



Trajnost konstrukcija u kemijski agresivnom okolišu – greške u projektiranju

Jure Galić, Donka Würth, Željko Lebo

Trajnost konstrukcije

Trajnost konstrukcije je njena sposobnost da osigura zahtijevanu sigurnost i uporabljivost tijekom vremena.

Čimbenici (faktori) koji utječu na trajnost konstrukcije su:

- Faza projektiranja
- Faza izvođenja (izvođenje i nadzor)
- Faza održavanja tijekom uporabe

Projektirani uporabni vijek je vremensko razdoblje koje **predviđa projektant**, te **određuje svojstva konstrukcije koja utječu na trajnost građevine**.

Tijekom izvođenja moraju se izvoditi svi elementi građevine prema Projektu konstrukcije, prema specificiranim i zahtijevanim fazama izvođenja i materijalima koje je projektant definirao u samom projektu.

Tijekom uporabe, uporabni vijek građevine može se produljiti pravovremenim i odgovarajućim postupcima održavanja. Pravovremeno održavanje znači već u startu izradom PLANA ODRŽAVANJA, te daljnjim koracima u provođenju ovog plana.



Trajnost konstrukcije

Pristup projektiranja trajnosti konstrukcije i određivanje uporabnog vijeka polazi od:

definicije potrebnih svojstava konstrukcije

Temeljni zahtjevi za građevinu su:

1. mehanička otpornost i stabilnost
2. sigurnost u slučaju požara
3. higijena, zdravlje i okoliš
4. sigurnost i pristupačnost tijekom uporabe
5. zaštita od buke
6. gospodarenje energijom i očuvanje topline
7. održiva uporaba prirodnih izvora.

kriterija za ocjenu svojstava konstrukcije

1. mehanizmi degradacije materijala i konstrukcije
2. utjecaj okoliša



Trajnost konstrukcije

Prilikom projektiranja projektant mora ispuniti zahtjeve iz TPGK (Tehnički propis za građevinske konstrukcije),

IZRADITI ispravnu, točnu, potpunu projektnu dokumentaciju koja treba osigurati kvalitetnu i sigurnu izvedbu.

OPĆA PRAVILA + II PROJEKTIRANJE GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA

POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE (II PROJEKTIRANJE BETONSKE KONSTRUKCIJE)

U smislu projektiranja trajnosti konstrukcije imamo dva pristupa:

- ***Implicitno projektiranje trajnosti (prema normama)***
 - definiranje prosječnog uporabnog vijeka
 - definiranje utjecaja (razreda izloženosti)
 - izdaci za održavanje
 - definiranje sastava betona, zaštitnog sloja, pravila izvođenja i njege
- ***EksPLICITNO projektiranje trajnosti (prema ponašanju)***
 - razmatranje svakog relevantnog mehanizma degradacije, tj. gubljenje potrebnih svojstava konstrukcije
 - proračun vjerojatnosti i složeniji postupak



Trajnost konstrukcije

Vanjski utjecaji mogu biti: mehanički, kemijski, fizikalni i biološki

Projektant **mora razmišljati i procijeniti** intenzitet i vrstu djelovanja, najčešće su to kemijska i fizikalna djelovanja.

Ista vrsta konstrukcije – različita djelovanja (primjer most u morskom okruženju i most iznad rijeke).

Implicitni pristup projektiranju trajnosti dan je u normama HRN EN 1992-1-1, HRN EN 206 i HRN 1128.

Razredi izloženosti HRN EN 206

Oznaka razreda	Razred izloženosti
X0	Bez korozijskog djelovanja
XC1 - XC4	Korozija uzrokovana karbonatizacijom
XD1 – XD3	Korozija kloridima koji nisu iz morske vode
XS1 – XS3	Korozija kloridima iz morske vode
XF1 – XF4	Smrzavanje i odmrzavanje
XA1 – XA3	Kemijska korozija



Trajnost konstrukcije

Tablica 2. Granične vrijednosti razreda izloženosti kemijske agresije prirodnog tla i podzemne vode.....HRN EN 206

Beton izložen kemijskom djelovanju		
XA1	Slabo kemijski agresivni okoliš	Prirodno tlo i podzemna voda
XA2	Umjereno kemijski agresivni okoliš	Prirodno tlo i podzemna voda
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Prirodno tlo i podzemna voda

HRN EN 1992-1-1 (poziva se na Tablicu 2. norma HRN EN 206), 4. Metode provjere zaštitni sloj betona.....nije naveden razred XA1, XA2, XA3, preporučena razredba konstrukcijaŠto je s agresivnim okruženjima izvan tla i voda?

Beton izložen kemijskom djelovanju		
XA 1	Slabo kemijski agresivni okoliš	Spremnici u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije, spremnici tekućih umjetnih gnojiva
XA 2	Umjereno kemijski agresivni okoliš, konstrukcije u marinama	Betonski elementi u dodiru s morskom vodom; elementi u agresivnom tlu
XA 3	Jako kemijski agresivni okoliš	Kemijski agresivne vode u postrojenjima za tretiranje otpadnih voda; spremnici za silažu i korita (žljebovi) za hranjenje životinja; rashladni tornjevi s dimnjacima za odvođenje dimnih plinova

Tehnički propis za betonske konstrukcije iz 2005. god



Trajnost konstrukcije

HRN EN 206 - Dodatak F. Preporuke za granične vrijednosti sastava betona

Kemijski agresivan okoliš			
Razred okoliša	XA1	XA2	XA3
Minimalni v/c omjer	0,55	0,50	0,45
Minimalna tlačne čvrstoće	C 30/37	C30/37	C35/45
Minimalna količina cementa (kg/m ³)	300	320	360
Ostali zahtjevi	-	Sulfatno otporan cement	

Da li je potrebno ispitivanjima dokazati otpornost na kemijsku agresiju?

Zaštita armature od korozije

- zaštitnim slojem betona
- gustoćom i kvalitetom zaštitnog sloja
- bez pojave pukotina

Zaštita betona

- pravilno odabran razred izloženosti s obzirom na pravilno odabrana svojstva trajnosti
- cementi s posebnom namjenom
- primjena mineralnih dodataka
- primjena zaštitnih premaza



Farma za uzgoj peradi - pilićarnik u Zlatar Bistrici

Građevina je smještena u sjevernoj Hrvatskoj. Tlocrtne dimenzije objekta iznose 22,50 × 168,00 m, a izveden je kao jednobrodna čelična hala sa dvostrešnim krovom. Temeljenje je izvedeno na temeljima samcima dimenzija 120/200 cm, debljine 50 cm koji su međusobno povezani nadtemeljnom gredom. Podna ploča hale je debljine 15 cm i izvedena je dilatirana od temeljne konstrukcije. Jedna dilatacija podne ploče izvedena je u kontinuitetu bez prekida betoniranja u dužini 82,0 m.



Farma za uzgoj peradi - pilićarnik u Zlatar Bistrici

Betonski pod, te betonske nadatemeljne grede koje su se izvele na samoj farmi a direktno su u kontaktu s živinom (pilićima), nalaze se u agresivnom okruženju (izmet od pilića, ostaci hrane...), te je zahtjev projekta trebao biti beton s razredom izloženosti od XA1 do XA3. (Tablica 1 – Razredi izloženosti prema normi HRN EN 206-1 :Beton -- 1. dio: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost).

Kako u ovom slučaju nije navedeno od strane projektanta kemijska agresija u specifikaciji betona već samo C 30/37 XC2, na betonsku površinu potrebno je bilo nanijeti kemijski zaštitni premaz.





U pratećoj tehničkoj dokumentaciji je navedeno da se utrljavanjem kvarcnog posipa dobije industrijski pod na kemijsku agresiju, što nije točno, utrljavanjem kvarca dobiju se mehanička bolja svojstva (habanje, čvrstoća). Usporedbom odlomljenih komada površinskog premaza vidljive su znatne varijacije u količini kvarcnog posipa što ukazuje na nekvalitetnu tj. neujednačenu izvedbu. Potrebno je ukloniti postojeći premaz, te izvesti novi sa dokazanom kemijskom otpornošću, te ravnomjernim kvarcnim posipom. Tijekom eksploatacije u protekle dvije godine od izgradnje, može se najprije primijetiti da u velikom prostoru farme, beton je promijenio boju, što ukazuje na kemijsku reakciju betona i samih tvari koje se nalaze u farmi (izmet).

Farma za uzgoj peradi - pilićarnik u Zlatar Bistrici



Na završnoj površini betona se na pojedinim mjestima pojavljuje pijesak (piling). Po cijeloj površini betona, vidljive su fleke od hranilica te su vidljivi tragovi gdje je uređaj za vodu. Beton nadtemeljnih, rubnih greda je promijenio svoju boju, te je žute boje. Cijelom dužinom objekta odvaja se trajnoelastični kit koji je na spoju AB podne ploče i nadtemeljnog zida. Na čeličnim pocinčanim panelima vidljivi su tragovi. Na rubnoj gredi vidi se poprečna pukotina veličine 2mm. Na pojedinim dijelovima reški koje su popunjene kitom, reške su neuredne i može doći u budućnosti do daljnjih oštećenja. Poprečne pukotine na nadtemeljnoj gredi ulaza u prostor. Na pojedinim dijelovi betonske završne površine u prostoru farme pojavljuje se odlamanje, ljuskanje zaglađenog završnog sloja betona.



Evidentno je da je tijekom vremena došlo do skupljanja betona (uslijed same prirodne pojave skupljanja betona, te skupljanja od dodatnog podnog zagrijavanja betonske ploče) te su se radne reške povećale, čak do otvora veličine cca 40 mm, što je vrlo nepovoljno jer sva voda i nepoželjni materijal, može ući između, te na taj način doći direktno u samu strukturu betonskog poda.

Trajno elastični kit koji je nanesen nema svoju funkciju, jer za ovu veličinu fuga koja je veća od 5 mm, potrebno je fugu napuniti spužvicom, a tek onda nanijeti kit. Svi obodni zidovi i veće poprečne fuge (prostor za odmor) imaju zazor veći od 20 mm, te je potrebna sanacija.

U projektu je trebalo detaljno riješiti tj. nacrtati detaljno izvedbu fuga i reški. Ukoliko detalj izvođenja fugi nije definiran izvođač je dužan svoje rješenje predočiti projektantu, te tražiti odobrenje za primjenu istoga.

Kolektor ispod Heinzelove ulice u Zagrebu

Postojeći kolektor odvodnje sastoji se od dvije zasebne betonske cijevi promjenjivog poprečnog presjeka. Zapadna cijev uglavnom je pozicionirana ispod današnjeg zelenog pojasa, s dimenzijama na sjevernom dijelu profil 260/220 cm do okna 17, a dalje je profil 300/230. Vrijeme gradnje su 20-te godine prošlog stoljeća.

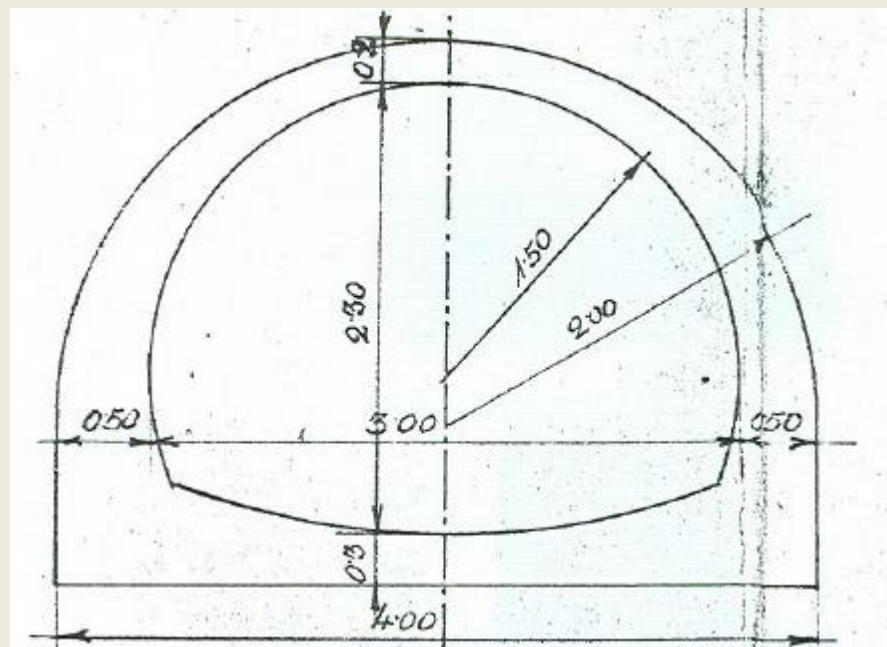
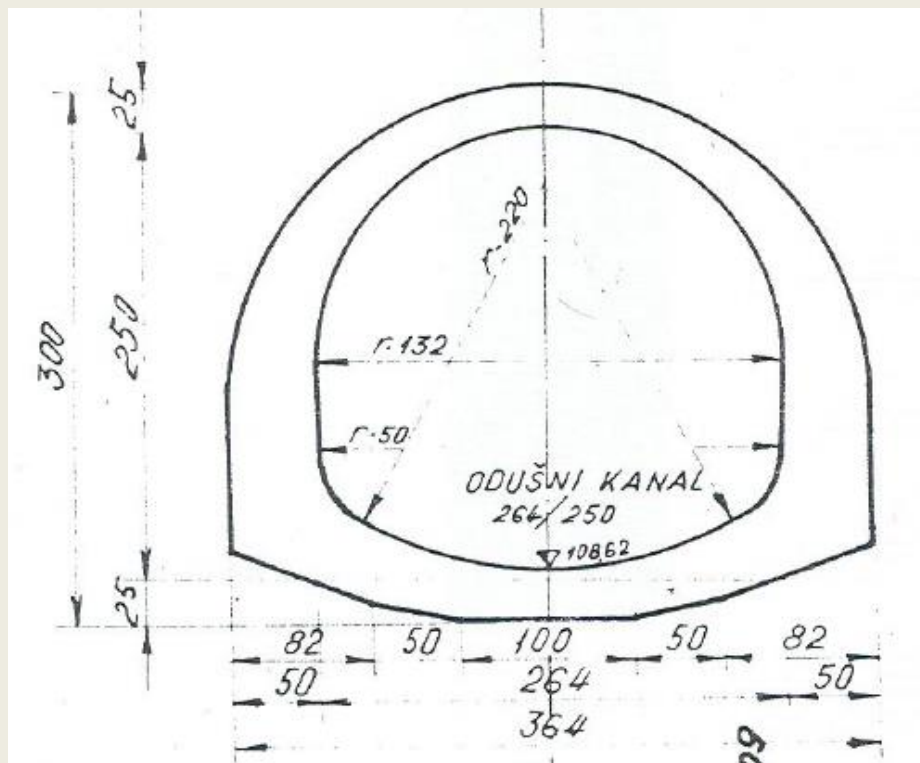
Istočna cijev većim dijelom smještena je ispod asfalta današnje prometnice (Heinzelova), a građena je u periodu od 1920. do 1949. godine. Poprečni profili su 204/170 na sjevernom dijelu kolektora (do okna 67), a dalje je profil 264/250 cm.

Ukupna duljina obaju kolektora predviđena za pregled iznosi $2.536 + 2.371 = 4.907$ m.

Građevina je u konstantnoj uporabi. Svi poklopci i okna su kvalitetno i kontinuirano održavani. Primjetna su oštećenja penjalica u većem opsegu uslijed dotrajalosti i dugotrajne izloženosti agresivnoj okolini.



Kolektor ispod Heinzelove ulice u Zagrebu

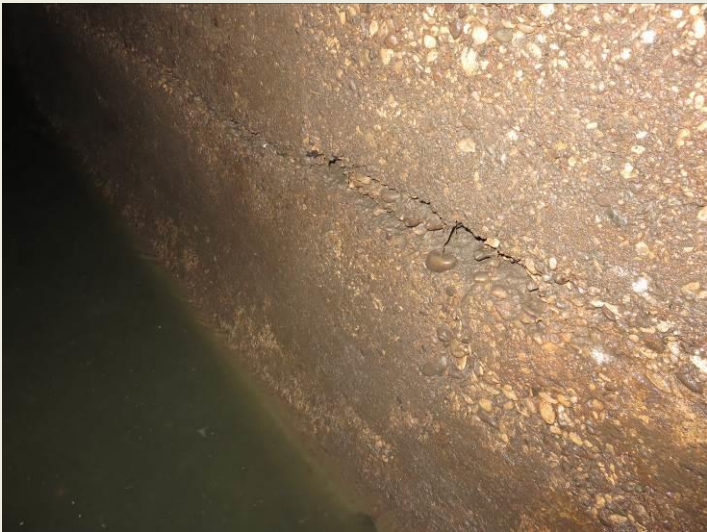


Poprečni presjeci kolektora

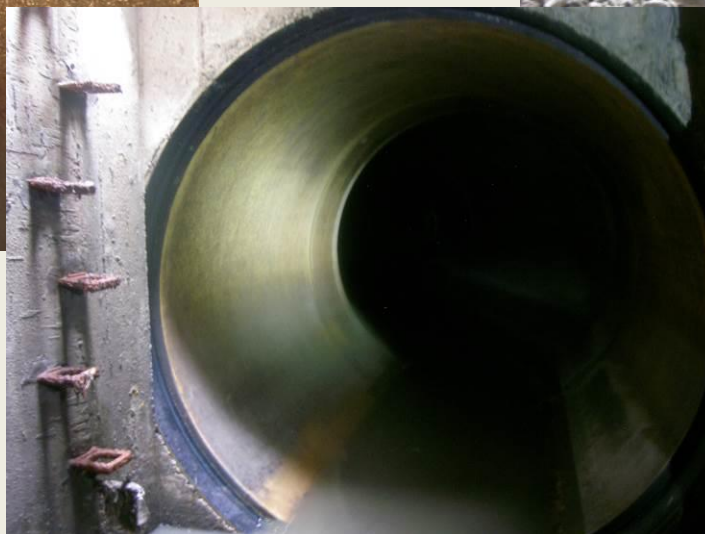
Na cijeloj dionici tunela vidljivi su znakovi dotrajalosti i nedovoljnog održavanja. Osim neravnina i imperfekcija kao posljedica izvedbe karakteristična je pojava ispiranja vezivnog materijala (cementa) uslijed kemijskih reakcija cementnog kamena sa agresivnom kiselim okolinom. To dovodi do odlamanja zrna agregata i dijelova površinskog sloja betona a degradacija je pospješena tečenjem vode i mehaničkim utjecajem krutih tijela koje nosi otpadna voda. Ovaj tip oštećenja uočen je na svim pregledanim dionicama. Lokalno, na dijelovima kolektora vidljivi su tragovi vlaženja, procurivanja i izluživanja kao posljedica prodora vlage u i kroz konstruktivne elemente obloge. Znakovito je da se ispiranje vezivnog materijala i vidljiva zrna agregata uočavaju i na svodu kolektora, što potvrđuje ranije navedene pretpostavke.







Uočene pukotine locirane su na tjemenu kolektora ili na spoju kalote i dna kolektora. Na dijelu kolektora sa profilom 204/170 cm (cca od Branimirove ulice sjeverno) uočena je pojava većeg sloja taloga i znatno više koncentracije štetnih plinova (CO i zapaljivi plinovi). Ovo je vrlo zanimljiva pojava budući je kroz manji profil veća brzina tečenja, a samim time bi i količina taloga morala biti manja. Vjerojatno postoji prepreka na lokaciji oko prelaska sa profila 204/170 cm na profil 264/250 koja nije uočena tijekom vizualnog pregleda.



Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Čakovcu

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Čakovcu, izveden je 1995. g. a sastoji se od AB elemenata koji su izloženi kemijskoj agresiji, smrzavanju i odmrzavanju. Prvi pregled uslijed oštećenja bio je 2003. god.

Aerirani pjeskolov-mastolov

Primarne taložnice

Bioaeracijski bazeni

Sekundarne taložnice

Zgušćivači mulja

Egalizacijski bazen obilazni kanal



Razred izloženosti	Max. v/c omjer	Min. Razred čvrstoće	Min. količina cementa (kg/m ³)	Min. Količina zraka (%)	Drugi zahtjevi
Smrzavanje i odmrzavanje					
XF3	0,5	C30/37	320	4,00 a	Agregat prema normi EN 12620 s dovoljnom otpornošću na smrzavanje
Kemijski agresivan okoliš					
XA3	0,45	C35/45	360	-	Sulfatno otporni cementi

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Čakovcu

Oštećenja koja se javljaju:

- Pukotine – nastale uslijed skupljanja odmah nakon izvođenja
- Ljuštenje – smrzavanje i odmrzavanje
- Korozija armature – odvajanje zaštitnog sloja betona
- Izluživanje – pukotine pod utjecajem vode (procurivanje)



Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Čakovcu

Projektiranje betona **C35/45 XA3 XF3**, aerirani betoni, dodaje se 7% silicijske prašine.

Radna reške i dilatacije izvesti brtvama ili bubrećim trakama

ili

Završni **polimercementni premazi** – hidroizolacije C35/45 XA3 XF3 – bez SF



Skladište sirove kože u Varaždinu

Objekt je sabiralište i skladište sirove kože, a sastoji se od dva dijela. Stari dio skladišta izgrađen je 1984. godine, a novi dograđeni dio izveden (nadograđen) je 2004. godine. Objekt je izveden kao AB montažna konstrukcija, koja ima 12 AB montažnih stupova visine 5,5 m, te na njima su glavne grede raspona 10,0 m i montažni krovni nosači tip „M“. Temelji stupova su AB čašice koje su se izvodile monolitno na gradilištu.

Sirova koža dolazi iz klaonica te se u skladištu do daljnje prerade kondicionirana u soli (NaCl). Na paletama se iz kože procjeđuje voda, krv, ostaci zaostalog mesa i izmet. Utjecaj soli na strukturu betona je takav da otopljena sol ulazi u pore betona, agregata i kristalizira. To su fizikalno - kemijski mehanizmi degradacije. Najveći problem nastaje kada sol dođe u dodir sa armaturom, tada započinje proces korozije.



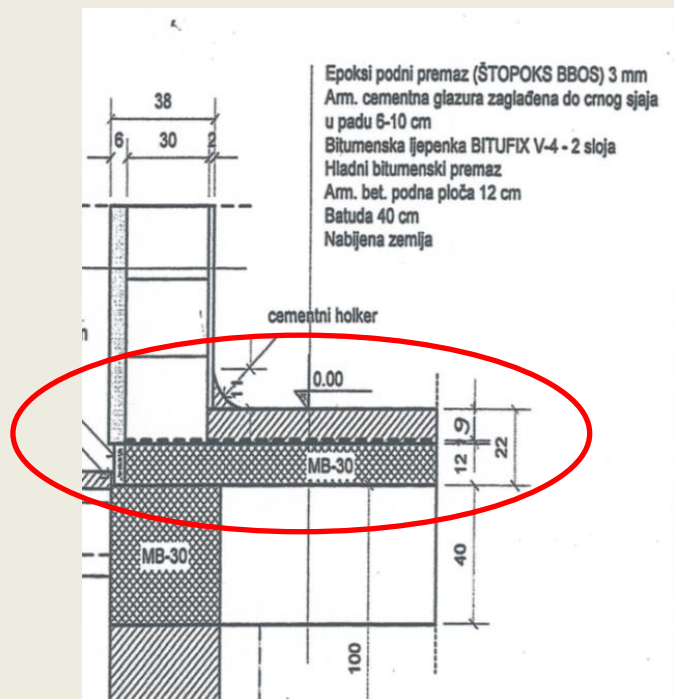
Skladište sirove kože u Varaždinu



Tijekom eksploatacije kroz dijelove zidova, preko hidroizolacije, otpadna procijeđena voda izlazi na vanjsku stranu zgrade, fasadu i ulaz objekta, te na taj način nastala je degradacija AB elemenata.



Skladište sirove kože u Varaždinu



Vidljivo je da se voda zadržava na površini poda. Procjeđivanje vode odvija se na način da u starom dijelu dio vode koji ne odlazi u slivnike, ulazi u podnu ploču kroz izrezane-popucale fuge pa se djelomično procjeđuje u tlo, a dio vode slijeva se prema novom dijelu zgrade preko hidroizolacije i izbija kroz zidove na fasadu.

Sva voda koja dođe u kontakt sa zidovima, zbog svojstva kapilarnog upijanja, penje se po vapnenoj žbuci i preko nje dolazi do AB elemenata, čak na visinu od 2 m.

Veliki problem je što cementna glazura koja je izvedena na hidroizolaciji, ne obavlja svoju funkciju, da usmjerava svojim padom (nagibom) vodu u odvodne slivnike.



Skladište sirove kože u Varaždinu



Na podnoj ploči vidljivo je ljuštenje epoksidnog premaza (3 mm). Epoksidni premaz je nanesen na ploču koja je zaglađena do tzv. CRNOG SJAJA. Nije osigurana prionljivost betona i epoxida, te je tijekom eksploatacije došlo do degradacije.



Sanirane pukotine sa epoksidnim trakama, ponovo su se otvorile, te sanacija je bila neuspješna.

Temeljem ispitivanja tlačne čvrstoće valjaka gornje podne ploče (d= 135 mm) dobivena je vrijednost od 65,6 MPa (projektirana je MB 30), beton u okruženju soli ima veću čvrstoću.

ZAKLJUČAK

- Najčešći uzroci pogrešaka prilikom projektiranja su krive pretpostavke proračuna, neodgovarajući proračunski modeli, odabir gradiva koja ne odgovaraju namjeni i stvarnim uvjetima u kojima se konstrukcija nalazi.
- Poznavanje kemijski agresivnih tvari koje dolaze u kontakt s konstrukcijom (suradnja s kemičarima)
- Suradnja projektanta konstrukcije s tehnolozima za izradu betona (savjeti oko razreda izloženosti i same specifikacije za beton)
- Primjena mineralnih dodataka, sulfatootpornih cementa, dokazivanje svojstava trajnosti
- U projektnoj dokumentaciji obavezno izraditi Program kontrole i osiguranja kvalitete, te Plan održavanja građevine
- Tijekom izvođenja provoditi „projektantski nadzor“

