rok.

Kloridi v betonu povečajo njegovo električno konduktivnost, ki vodi k pospešenemu nastajanju korozije na armaturi. Zato mora biti omejevanje vode oziroma izsuševanje betona še bolj aktivno kot v primeru karbonatizacije (osnovna metoda W).

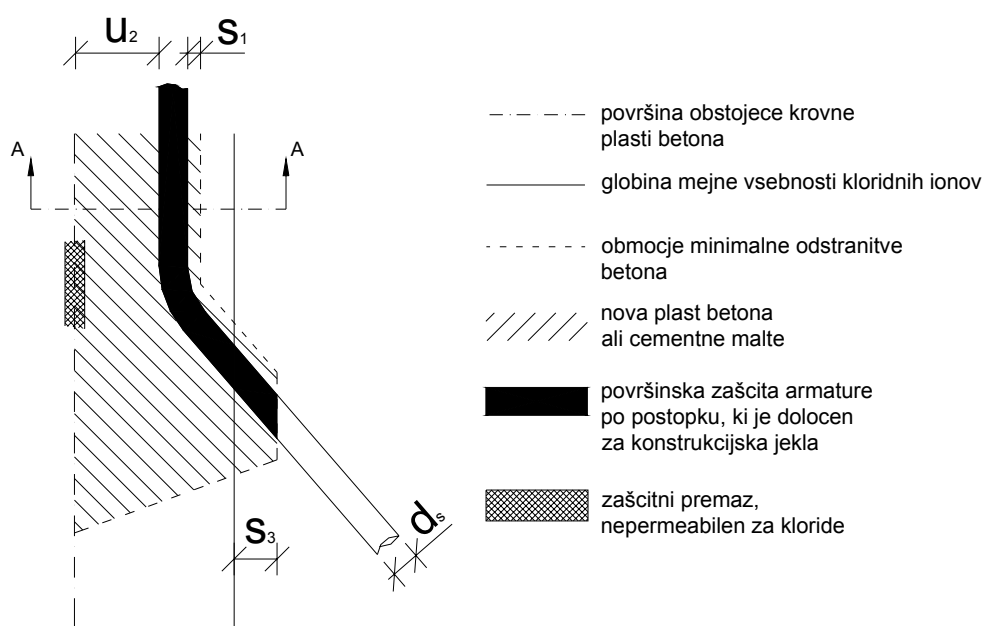
Uporablja se izključno samo za poskusne reparacije pri preskušanju kakovosti betonske površine ali učinkovitosti površinske zaščite. Pri tem se z ustreznimi inštrumenti meri napredovanje korozije s časom.



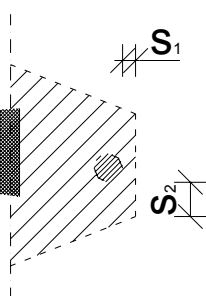
Slika 26: Osnovna metoda W-Cl – Shematski prikaz zaščite pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru prodora kloridov

Zaščita armature pred korozijo z zaščitnim premazom v primeru prodora kloridov (OSNOVNA METODA C-CI)

Temeljne zahteve in pogoji sovpadajo z osnovno metodo C (za primer karbonatizacije). Ravno tako so za zaščito armature obvezni premazi organskega izvora (priporočljiv je epoksy), ki jo fizično ločijo od okoljskega betona. Dodatno je potrebno zaščititi betonsko površino z nepermeabilnimi premazi, ki bodo preprečevali nadaljnji prodor kloridov v notranjost konstrukcije.



PREREZ A-A



ZAHTEVE:

u_2	=	poljubno
s_1	=	varno območje (ponavadi 10 mm)
s_2	=	varno območje (ponavadi 20 mm)
s_3	=	varno območje (ponavadi 5 mm)
ds	=	premer armaturene palice

Slika 27: Osnovna metoda C-CI – Shematski prikaz zaščite pred korozijo z omejevanjem vsebnosti vode v betonu v primeru prodora kloridov

5.1.4 Elektrokemijske metode

KATODNA ZAŠČITA (METODA CP)

Stopnja korozije armature v karbonatiziranem ali s kloridi kontaminiranim betonu je med drugim odvisna tudi od razlike med električnima potencialoma armature in porne tekočine betona, ki jo obdaja. Z vnosom električnega toka iz zunanjega vira je možno izravnati razliko potencialov (bolj negativno) in zmanjšati proces korozije na minimum. Takšna vrsta zaščite je katodna zaščita. Ta metoda pripada vrsti nedestruktivnih metod za zaščito AB konstrukcij pred korozijo, ki so jo pričeli uporabljati približno pred 25 leti.

Katodna zaščita armature se lahko doseže s tako imenovano postavitvijo anode (prevodne kovine) na površino betona. Anoda je na eni strani povezana s pozitivnim terminalom z nizko voltažo, na drugi strani pa z armaturo (negativnim terminalom). Armatura v tem primeru igra vlogo katode elektrolitske celice. Porna tekočina v betonu služi kot elektrolit, ki omogoči, da steče tok med anodo in katodo. Stalen tok med anodo in katodo je pogoj za permanentno zaščito. Za to vrsto zaščite je potreben stalen monitoring.

Preliminarne raziskave

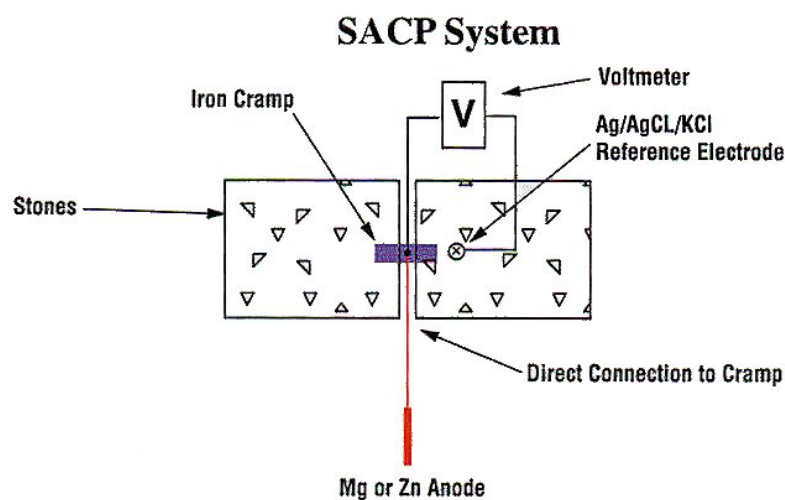
Poleg meritev, ki zadevajo debelino krovne plasti, vsebnost in raztros kloridov, je potrebno upoštevati še naslednje zahteve:

- Vsa armatura mora biti povezana. Nepovezane odseke armature je potrebno vsakega posebej povezati z virom (anodo). Kjer je veliko nepovezanih odsekov armature, je potrebno razmisliti o uporabi druge metode.
- Beton, ki obdaja armaturo, mora stalno zagotavljati električno prevodnost. To pomeni, da naj beton ne bi vseboval razpok, povzročenih s korozijo. Prav tako ne sme biti zmanjšana električna prevodnost kot posledica preteklih popravil konstrukcije (npr. ne-cementne polimerne reparaturne malte), ker bi bila preprečena celovita zaščita.

Izvedba katodne zaščite

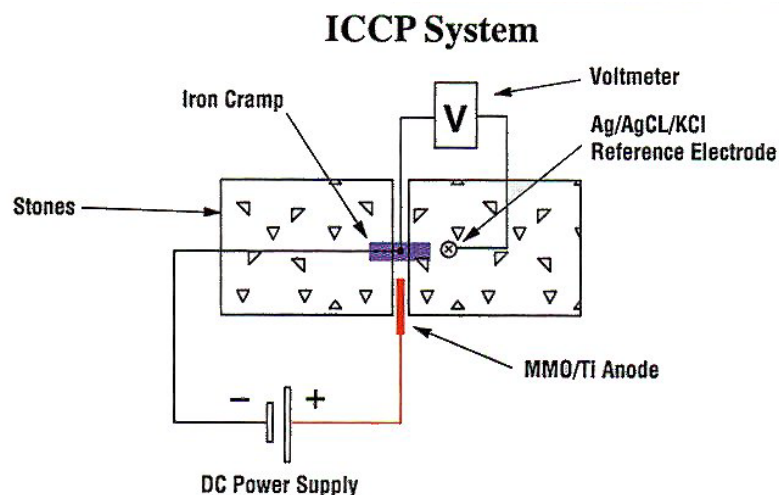
Lahko se izvede na dva načina:

- Z »žrtvovano anodo« (iz aluminija, cinka ali magnezija), kjer anodni metal korodira, armatura pa ostane zaščiten (katoda). Ta princip je izvedljiv v zelo prevodnem betonu (npr. v vodi).



Slika 28: Shematski prikaz katodne zaščite z »žrtvovano anodo«

- Z vsiljenim tokom, kjer na armaturo teče enosmerni tok iz zunanjšega izvora (trafosmerjevalnik). Postopek je primeren za nizko prevodne betone. V zadnjem času se uporabljajo tako imenovane mrežne metode iz titana, prekrte z metalnimi oksidi. Sistem je lahko prilagodljiv zaradi njegove fleksibilnosti, vnešen električni tok se enakomerno razporedi in tako nudi celovito zaščito. Med delovanjem katodne zaščite se na anodi pojavi povečana kislost, ki pa nima širšega vpliva. Zaradi tega pojava je priporočena jakost vnešenega toka nižja od 20 mA/m^2 . Napetosti vnešenega toka se gibljejo nekje med 2 in 20 V.



Slika 29: Shematski prikaz katodne zaščite z vsiljenim tokom

ELEKTROKEMIJSKA EKSTRAKCIJA KLORIDOV

Negativno nabiti ioni kot so kloridni, se lahko odstranijo z migracijo s pomočjo električnega polja, ki ga ustvarita armatura in električno prevoden metal na površini betona. Ta metoda deluje realkalno, kar pomeni, da z odstranjevanjem kloridov povzroča repasivacijo armature ter večja pH v betonu.

Raziskave so pokazale, da je te vrste proces izločanja kloridov zelo počasen, saj se nivo vsebnosti kloridov med sanacijo spreminja (povečuje). Po podatkih raziskav naj bi se vsebnost kloridov po 8 tednih izvajanja metode zmanjšala le za 40 do 50%.

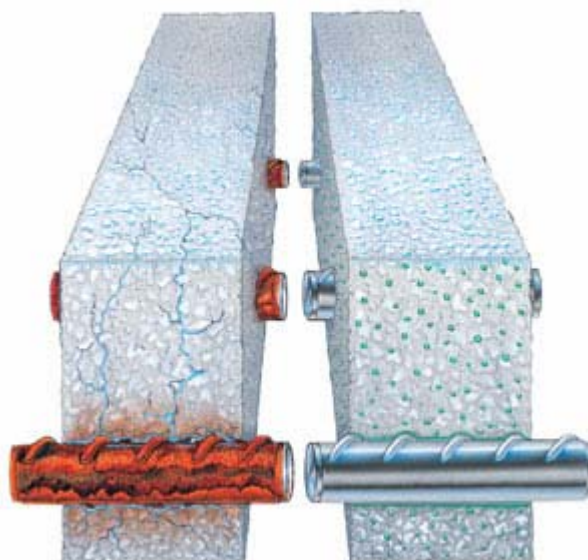
ELEKTROKEMIJSKA REALKALIZACIJA KARBONATIZIRANEGA BETONA

Podobno kot pri katodni zaščiti se pri elektrokemijski realkalizaciji uporabi armatura kot negativna elektroda (katoda). Na površini betonske konstrukcije se pritrdi začasna anoda (lahka armaturna mreža, pritrjena na deske) z izoliranimi sidri. Elektrolitsko maso ustvarijo vpihovana celulozna vlakna skozi cev, kjer se vlakna zmešajo s karbonsko raztopino. Postopek naj bi trajal 3 do 7 dni. Pri uporabi te metode v praktične namene še ne obstaja primerna evidenca za povečanje pH vrednosti betona in primerne zaščite armature po končni sanaciji.

5.1.5 Inhibitorji korozije

Metoda za zaščito AB konstrukcij pred korozijo z vnosom inhibitorjev korozije je dokaj nova, vendar se njena uporaba zaradi velike učinkovitosti bliskovito širi. Zlasti v primeru procesa karbonatizacije in prodora kloridov, ki zmanjšujejo alkalnost betona, je metoda zelo učinkovita.

Po izvoru delimo inhibitorje na organske in anorganske. Pri novogradnjah se dodajajo v svežo betonsko mešanico ali malto, pri sanaciji in zaščiti pa se uporabljajo kot dodatek k reparaturnim maltam in premazom. S procesom difuzije inhibitorji migrirajo v notranjost konstrukcije, kjer ustvarijo za prodirajoče agresivne snovi neprepusten sloj. Uporaba inhibitorjev je nujna v primerih, ko je bila kritična koncentracija kloridov dosežena tudi v področju globoko za armaturo. Nov kriterij za odstranitev betona v okolici armature je minimalno 2 cm za armaturo ter 5-10 cm vzdolžno v nekorodirano področje. Po odstranitvi betona do predpisanih meja sledita čiščenje in zaščita armature z antikorozijskim premazom (v primeru uporabe inhibitorjev korozije naj bi se uporabljali le anorganski premazi za armaturo). Po zaščiti armature sledi nanos reparaturne malte oziroma nove betonske krovne plasti, ki vsebuje inhibitorje. Za celovito zaščito se lahko na otrdeli beton nanese še zaščitni premaz.



Slika 30: Animiran prikaz zaščite AB konstrukcij z inhibitorji korozije

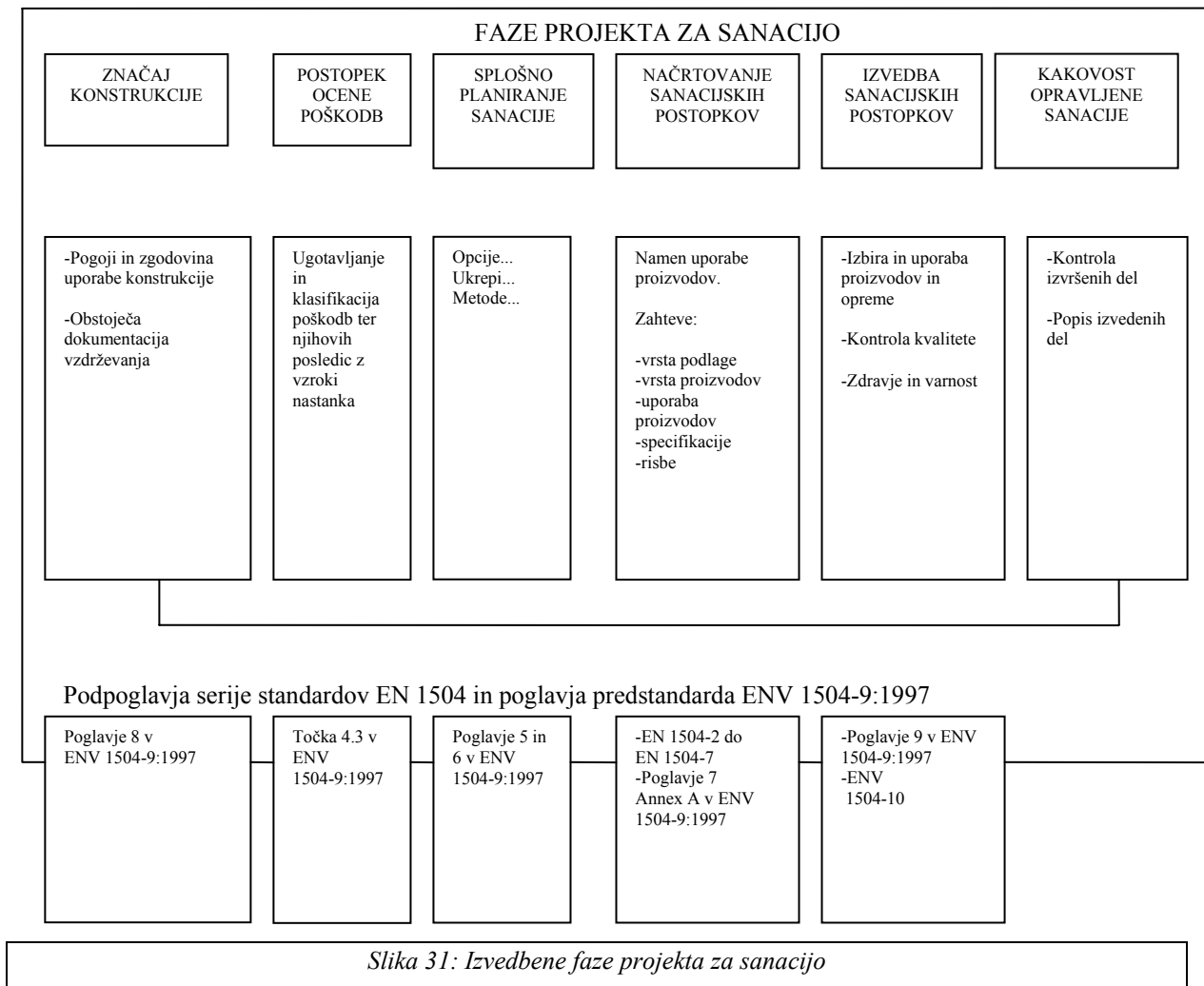
5.2 Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij po seriji standardov EN 1504-1/10

Standard EN 1504 je razdeljen v skupine od 1 do 10, ki zajemajo:

1. del: definicije (SIST EN 1504-1),
2. del: sistemi za površinsko zaščito (prEN 1504-2),
3. del: konstrukcijska in nekonstrukcijska popravila (prEN 1504-3),
4. del: konstrukcijska veziva (prEN 1504-4),
5. del: injektiranje betona (prEN 1504-5),
6. del: vgradnja jeklenih sider in zapolnjevanje praznin z injekcijsko maso (prEN 1504-6),
7. del: preprečevanje korozije armature (prEN 1504-7),
8. del: kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti (prEN 1504-8),
9. del: splošna načela za uporabo proizvodov in sistemov (SIST EN 1504-9),
10. del: uporaba proizvodov in sistemov na terenu in kontrola kakovosti (SIST EN 1504-10).

Cilj diplomske naloge je predstavitev postopkov za sanacijo poškodb, ki jih je povzročila korozija armature. Iz sklopa standardov EN 1504-1/10 bo zato obravnavan le 9. del, kjer so zajeti principi in metode za uporabo materialov in sistemov za sanacijo betonskih konstrukcij. V njem so podane definicije postopkov ter priporočila za izbor najprimernejših materialov in postopkov pri sanaciji posameznih vrst poškodb. Prikazane so bistvene faze pri projektiranju sanacije in zaščite. To so:

- ocena stanja,
- ugotavljanje vzrokov nastanka poškodb,
- določitev ciljev sanacije,
- izbor primernih ukrepov za sanacijo,
- izbor primernih metod,
- podroben opis lastnosti uporabljenih materialov in sistemov,
- specifikacija zahtev vzdrževanja zaščitnih in saniranih delov betonske konstrukcije.



V nadaljevanju sta podani preglednici, kjer so podani različni sanacijski ukrepi z definicijami in metode, povezane z njimi. V preglednici 10 so zajeti ukrepi in metode, ki zadevajo sanacijo in zaščito betonskega medija, v preglednici 11 pa ukrepi in metode za sanacijo in zaščito armature.

Preglednica 10: Ukrepi in metode za sanacijo poškodb v betonu zaradi korozije armature po ENV 1504-9:1997 (preglednica 1)

ŠT. SANACIJSKEGA UKREPA	DEFINICIJA SANACIJSKEGA UKREPA	METODA, KI TEMELJI NA SANACIJSKEM UKREPU
SANACIJSKI UKREP [1] (PI) Protection against ingress	ZAŠČITA PROTI PRODORU ŠKODLIVIH SNOVI V BETON Omejitev ali preprečitev prodora škodljivih raztopin, mehke vode, drugih tekočin, pare, plinov, kemičnih in bioloških raztopin.	1.1 Impregnacija Nanos tekočih proizvodov, ki penetrirajo v notranjost betona in zapirajo porne sistem. 1.2 Površinski premaz s sposobnostjo premostitve razpok ali brez 1.3 Lokalno bandažiranje razpok 1) 1.4 Zapolnitev razpok 1.5 Preoblikovanje razpok 1) 1.6 Izgradnja zunanjega opaža 1) 2) 1.7 Nanos membran 1)
SANACIJSKI UKREP [2] (MC) Moisture control	NADZOR NAD VSEBNOSTJO VLAGE Omejiti in vzdrževati količino vlage v betonu v določenem intervalu.	2.1 Hidrofobna impregnacija 2.2 Površinski premaz 2.3 Zaščita ali prevleka 1) 2) 2.4 Elektrokemijski poseg 1) 2) Sprememba potenciala na posameznih mestih betonske konstrukcije, da se prepreči migracijo vode skozi beton. (Ne velja za armiran beton, brez potrebne ocene rizičnosti pojava korozije.)
SANACIJSKI UKREP [3] (CR) Concrete restoration	OBNOVA KROVNEGA SLOJA BETONA Obnovitev oz. povečanje obstoječe krovne plasti na betonskem elementu do predpisane debeline. Obnova betonske konstrukcije v smislu zamenjave enega ali več konstrukcijskih elementov.	3.1 Ročno nanašanje malte 3.2 Preplastitev z betonom 3.3 Brizgan beton ali cementna malta 3.4 Zamenjava enega ali več elementov konstrukcije

nadaljevanje preglednice 10

ŠT. SANACIJSKEGA UKREPA	DEFINICIJA SANACIJSKEGA UKREPA	METODA, KI TEMELJI NA SANACIJSKEM UKREPU
SANACIJSKI UKREP [4] (SS) Structural strenghtening	<i>OJAČITEV BETONSKE KONSTRUKCIJE</i> Povečanje ali povrnitev predpisane nosilnosti posameznega elementa ali celotne konstrukcije	4.1 Dodajanje ali zamenjava armaturnih palic neposredno v konstrukcijo ali ob njej 4.2 Ojačitev z vgradnjo jeklenih sider v pripravljene oziroma izvrtane luknje v obstoječem betonu 4.3 Ojačanje AB plošč 4.4 Dodajanje betona ali malte 4.5 Injektiranje razpok, lukenj ali odprtih stikov 4.6 Zapolnitev razpok, lukenj ali odprtih stikov 4.7 Prednapenjanje - (ponapenjanje) ¹⁾
SANACIJSKI UKREP [5] (PR) Physical resistance	<i>FIZIKALNA ODPORNOST</i> Povečanje odpornosti pri fizikalni in mehanski agresiji.	5.1 Premazi ali prevleke 5.2 Impregnacija
SANACIJSKI UKREP [6] (RC) Chemical resistance	<i>ODPORNOST PROTI KEMIKALIJAM</i> Povečanje površinske odpornosti betona, in preprečitev poškodb zaradi kemične agresije.	6.1 Premazi ali prevleke 6.2 Impregnacija

1) Te metode se lahko aplicirajo z materiali in sistemi, ki jih ne vsebuje EN 1504.

2) Ta predstandard ne odobrava metod, ki so zgoraj opisane.

Preglednica 11: Ukrepi in metode za sanacijo poškodb na armaturi zaradi korozije armature po EN 1504-9:1997 (preglednica 2)

ŠT. SANACIJSKEGA UKREPA	DEFINICIJA SANACIJSKEGA UKREPA	METODA, KI TEMELJI NA SANACIJSKEM UKREPU
SANACIJSKI UKREP [7] (RP) Preserving or Restoring Passivity	OHRANITEV ALI OBNOVA PASIVNEGA FILMA Vzpostavitev kemično stabilnih pogojev, s katerimi omogočimo vzdrževanje ali obnovo pasivnega filma na površini armature.	7.1 Povečanje debeline zaščitnega sloja armature z dodajanjem cementne malte na obstoječo betonsko površino 7.2 Zamenjava starega kontaminiranega ali karbonatiziranega betona 7.3 Elektrokemijska realkalizacija karbonatiziranega betona 1) 7.4 Realkalizacija karbonatiziranega betona z difuzijo 7.5 Elektrokemijska ekstrakcija kloridov 1)
SANACIJSKI UKREP [8] (IR) Increasing Resistivity	POVEČANJE NEPREPUSTNOSTI KROVNE PLASTI Povečanje električne neprepustnosti betona.	8.1 Omejitev vsebnosti vlage na površini obstoječega zaščitnega sloja z zaščitnim slojem ali pokrivanjem površine
SANACIJSKI UKREP [9] (CC) Cathodic Control	KATODNI NADZOR Vzpostavitev pogojev, ki preprečujejo potencialnim anodnim mestom vzpostavitev anodne reakcije.	9.1 Omejitev vsebnosti kisika (na katodi) z zapolnjevanjem ali površinsko zaščito 2)
SANACIJSKI UKREP [10] (CP) Cathodic Protection	KATODNA ZAŠČITA	10.1 Uporaba električnega potenciala 1)
SANACIJSKI UKREP [11] (CA) Control of Anodic areas	NADZOROVANJE ANODNIH MEST Vzpostavitev pogojev, ki preprečujejo potencialnim anodnim mestom na armaturi vključevanje v korozijsko reakcijo.	11.1 Preplastitev armature s premazi, ki vsebujejo aktivne pigmente 11.2 Preplastitev armature s premazi, ki jo ločujejo od okoljskega betona 11.3 Vnos inhibitorjev v betona z impregnacijo ali difuzijo 1) 2)

1) Te metode se lahko aplicirajo z materialii in sistemi, ki jih ne vsebuje EN 1504.

2) Ta predstandard ne odobrava metod, ki so zgoraj opisane.

6 KONTROLA KVALITETE VGRAJENIH MATERIALOV IN IZVEDENIH DEL

Kontrola kvalitete vgrajenih materialov in izvedenih del igra veliko in zelo pomembno vlogo pri sanaciji kateregakoli objekta. Ta del projekta mora biti tako kot predpisan postopek sanacije natančno obdelan, saj je od tega v veliki meri odvisno, ali bo sanacija izvedena uspešno in bo s tem podaljšana življenjska doba betonske konstrukcije ali ne.

Izvedba sanacijskih del na korozijsko poškodovanih objektih mora biti skladna s projektiranimi pogoji in mora zagotoviti predpisano kvaliteto vgrajenih materialov. V projektu sanacije mora biti zato natančno opredeljena zahtevana kvaliteta vgrajenih materialov. Le-ta obsega lastnosti (natezna trdnost, tlak, upogib, vodotesnost...), katere se preizkušajo na mestu vgradnje ali po določenem časovnem obdobju v akreditiranih laboratorijih v skladu z evropskimi standardi.

Izvajalec del mora imeti ustrezno službo, ki izdela plan kontrole na osnovi deklariranih in projektiranih lastnosti materialov. Plan kontrole odobri tehnična nadzorna služba investitorja. V planu kontrole morajo biti vrsta, pogostost preiskav in število kontrolnih vzorcev.

Proizvajalec sanacijskih materialov mora zagotoviti veljavno potrdilo o kvaliteti posameznega proizvoda. Prav tako mora izvajalec voditi evidenco uporabljenih materialov in pozicije vgradnje le-teh na posameznih elementih konstrukcije.

6.1 Vzdrževanje in opazovanje objektov

Po končanih sanacijskih delih na objektih je potrebno vzpostaviti sistem rednega opazovanja (monitoring) saniranih objektov.

Opazovanje za vsak objekt obsega redne preglede stanja. Prvi pregled se izvede enkrat letno po končanih sanacijah in ojačitvah oz. po končanem tehničnem prevzemu. Naslednji pregled običajno sledi v obdobju 3 let nato pa v razmakih po 5 let.

6.2 Kontrola kvalitete po prEN 1504-3 in EN 1504-10

V standardu EN 1504-10:2003 so v preglednici 4 za vse sanacijske metode navedene karakteristike, ki jih je potrebno kontrolirati pri vgradnji sanacijskih produktov in sistemov.

V preglednici A.2 v aneksu A standarda EN 1504-10:2003 so v povezavi s prEN 1504-3:2005 podane minimalne in maksimalne vrednosti pomembnejših parametrov.

Standard prEN 1504-3 obravnava konstrukcijska in estetska popravila pri sanaciji konstrukcij. Za sanacijske produkte, ki so namenjeni konstrukcijskim popravilom, veljajo strožje zahteve kot za produkte, namenjene za estetska popravila.

Preglednica 12: Priporočeni maksimalni in minimalni parametri za kontrolo kvalitete po EN 1504-10:2003 (preglednica A.2)

Karakteristika	Metoda po EN 1509-9	Maksimalna in minimalna vrednost
Temperatura podlage	Za vse metode	Odvisno od vrste proizvoda, vendar običajno med 5°C in 30°C
Vlažnost podlage	Za vse metode	Običajno ne, vendar le izjemno za proizvode, ki se nanašajo na mokro podlago
Jakost vetra	1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 5.1, 5.2, 6.1, 7.1, 8.1, 8.2, 9.1	Manjša od 8m/sek
Najnižja temperatura pri aplikaciji proizvodov	1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 4.3, 5.1, 5.2, 6.1, 7.1, 8.1, 8.2, 9.1, 11.1, 11.2	Odvisno od vrste proizvoda, vendar običajno ne pod 3°C
Stopnja zapolnjenosti razpok	1.4, 1.5, 4.5, 4.6	Sprejemljiva je 80% stopnja zapolnjenosti razpok
Adhezijska trdnost malt in betonov	3.1, 3.2, 3.3, 4.4, 5.1, 6.1, 7.1, 7.2, 7.4	Odvisno od vrste proizvoda, vendar ne večja od adhezijske trdnosti podlage. Vrednosti se gibljejo od 1.2MPa do 1.5MPa za popravilo konstrukcije. Minimalna adhezijska trdnost proizvodov za olupšavo konstrukcije je 0.7MPa . Vrednosti za preizkušanje v laboratoriju so podane v prEN 1503-3:2001-03
Adhezijska trdnost premazov	1.2, 2.2, 5.1, 6.1, 7.1, 8.1, 9.1	Odvisno od vrste proizvoda, vendar ne večja od adhezijske trdnosti podlage. Vrednosti za preizkušanje v laboratoriju so podane v prEN 1503-2:2000-03
Tlačna trdnost	3.1, 3.2, 3.3, 4.4, 5.1, 6.1, 7.1, 7.2, 7.3	Pomembna je kompatibilnost s staro podlago. Vrednosti za preizkušanje v laboratoriju so podane v prEN 1503-3:2001-03
Adhezijska trdnost materialov za zapolnitev razpok	1.5, 4.5, 4.6	Odvisno od vrste proizvoda, vendar ne večja od adhezijske trdnosti podlage. Vrednosti za preizkušanje v laboratoriju so podane v prEN 1503-5:2002-01

preglednica 13: Mejne vrednosti količin pri kontroli kvalitete uporabljenih materialov po prEN 1504-3:2005
(preglednica 3)

Preizkušena karakteristika	Referenčna podlaga (EN 1766)	Testiranje metode po	Zahteva			
			Konstrukcijsko popravilo		Estetsko popravilo	
			Razred 4	Razred 3	Razred 2	Razred 1
Tlačna trdnost	Ni potrebna	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
Vsebnost kloridnih ionov	Ni potrebna	EN 1015-17	≤ 0,05 %		≤ 0,05 %	
Adhezijska trdnost	MC (0,45)	EN 1542	≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Ovirano krčenje / ekspanzija ^{b,c}	MC (0,45)	EN 12617-4	Sprijemna trdnost po testu ^{d,e}			Ni zahteve
			≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Odpornost proti karbonatizaciji^f	Ni potrebna	EN 13295	d_k ≤ deb. krovne plasti		Ni zahteve^g	
Elastični modul	Ni potrebna	EN 13412	≥ 20 GPa	≥ 15 GPa	Ni zahteve	
Termična kompatibilnost ^{f,h} 1.del, zmrzovanje-tajanje	MC (0,45)	EN 13687-1	Sprijemna trdnost po 50-ih ciklih ^{d,e}			Brez razpok ali delaminacij po 50-ih ciklih ^e
			≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Termična kompatibilnost ^{f,h} 2.del, vodni pritisk	MC (0,45)	EN 13687-2	Sprijemna trdnost po 50-ih ciklih ^{d,e}			
			≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Termična kompatibilnost ^{f,h} 4.del, suhi cikel	MC (0,45)	EN 13687-4	Sprijemna trdnost po 50-ih ciklih ^{d,e}			
			≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Odpornost proti odstopanju	Ni potrebna	EN 13036-4	Razred I: > 40 enot mokrega testa		Razred I: > 40 enot mokrega testa	
			Razred II: > 40 enot suhega testa		Razred II: > 40 enot suhega testa	
			Razred III: > 55 enot mokrega testa		Razred III: > 55 enot mokrega testa	
Koeficient temperaturne ekspanzije ^c	Ni potrebna	EN 1770	Ni potrebno, če so izvedeni vsi trije testi termalne kompatibilnosti		Ni potrebno, če so izvedeni vsi trije testi termalne kompatibilnosti	
Kapilarna absorpcija	MC (0,45)	EN 13057	≤ 0,5 kg m ⁻² h ^{-0,5}		≤ 0,5 kg m ⁻² h ^{-0,5}	Ni zahteve
Zahteva za sanacijske ukrepe [3], [4] in [7]						
3.1 Obnova betonske površine z ročnim nanašanjem malte						
3.2 Obnova betonske površine s preplastitvijo z betonom						
3.3 Obnova betonske površine z brizganim betonom ali cementno malto						
4.4 Ojačanje betonske konstrukcije z dodajanjem betona ali malte						
7.1 Povečanje debeline zaščitnega sloja armature z dodajanjem cementne malte na obstoječo betonsko površino						
7.2 Zamenjava starega kontaminiranega ali karbonatiziranega betona						
^a Vrednost 0,8 Mpa ni zahtevana pri kohezivni porušitvi v reparaturnem materialu. Pri kohezivni porušitvi je minimalna zahtevana minimalna kohezivna trdnost 0,5 Mpa						
^b Ni potrebno pri metodi 3.3						
^c Ni potrebno, če so opravljeni termični cikli.						
^d Zgornja vrednost, brez izjem s 75% manjšo vrednostjo od minimalne zahteve						
^e Maksimalna dovoljena debelina razpoke je ≤ 0,05 mm, brez razpok ≥ 0,1 mm in brez delaminacij						
^f Za trajnost						
^g Ni primerno za zaščito pred karbonatizacijo, razen, če sistem vključuje učinkovito površinsko zaščito (prEN 1504-2)						
^h Izbira metode je odvisna od izpostavljenosti okolici.						

7 PRIMER IZVEDENE SANACIJE 8. IN 9. VEZA V LUKI KOPER

Opisan je primer izvedbe sanacije armiranobetonske branaste konstrukcije 8. in 9. veza v Luki Koper. V konstrukciji se je razvila izrazita korozija armature z vsemi spremljajočimi poškodbami betona. Zaradi korozije armature je bila ogrožena varnost konstrukcije. Vzrok za korozijo je agresivno okolje (morska voda), prodor kloridov in karbonatizacija ter s tem zmanjšanje zaščitne sposobnosti betona.

Betonske konstrukcije, ki imajo neposreden stik z morskovo vodo, delimo na štiri različna območja agresivnega delovanja:

- 1 cona potopljenega dela konstrukcije,
- 2 cona plimovanja,
- 3 cona pljuskanja,
- 4 suha cona

V prvi (potopljen del) in četrti (suhi del) coni je vpliv okolja bolj ali manj konstanten, medtem, ko je stopnja agresije v tretji coni dosti večja. Druga cona (plimovanje) je od vseh najbolj obremenjena. Plimovanje omogoča vnos kloridov v beton. Kloridi zaradi spreminjanja parnih tlakov difuzijsko prodirajo v notranjost betonskega preseka. Po drugi strani spreminjanje vlažnosti v betonu ustvarja idealne pogoje za razvoj korozije.



Slika 32: Stanje branaste konstrukcije 8. in 9. veza pred sanacijo

7.1 Opis konstrukcije in območja sanacije

Obravnavan objekt je branasta armiranobetonska konstrukcija. Sestavljajo jo prečni in vzdolžni nosilci širine 40 cm in višine 90 cm, ki so povezani z AB ploščo debeline 40 cm. Zgornja nosilna konstrukcija je podprta z jeklenimi stebri, ki so globoko temeljeni.

Na armiranobetonskem delu konstrukcije je bila predvidena sanacija cone pljuskanja, ki sega od spodnjega roba nosilcev (cca. 0,5 do 1 m nad gladino) do plošče in ostalih delov, kjer so se kazali znaki korozije. Za jeklene stebre pa sta bila predvidena čiščenje in zaščita.

7.2 Opis poškodb

Glavne poškodbe, ki so bile odkrite pri vizualnem pregledu:

- luščenje betona na mestih korodirane armature,
- močna površinska in »pitt« armature,
- razslojevanje plasti betona,
- izločanje sige.



Slika 33: Luščenje zaščitne plasti betona na vogalu AB nosilca zaradi močne korozije armature



Slika 34: Močna »pitt« korozija armature, ki je posledica prekomerne koncentracije kloridnih ionov



Slika 35: Premajhna debelina zaščitne plasti dovoljuje lažji in hitrejši prodor kloridov do armature

7.3 Postopek sanacije

7.3.1 Priprava podlage

Sanacija se je izvajala na plavajočih pontonih z zaščitno ograjo po naslednjih postopkih:

- Čiščenje betonskih površin

Betonske površine se operejo z vodnim curkom po pritiskom 400 – 600 barov, pri čemer se odbije slabo vezan beton.

- Odstranjevanje betona

Potrebna globina odstranjevanja je pogojena s stopnjo poškodovanosti betona, globino korozijskih žarišč, globino kontaminacije betona s kloridi ali karbonatizacijo. Na osnovi meritev vsebnosti kloridov v betonu na odvzetih vzorcih in meritev globine karbonatizacije s fenolftaleinskim testom, se predpiše globina odbijanja betona.



Slika 36: Odvzem vzorcev betona za določitev koncentracije kloridov

Slika 37: Meritev globine karbonatizacije v izvrtinah, kjer so bili odvzeti vzorci betona

Na področjih vidnih korozijskih žarišč, kjer je vidna korodirana armatura ali je delno odrinjen zaščitni sloj oziroma so vidne razpoke nad armaturo je potrebno odbijanje betona po dolžini armature do nekorodiranega področja in vsaj 1 cm v globino za armaturo. Beton je potrebno odbijati pravokotno na površino, da se napravijo pravokotni izseki tako, da ne bo potrebno izpeljati reprofilacije do ničelne debeline.

- **Pranje nepoškodovanih betonskih površin**

Vse betonske površine je potrebno očistiti z vodnim pritiskom 600 barov. S površine je potrebno odstraniti umazanijo, mahove in vse slabo sprejete delce.

7.3.2 Čiščenje, nadomeščanje in zaščita armature

- **Čiščenje armature**

Na širšem območju korodiranosti se armatura očisti s suhim peskanjem do stopnje SA2,5 s kremenčevim peskom zrnatosti 0,8 mm. Alternativno se lahko armatura očisti z vodnim pritiskom do 2500 barov.

Na področju manjših lokalnih žarišč je dovoljeno ročno čiščenje armature z jeklenimi krtačami ali smirkovim papirjem. V tem primeru mora biti stopnja čistosti ST2 do ST3.

Zahtevano stopnjo čistosti SA2,5 se kontrolira po švedski skali.

- **Pregled armature**

Po čiščenju se izvede pregled armature, kjer se ugotovi maksimalno globino izjed in maksimalno zmanjšanje premera armaturnih palic. Po suhem preskanju mora biti armatura v 12 urah protikorozijsko zaščitena.

- **Nadomeščanje armature**

Na mestih, kjer je armatura tako močno korodirana, da je nevarnost porušitve konstrukcije, se nadomesti z novimi palicami, ki se s sidranjem pritrdijo na konstrukcijo. Iz varnostnih razlogov se na večjih območjih prekomerne korozije dodajo armaturne mreže, ki dopolnjujejo ali nadomeščajo glavno armaturo in stremena.

- **Izvedba protikorozijske zaščite**

Pred izvedbo protikorozijske zaščite armature s morajo biti izpolnjeni sledeči pogoji:

- Osebe, ki bo uporabljalo proizvod in izvajalo korozijsko zaščito se predhodno pouči o pripravi materiala, reoloških lastnostih materiala in inštruirano o zahtevah kakovosti izdelave zaščitnega premaza.
- Armatura in drugi jekleni deli, ki bodo protikorozijsko zaščiteni, morajo biti čisti, razmaščeni in brez rje. Zahtevana stopnja čistosti je SA2,5 pri peskanih površinah in ST2 pri ročno čiščenih površinah.
- Minimalna temperatura aplikacije in temperatura podlage je +5°C, maksimalna dopuščena temperatura podlage je 30°C. Dopuščena relativna vlažnost v času nanosa in še 6 ur po tem je 80%. Temperatura podlage mora biti za najmanj 3°C višja od točke rosišča.
- Komponente sistema se mešajo v predpisanem masnem oz. volumskem razmerju.
- Komponente je potrebno mešati strojno z mešalom s hitrostjo 250 obr/min. Čas mešanja je 4 minute.
- Na premaz ne sme deževati do časa strditve. V kolikor je premaz izpran, se izvede ponoven nanos.
- Prepovedana je uporaba komponent, ki jim je potekel rok uporabe ali pa so bile poškodovane v sled zmrzali.
- Pripravljeni masi ni dovoljeno dodajati vode!
- Na gradbišču mora biti material skladiščen v posebnem prostoru. Eno na drugo lahko polagamo le istovrstne komponente. Temperatura skladiščenja materialov je od +5°C do +35°C.



Slika 38: Protikorozijska zaščita očiščene obstoječe in dodane armature

7.3.3 Reprofilacija betonskih elementov

- **Reprofilacija območij odstranitve betona**

Glede na globino poškodb, se predpišejo štiri vrste reprofilacij:

- a) Tankoslojna izravnavna površine na notranjih nosilcih v debelini do 3 mm na katerih ni korozijskih poškodb, vidne pa so lokalne površinske poroznosti in hrapavosti.
- b) Sanacija poškodb na področju površinskih korozijskih žarišč, kjer bo beton odstranjen do globine 30 mm.
- c) Sanacija poškodb, globljih od 30 mm.
- d) Na področju vidnih korozijskih žarišč, kjer je prvotni zaščitni sloj nad armaturo debeline manj kot 10 mm, se izvede nanos malte z nadvišanjem v debelini od 20 do 25 mm.

Pred izvedbo reprofilacij, morajo biti izpolnjeni sledeči pogoji:

- Osebe, ki bo uporabljalo material in izvajalo reprofilacijo se predhodno pouči o pripravi materiala, reoloških lastnostih materiala, o temperaturnih pogojih in o zahtevah kvalitete izvedbe sanacije.
- Minimalna temperatura aplikacije in temperatura podlage je $+5^{\circ}\text{C}$, maksimalna dopuščena temperatura podlage je 30°C .
- Komponente sistema se mešajo v predpisanem masnem oz. volumskem razmerju.
- Mešanje komponent se izvaja strojno z električnim mešalom do popolne homogenosti.
- Prepovedana je uporaba komponent, ki jim je potekel rok uporabe ali pa so bile poškodovane v sled zmrzali.
- Materiali morajo biti skladiščeni na suhem.
- Material se nanaša strojno po postopku brizganja mokre mešanice.



Slika 39: Dokončanje sanacije z reprofilacijo in zaščitnim premazom za beton

- **Nega saniranih površin**

V primeru močnega sonca ali vetra, ko preti pospešeno izsuševanje je potrebno sanirane površine negovati vsaj tri dni!

7.3.4 Površinska zaščita betonskih površin

Zaščitni premaz mora opravljati funkcijo bariere med betonsko površino in atmosferskimi vplivi. Postopek definira pripravo površine, temperaturne in vlažnostne pogoje pri katerih je dopuščeno izvajati posamezne nanose površinske zaščite. Za zaščito površine betona je predviden elastičen sistem.

Pred izvedbo površinske zaščite betona, morajo biti izpolnjeni sledeči pogoji:

- Površina betona, na kateri se izvaja zaščita mora biti čista brez prahu in slabo sprejetih delcev. Vse površine na katerih se ni izvajala sanacija poškodb morajo biti oprane.
- Izveden mora biti vizuelni pregled in pismeni prevzem podlage pred pričetkom izvajanja površinske zaščite.
- Dopuščena vsebnost vlage na podlagi je 5 ut.%.
- Dopustno temperaturno območje podlage in okolice je med +5°C in 30°C. Dopustna vsebnost vlage v zraku 80%.
- Pri aplikaciji elastičnega sistema temperatura podlage ne sme biti nižja od +10°C, relativna vsebnost vlage v zraku ne sme presegati 80%. Temperatura podlage mora biti za najmanj 3°C višja od točke rosišča.
- Pred pričetkom izvajanja površinske zaščite je potrebno preveriti vremensko napoved. V času šestih ur po nanosu ne sme deževati na premaz, če se le-ta nanša na podlago pri temperaturi 20°C, drugače se čas sušenja podaljša.

7.3.5 Izvedba zaščite jeklenih pilotov

- Čiščenje jeklenega obroča

Jeklen obroč se očisti z vodnim pritiskom do 2500 barov. V kolikor s pranjem ni dosežena dovolj velika čistost, se izvede suho peskanje.

- Izvedba protikorozijske zaščite

Predvidena sta dva sistema:

- a. Izvedba zaščite z epoksi premazom po sistemu **Sika Inertol Poksitar F** na področju stalne prisotnosti vode. Zaščita se izvaja v vodotesnem zvonu, ki se pritrdi s prirobnico na pilot in zagotavlja pogoje sušenja po opravljeni aplikaciji.
- b. Izvedba zaščite po sistemu **Thortex Cheno – Tech UW**, ki omogoča izvajanje ustrezne protikorozijske zaščite tudi pod vodo. Kemični proces izvajanja strjevanja materiala se izvaja tudi ob prisotnosti vode.



Slika 40: Zaščitni premaz na saniranih jeklenih stebrih

7.3.6 Zagotavljanje kakovosti uporabljenih materialov in izvedbe del

Predhodne preiskave in tekoča kontrola uporabljenih materialov in preiskave na objektu se izvajajo v skladu s programom tekoče kontrole.

Kakovost uporabljenih proizvodov in sistemov se zagotavlja s sledečimi ukrepi:

- uporablja se deklarirane proizvode, katerim ni pretekel čas uporabe,
- proizvodi in sistemi se pripravijo v skladu z navodili proizvajalca,
- aplikacija proizvodov in sistemov se izvaja znotraj predpisanih klimatskih pogojev,
- izvaja se nega nanešenih proizvodov in sistemov,
- redno se odzemajo in preskušajo vzorci uporabljenih proizvodov,
- redno se izvajajo preskusi na »licu mesta«.

8 SKLEP

Med izdelavo diplomskega dela sem se podrobneje seznanil z različnimi vrstami fizikalnih in mehanskih vplivov na eni in z vrsto agresivnih kemijskih procesov na drugi strani, ki v povezavi s prvimi uničujoče vplivajo na armiranobetonske konstrukcije. Najbolj me je pritegnilo dejstvo, da so v Sloveniji, predvsem cestni armiranobetonski objekti, ki so bili zgrajeni v 80. letih prejšnjega stoletja in prej, pričeli propadati zaradi korozije armature. Prodor kloridov in karbonatizacija sta bila pri večini objektov ugotovljena kot ključna parametra za razvoj korozije armature, katere posledica je luščenje zaščitne plasti betona.

Diplomsko delo temelji na popravilu in zaščiti obstoječih armiranobetonskih konstrukcij z namenom, da se zagotovi potrebna varnost, primeren izgled in podaljša življenjska doba. Združenje RILEM podaja tehnična priporočila za popravilo in zaščito korozijsko poškodovanih konstrukcij, v katerih se je začel proces korozije zaradi karbonatizacije oziroma zaradi difuzije kloridov. Dejstvo je, da pri sanaciji kloridi povzročajo veliko večje težave kot karbonatizacija v smislu postopka izvedbe sanacije, ki je veliko bolj radikalen in kompliciran. Postopki sanacije po RILEM-u so se izkazali kot zelo učinkoviti in manj komplicirani v primerjavi z različnimi drugimi primerljivimi načini sanacij.

Z vidika nadaljnjega dela na tem področju sem za primerjavo z RILEM-om vzel sklop novih evropskih standardov EN 1504-1/10 »Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij«. Podrobneje sem obravnaval standard SIST EN 1504-9, v katerem so navedeni sanacijski ukrepi in metode, ki so povezane z njimi. Ugotovil sem, da standard pove samo, kakšni so možni ukrepi, opiše jih pa ne. Za metode sanacije poda le določena pravila, ki se jih je treba pri izvedbi držati. Če povežemo tehnična priporočila RILEM-a in standard EN 1504-1/10, dobimo celoten postopek izvedbe sanacije korozijsko poškodovanih armiranobetonskih konstrukcij. Kvaliteta uporabljenih proizvodov in sistemov je poleg pravilnega postopka sanacije najpomembnejši del projekta sanacije. Kontrolo kvalitete vgrajenih materialov in ostalih pogojev sem povzel po standardu SIST EN 1504-10 v povezavi s predstandardom prEN 1504-3. Proizvajalci materialov za popravilo AB konstrukcij morajo jamčiti, da njihovi proizvodi ob primerni vgradnji izpolnjujejo zahteve ustreznih standardov.

Na področju sanacij armiranobetonskih konstrukcij se veselim nadaljnjega dela, saj je tu še veliko prostora za odkrivanje in reševanje problemov, povezanih s korozijo armature.

VIRI

Konferenca o obstojnosti betonov v konstrukcijah. 2005, Združenje za beton Slovenije, Ljubljana, ZBS: 235 str.

Slovenski kolokvij o betonih (Zbornik gradiv in referatov), Sanacije betonskih objektov. 1995, Ljubljana IRMA.

Kropp, J., Hilsdorf, H. K. Performance Criteria for Concrete Durability. 1995, RILEM REPORT 12, E & FN Spon: 327 str.

Guidelines for the Protection and Repair of Concrete Components – Part 1: General Regulations and Planning Principles. 1990, German Committee on Reinforced Concrete.

Guidelines for the Protection and Repair of Concrete Components – Part 2: Planning and Execution of Works. 1990, German Committee on Reinforced Concrete.

Guidelines for the Protection and Repair of Concrete Components – Part 3: Quality Assurance and Execution of Works. 1991, German Committee on Reinforced Concrete.

EN 206-1:2000, Beton – 1. del – Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost. SIST EN 206-1:2003

Rilem Technical Recommendation 124 SRC, Guide to Repair Strategies for Concrete Structures Damaged by Reinforcement Corrosion (Final Draft). December 1992

EN 1504-1/10, Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Part 3: Structural and non-structural repair. prEN 1504-3

EN 1504-1/10, Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Part 9: General principles for the use of products and systems. ENV 1504-3:1997

EN 1504-1/10, Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – 10. del: Uporaba proizvodov in sistemov na terenu in kontrola kakovosti del. SIST EN 1504-10:2004