

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Šeruga, T., 2014. Sanacija armirano betonske konstrukcije izpustnega kanala Šmartinsko jezero. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Bokan Bosiljkov, V.): 36 str.

Datum arhiviranja: 14-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Šeruga, T., 2014. Sanacija armirano betonske konstrukcije izpustnega kanala Šmartinsko jezero. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan Bosiljkov, V.): 36 pp.

Archiving Date: 14-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

**TOMAŽ ŠERUGA**

**SANACIJA ARMIRANO BETONSKE KONSTRUKCIJE  
IZPUSTNEGA KANALA ŠMARTINSKO JEZERO**

Diplomska naloga št.: 159/B-GR

**REPAIR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE  
OF OUTLET CHANNEL OF THE ŠMARTINSKO LAKE**

Graduation thesis No.: 159/B-GR

**Mentorica:**

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentor:**

Roman Granfol, univ. dipl. inž. grad.

Ljubljana, 25. 09. 2014

## STRAN ZA POPRAVKE

STRAN Z NAPAKO	VRSTICA Z NAPAKO	NAMESTO	NAJ BO

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Tomaž Šeruga izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom "SANACIJA ARMIRANO BETONSKE KONSTRUKCIJE IZPUSTNEGA KANALA ŠMARTINSKO JEZERO".

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju UL FGG.

LJUBLJANA, 15. september 2014

---

(podpis kandidata)

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>627.8.09(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Tomaž Šeruga</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov</b>
<b>Somentor:</b>	<b>Roman Granfol, univ. dipl. inž. grad.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Sanacija armirano betonske konstrukcije izpustnega kanala Šmartinsko jezero</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>36 strani, 1 preglednica, 22 slik</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>AB izpustni kanal, sanacija, pull-off preiskava</b>

### **IZVLEČEK**

Sanacija gradbenih objektov je zelo pomembna faza v njihovi življenjski dobi. Z uspešno načrtovano in izvedeno sanacijo lahko gradbenim konstrukcijam povrnemo funkcionalnost za katero so bili zgrajeni in originalen videz. V diplomskem delu sem raziskal primer sanacije armirano betonskega izpustnega kanala Šmartinsko jezero. Rezultat sanacije, ki se je začela leta 2008 in nadaljevala leta 2013, ni izpolnil zahteve projektantov sanacije. Relativno hitro po zaključku gradbenih del so se na površini AB konstrukcije pokazale napake. Glavni problem pri sanaciji je predstavljalo slabo stanje originalne AB površine, izvedbo pa sta dodatno oteževala še stalna prisotnost zaledne vode in ekstremne vremenske razmere. V prvem delu vsebine so opisani postopki izvedenih del, medtem ko sem se v drugem delu posvetil iskanju napak do katerih je prišlo, ker izvajalec ni upošteval navodil projektanta. Na koncu je podan še predlog boljšega postopka sanacije, pri katerem se ugotovljene napake verjetno ne bi pojavile.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	<b>627.8.09(497.4)(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Tomaž Šeruga</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Assoc. Prof. Violeta Bokan Bosiljkov, Ph. D.</b>
<b>Co-advisor:</b>	<b>Roman Granfol, B.S.C.E.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Repair of reinforced concrete structure of outlet channel of Šmartinsko Lake</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>36 pages, 1 table, 22 figures</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>RC outlet channel, repair work, pull-off test</b>

**ABSTRACT**

Repair of buildings and civil engineering constructions is a very important stage in their lifetime. By successfully planned and implemented repair procedure of building structures functionality for which they were constructed and original look can be restored. In the thesis I explored the repair procedure of reinforced concrete outlet channel of the Šmartinsko Lake. The result of repair, which began in 2008 and continued in 2013, did not meet the requirements of the designers of repair. Relatively soon after the completion of the construction works first defects were observed on the surface of the RC elements. The main problem in the repair procedure was poor condition of the original surface of the RC elements. The repair execution was further aggravated by further presence of back-water and extreme weather conditions. In the first part of the thesis the procedures of executed repair works are described. The second part is dedicated to errors that occurred because the contractor did not follow the instructions of designers of the repair procedure. At the end a proposal of better repair procedure is given. If this procedure was followed, the identified errors would probably not have occurred.

## ZAHVALA

V prvi vrsti bi se rad zahvalil profesorjem in asistentom na FGG, za posredovano znanje. V čast mi je bilo poslušati predavanja svetovno cenjenih predavateljev.

Hvala mentorici izr. prof. dr. Violeti Bokan Bosiljkov za pomoč pri nastajanju diplomskega dela in somentorju g. Romanu Granfol dipl. inž. grad. iz podjetja KEMA d.o.o. za posredovano gradivo in pomoč in praktične strani.

Posebna zahvala gre staršem, ki so me v času študija vzpodbujali, motivirali ter me finančno podpirali. Hvala tebi Zoran za prijazen uvod v študentsko življenje.

Prosti čas med študijem bi bil brez najboljših sošolcev zelo dolgočasen in monoton. Mnogo dni in neprespanih noči zaradi študijskih in obštudijskih obveznosti je bilo zaradi vas dragi Marko, Beno, Gorazd, Janez, Tine, Žiga, Matjaž in Janko veliko prijetnejših.

Velik del zaslug za nastanek tega diplomskega dela pa imata punca Živa, za vztrajno priganjanje k raziskovanju in motivacijo med pisanjem, in prijatelj Goran, za poučne in strokovne nasvete iz gradbene prakse.

## KAZALO VSEBINE

<b>STRAN ZA POPRAVKE</b> .....	<b>I</b>
<b>IZJAVA O AVTORSTVU</b> .....	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b> .....	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>V</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 ARMIRAN BETON</b> .....	<b>2</b>
2.1 Splošno o armiranem betonu .....	2
2.2 Obstojnost armiranega betona .....	3
2.3 Vzroki propadanja AB konstrukcij.....	5
2.3.1 Korozija armature zaradi karbonatizacije .....	6
2.4 Splošno o sanaciji armiranega betona .....	8
<b>3 IZPUSTNI KANAL ŠMARTINSKO JEZERO IN PREGRADA LOČE</b> .....	<b>10</b>
3.1 Pregrada Loče .....	10
3.2 Pomen pregrade in izpusta .....	11
<b>4 SANACIJA AB KONSTRUKCIJE IZPUSTA ŠMARTINSKO JEZERO</b> .....	<b>12</b>
4.1 Sanacijski material.....	13
4.1.1 Sestava sistema BETONPROTEKT:.....	14
4.2 Tehnološki postopki popravila poškodb AB elementov podjetja KEMA d.o.o. ....	16
4.2.1 Pregled stanja.....	16
4.2.2 Priprava podlage.....	17
4.2.3 Pregled, zamenjava in zaščita obstoječe armature .....	19
4.2.4 Izravnava betonskega tlaka .....	20
4.2.5 Nanos zaščitnega zaključnega sloja .....	23
4.2.6 Nega sveže betonske površine .....	24
4.2.7 Rezultati preiskav prijemnosti sanacijske malte z betonsko površino .....	25
<b>5 NAPAKE PRI SANACIJI IN PREDLOG BOLJŠEGA POSTOPKA</b> .....	<b>30</b>
5.1 Zaledna voda.....	30
5.2 Neupoštevanje dilatacij .....	31
5.3 Problem talne plošče .....	32
5.4 Predlog rešitve.....	32
5.4.1 Priprava podlage in zaščita obstoječe armature.....	32
5.4.2 Preplastitev talne plošče in sten z vodotesno AB ploščo.....	33
5.4.3 Površinska zaščita konstrukcije .....	35
<b>6 ZAKLJUČEK</b> .....	<b>36</b>



**VIRI.....38**

**Kazalo slik:**

Slika 1: Proces vgradnje betonske mešanice ..... 2  
Slika 2: Poškodovana površina AB konstrukcije z vidno korodirano armaturo ..... 7  
Slika 3: Prikaz meritve globine karbonatizacije na odvzetem valju s pomočjo indikatorja (fenolftalein) ..... 7  
Slika 4: Zemeljska pregrada Loče ..... 10  
Slika 5: Izgled površine elementov AB izpusta pred (levo) in po sanaciji (desno) ..... 12  
Slika 6: Shema nanašanja sistema BETONPROTEKT v štirih fazah ..... 13  
Slika 7: Praktični model uporabe sistema BETONPROTEKT ..... 15  
Slika 8: Pregled obstoječega stanja leta 2008 ..... 17  
Slika 9: Priprava podlage z uporabo pnevmatskega kladiva (levo) in visokotlačnega vodnega curka (desno) ..... 18  
Slika 10: Postopek čiščenja in zaščite armature ..... 19  
Slika 11: Zaščita armature z maso BETONPROTEKT K2 ..... 20  
Slika 12: Nanašanje veznega sloja ..... 21  
Slika 13: Nanašanje grobe sanacijske malte na talne (levo) in stenske površine (desno) .... 22  
Slika 14: Nastanek razpok na grobi sanacijski malti zaradi prehitrega sušenja ..... 22  
Slika 15: Nanašanje fine sanacijske malte z čopičem (levo) in kovinsko gladilko (desno) .... 23  
Slika 16: Zaščita svežega nanosa pred prehitrim izsuševanjem z PVC folijo ..... 24  
Slika 17: Shema in slika merilne naprave za natezno preizkušanje betona ..... 25  
Slika 18: Zaledna voda prihaja na površje skozi razpoke na betonski površini ..... 30  
Slika 19: Razpoke na sanirani površini na mestih, kjer bi morale biti dilatacije ..... 31  
Slika 20: Detajl izvedbe stika med novo AB talno ploščo in steno ..... 33  
Slika 21: Nabrekajoči tesnilni trak ..... 34  
Slika 22: Prikaz uporabe nabrekajočega tesnilnega traku v kombinaciji z nabrekajočim tesnilnim kitom ..... 34

**Kazalo preglednic:**

Preglednica 1: Razredi in stopnje izpostavljenosti (SIST EN 206 in SIST 2016) .....4

Ta stran je namenoma prazna.

## 1 UVOD

Šmartinsko jezero leži v Celjski kotlini severno od mesta Celje. Nastalo je leta 1970, ko se je z dokončanjem pregrade Loče zaježil potok Koprivnica. Pregrada je omogočila regulacijo potoka in s tem tudi izgradnjo novejšega dela mesta Celja na Lavi in Ostrožnem. Akumulacija je bila predvidena predvsem za zagotavljanje potreb po tehnološki vodi za takratne potrebe celjske industrije, vendar se zaradi spremenjenih potreb ni nikoli izkoriščala. Na desnem robu akumulacije je lociran izpust, ki služi regulaciji spodnjega toka potoka Koprivnice. Izpustni kanal je zgrajen iz armiranega betona (v nadaljevanju: AB), za katerega je znano, da v primeru delovanja agresivnih vplivov okolja ni vedno trajen. Zato je pri AB konstrukcijah, poškodovanih zaradi vplivov okolja, pomembna kakovostno načrtovana in izvedena sanacija.

Ker gre za zanimiv objekt in ker je v Sloveniji ter po svetu še veliko podobnih AB objektov poškodovanih zaradi enakih dejavnikov, ki jim lahko z učinkovito sanacijo podaljšamo življenjsko dobo, sem se v tem diplomskem delu odločil posvetiti in podrobneje predstaviti potek sanacije AB konstrukcije izpustnega kanala Šmartinsko jezero.

Delo v okviru diplome je potekalo v podjetju KEMA Puconci d.o.o., v katerem dela tudi somentor, zato so v diplomskem delu obravnavane le rešitve s proizvodi tega podjetja. Zato so v tekstu navedena tudi tržna imena uporabljenih proizvodov.

Cilj diplomskega dela je bil poiskati vzroke, ki so vplivali na neučinkovitost izvedene sanacije in zaradi katerih ni bilo vzpostavljeno želeno stanje AB konstrukcije.

Diplomsko delo je vsebinsko sestavljeno iz štirih sklopov. V prvih dveh je predstavljena splošna problematika trajnosti armiranega betona, vzroki propadanja AB konstrukcij ter nekaj splošnih informacij o nastanku in pomenu saniranega objekta. V nadaljevanju sem se posebej osredotočil na sam postopek sanacije, kompatibilnost uporabljenih materialov ter kakovost izvedbe. V zadnjem sklopu pa so predstavljene napake pri izvedbi sanacije, podan je tudi predlog postopka, ki naj bi zagotovil, da do tovrstnih napak ne bi več prišlo.

Podatke sem pridobil iz različnih virov. Večino gradiva za analizo sem dobil v podjetju KEMA v obliki poročil o opravljenih sanacijah AB konstrukcij. Večino splošnih podatkov o betonskih in AB konstrukcijah sem pridobil iz strokovnih revij Gradbenik in iz zbornikov gradiv in referatov inštituta za raziskavo materialov in aplikacije IRMA. Priporočila za postopke sanacije sem našel v standardih SIST EN 1504 od 1 do 10. Pomagal sem si tudi z diplomsko nalogo Andrejka A. (2011).

## 2 ARMIRAN BETON

### 2.1 Splošno o armiranem betonu

Beton je v gradbeništvu eden najbolj priljubljenih konstrukcijskih materialov. Projektanti ga še vedno zelo radi uporabljajo zaradi njegove vsestranskosti, visoke tlačne trdnosti in dobre obstojnosti, če z njim primerno ravnamo pred, med in v času po vgradnji. Zaradi možnosti vsestranske uporabe in izdelave konstrukcij poljubnih oblik je beton postal eden vodilnih materialov v gradbeništvu že pred približno sto leti. Odlikuje se predvsem po visoki tlačni trdnosti, natezna trdnost betona pa je, v primerjavi s tlačno trdnostjo, približno 10-krat manjša. Zato v konstrukcijske elemente iz betona, na računsko določenih mestih, vključujemo jekleno armaturo, ki dobro prenaša natezne obremenitve in je kompatibilna z betonom (Andrejka, 2011).

Še nekaj desetletij nazaj je veljalo, da je beton »večen« material, še posebej, ker so določeni procesi propadanja betona lahko zelo počasni. Z intenzivno gradnjo infrastrukturnih objektov, predvsem mostov in viaduktov na prometnicah, pa se je kmalu pokazalo, da temu ni tako. Zaradi prepričanja, da je armiran beton "večen" material in nepoznavanja njegovih kemijskih in fizikalnih lastnosti ter razvoja mikrostrukture s časom je v preteklosti velikokrat prihajalo do neustrezne izbire osnovnih materialov in njihovih razmerij ter do neustrezne vgradnje in zgoščevanja betona v opažu. Neustrezna nega betona po razopaženju je razmere še poslabšala. Zato je veliko obstoječih AB konstrukcij danes potrebnih obnove, s katero konstrukciji povrnemo ali celo izboljšamo funkcionalnost (Andrejka, 2011).



Slika 1: Proces vgradnje betonske mešanice

## 2.2 Obstočnost armiranega betona

Obstočni betoni so definirani kot betoni, ki so brez poškodb sposobni prevzeti obremenitve, ki nastopajo zaradi vplivov okolja. Pri tem pa je obstočnost betona eden od osnovnih parametrov trajnosti betonskih konstrukcij. Obstočnost oz. kakovost betona je odvisna od več dejavnikov. Začne se pri izdelavi betonske mešanice, kajti bistvo visoke kakovosti betona je v mikrostrukturi betona, v cementnem kamnu, ki ima visoko gostoto, majhno kapilarno poroznost in dobro sprijemnost z zrni agregata. S tem se močno zmanjša vodo in paro prepustnost in s tem možnost prodora agresivnih snovi v notranjost betonske konstrukcije (Leskovar, 2013).

Za doseganje ustrezne mikrostrukture sta potrebna predvsem ustrezno vodocementno (V/C) razmerje in ustrezna količina cementa, saj prav ti količini neposredno vplivata na kvaliteto in poroznost cementnega kamna. Za znižanje V/C razmerja se uporabljajo različni dodatki, ki kljub manjši količini vode omogočajo dobro vgradljivost betona, to so t.i. superplatifikatorji. Njihova uporaba lahko V/C razmerje zniža do te mere, da je vode premalo za hidratacijo vsega cementa, zato ta "odvečni" cement nadomeščamo z mineralnimi dodatki, ki imajo poculanske lastnosti (elektrofiltrski pepeli, tuf, mikrosilika, ...) ter z mineralnimi dodatki - polnili zelo fine zrnivosti (kamena moka), s katerimi zagotovimo večjo gostoto in s tem nižjo poroznost betona (Leskovar, 2013).

V gradbeništvu je pomembno, da uporabljamo takšne materiale, ki konstrukcijam zagotavljajo trajnost in s tem varnost. Zato so v okviru tehnologije betona zelo pomembne tudi raziskave obstočnosti betona. Rezultati tovrstnih preiskav so danes že v veliki meri implementirani v najnovejše standarde, pravilnike in priporočila, ki predpisujejo ali priporočajo, kakšne naj bodo sestave betonov v določenem okolju, vključno s pogoji priprave, transporta, vgradnje, nege in dokazovanja kvalitete. Tako je pri nas v veljavi standard SIST EN 206, v katerem so vplivi okolja razvrščeni kot stopnje izpostavljenosti, stopnja izpostavljenosti XM pa je dodana v nacionalnem dodatku (SIST 2016). Razredi in stopnje izpostavljenosti so podani v preglednici 1. Ker je beton v večini primerov izpostavljen več vplivom okolja iz preglednice 1, izražamo pogoje, v katerih se betonski element nahaja, kot kombinacijo stopenj izpostavljenosti (Grum 2004).

**Preglednica 1:** Razredi in stopnje izpostavljenosti (SIST EN 206 in SIST 1026)

<b>Razred in stopnja izpostavljenosti</b>	<b>Opis okolja</b>
<b>Ni nevarnosti korozije ali agresivnosti okolja</b> (X0)	Pri nearmiranem betonu vsi razredi izpostavljenosti, razen zmrzovanja/tajanja, obrabe in kemijskega delovanja. Pri armiranem betonu zelo suho okolje.
<b>Korozija zaradi karbonatizacije</b> (XC1 – XC4)	XC1 – suho oz. trajno mokro XC2 – mokro, le redko suho XC3 – zmerno vlažno XC4 – izmenično mokro in suho
<b>Korozija zaradi kloridov, ki ne izvirajo iz morske vode</b> (XD1 – XD3)	XD1 – zmerna vlažnost XD2 – mokro, le redko suho XD3 – izmenično mokro in suho
<b>Korozija zaradi kloridov iz morske vode</b> (XS1 – XS3)	XS1 – izpostavljeno soli, ki jo prenaša zrak, brez stika z morsko vodo XS2 – trajno potopljeno XS3 – območja plimovanja, pljuskanja, pršenja
<b>Zmrzovanje / tajanje</b> (XF1 – XF4)	XF1 – zmerna nasičenost z vodo brez sredstva za tajanje XF2 – zmerna zasičenost z vodo, ki vsebuje sredstvo za tajanje XF3 – močna nasičenost z vodo brez sredstva za tajanje XF4 – močna nasičenost z vodo, ki vsebuje sredstvo za tajanje ali z morsko vodo
<b>Kemično delovanje</b> (XA1 – XA3)	XA1 – malo agresivno kemično okolje XA2 – zmerno agresivno kemično okolje XA3 – močno agresivno kemično okolje
<b>Obraba površine betona*</b> (XM1 – XM3)	XM1 – zmerna obremenitev XM2 – močna obremenitev XM3 – zelo močna obremenitev

\*V skladu s SIST 1026

Trditev, da se je v gradbeništvu z uveljavitvijo armiranega betona končno našlo gradivo, ki je večno, se je pokazala kot neutemeljena. Zato je danes potrebno obnoviti veliko AB konstrukcij, če želimo, da še naprej opravljajo svojo funkcijo. Za uspešno obnovo so predhodno potrebne strokovne diagnostične preiskave na terenu, laboratorijske preiskave in na podlagi rezultatov preiskav predpisana tehnologija za obnovo AB konstrukcije z ustreznimi materiali (Leskovar, 2010).

## 2.3 Vzroki propadanja AB konstrukcij

Osnovni vzroki za propadanje betonskih objektov so preobremenitve in/ali delovanje agresivnih vplivov okolja, ki so zaradi onesnaženosti okolja vedno bolj intenzivni. Proces propadanja so fizikalni, kemijski in biološki. V večini primerov gre za kombinacijo več mehanizmov, kjer je npr. zaradi površinske obrabe ali razpoke agresivnim vplivom okolja podvržena notranjost armiranega betona (na primer pojav korozije armature).

Fizikalni procesi so:

obraba površin (abrazija, erozija,...)

- mehanske obremenitve (udarci, preobremenitve, pomiki, ciklične obremenitve)
- volumske spremembe (spreminjanje temperature in vlažnosti,...)
- ekstremne temperature (zmrzovanje in odtajevanje, požar)

Kemijski procesi so:

- raztapljanje hidratacijskih produktov in izločanje komponent cementnega kamna (mehka voda)
- reakcije med agresivnimi tekočinami in komponentami cementnega kamna (na primer karbonatizacija)
- reakcije med raztopinami soli in hidratacijskimi produkti (delovanje morske vode, sulfatni napad)
- korozija armature

Biološki procesi so:

- delovanje školjk
- delovanje bakterij, alg, mahov in/ali lišajev

V primerih ustrezne izbire sestavin betona, upoštevanja priporočil glede minimalne debeline zaščitne plasti betona nad armaturo ter kvalitetnega izvajanja del, kljub delovanju agresivnih vplivov ne prihaja do propadanja betona. V veliko primerih iz prakse pa ne gre vse po načrtih. Problemi se velikokrat pojavijo na posebnih mestih v betonskih konstrukcijah, kot so stiki, dilatacije, preboji, itd.. Poškodbe ki se pojavijo, so po navadi vidne najprej na površini same betonske konstrukcije, ter se nato širijo proti notranjosti, kajti stik med materialom in okoljem je prav na površini konstrukcije. Najpogostejše poškodbe so razpoke, ki lahko nastanejo zaradi različnih vzrokov, in s svojo prisotnostjo dovoljujejo prehod agresivnega medija v notranjost betona in s tem zmanjšujejo njegovo obstojnost.

Posebno poglavje so objekti, ki morajo zadostiti pogojem vodotenosti in vodoneprepustnosti. To lastnost imajo lahko konstrukcije tudi brez dodatne hidroizolacije. Postopek zahteva primerno kvaliteto betona (vodotesnost, tlačno trdnost, omejitev krčenja), predvsem pa pravilno izbiro tehnologije priprave, transporta, vgrajevanja in nege betona ter skrbno načrtovanje in izvedbo vseh detajlov kot so dilatacije, preboji, stiki med posameznimi fazami betoniranja in posameznimi konstrukcijski elementi, npr. stik med talno ploščo in obodno steno (Leskovar, 2013).

### **2.3.1 Korozija armature zaradi karbonatizacije**

V Sloveniji je največ poškodb AB konstrukcij posledica korozije jeklene armature, do katere pride kljub ostrim predpisom glede debeline in kvalitete zaščitne plasti betona nad armaturo, kvalitete betona in tehnologije vgrajevanja. V nadaljevanju obravnavamo le korozijo armature zaradi karbonatizacije, to je brez prisotnosti kloridov. Korozija se pogosteje pojavlja na AB objektih, ki so nenehno izpostavljeni zunanjim okoljskim vplivom (soncu, dežju in zmrzali pozimi). Armatura je v betonu, ki je zadostno alkalen, praviloma dobro pasivizirana in ne rjavi. Pasivizacija je zaščita, ko se na površini jekla ustvari mikroskopsko tanek sloj oksidov (pasivni film). Vendar pa beton izpostavljen zunanjemu okolju (ogljikovemu dioksidu) zaradi karbonatizacije s časom izgublja alkalnost (pH z začetnega 12,5-13 lahko upade na 7-9), in pride do depasivizacije armature. Ogljikov dioksid iz zraka v povezavi z deževnico in v stiku z alkalnimi sestavinami betona povzroči kemijsko reakcijo, pri kateri nastajajo soli ogljikove kisline (karbonati). Če je torej kot armatura v AB uporabljeno jeklo v obliki palic ali mrež, in karbonatizacija na globini, na kateri se armatura nahaja, povzroči padec alkalnosti okolja pod pH 9, začne armatura v prisotnosti vode korodirati. Ker imajo nastali korozijski produkti večji volumen (tudi do 7-krat) kot armatura sama, postaja v okolici armature pretesno. Pritisk, ki pri tem nastane, povzroči, da beton od armature odstopi. Sprva se v zaščitnem sloju betona pojavijo razpoke vzporedno z armaturo, v naslednji fazi pa že lahko nastopi luščenje zaščitnega sloja betona. Tak beton je zato potreben čimprejšnje sanacije, kajti ko je struktura betona enkrat načeta, začne le-ta zelo hitro propadati (Zajc, Žnidarič, 2010 in Gerbec, 2006).





Slika 2: Poškodovana površina AB konstrukcije z vidno korodirano armaturo

Pred sanacijo AB elementov je torej pomemben podatek globina karbonatizacije. Če se je korozija armature že začela, lahko prisotnost karbonatizacije opazimo že s prostim očesom, po temno oranžni barvi korozijskih produktov, ki so prodri na površino betona. Tehnično pa globino karbonatizacije določamo s pomočjo fenolftaleina. Tega s pršenjem naneseemo vzdolž dolžine betonskih valjev, ki jih izvrtamo iz obstoječega, poškodovanega konstrukcijskega elementa. Če je pH višji od 9,2 se ob stiku z raztopino fenolftaleina beton obarva vijolično, medtem ko karbonatiziran del betona ohrani prvotno barvo. Nato izmerimo dolžino neobarvanega dela. Ta dolžina nam potem predstavlja globino karbonatizacije vključene jeklene armature (povzeto po Gerbec).



Slika 3: Prikaz meritve globine karbonatizacije na odvzetem valju s pomočjo indikatorja (fenolftalein)

## 2.4 Splošno o sanaciji armiranega betona

Obnova AB konstrukcij je kompleksen poseg, ki zahteva predvsem pravilno "diagnozo". Brez nje sanacija, kljub uporabi zelo kakovostnih materialov, ne more biti uspešna. Zato je pri teh postopkih zelo pomembno znanje, izkušnje in kakovost načrtovanja kot tudi izvedba sanacije. Ko se na konstrukciji pokažejo poškodbe in s tem začetki propadanja AB konstrukcije, je potrebno ob predhodnem pregledu stanja in ocene poškodovanosti določiti postopek za popravilo in zaščito objekta pred nadaljnjim propadanjem. Samo sanacijo izvajamo predvsem zaradi statične varnosti konstrukcije, funkcionalnosti AB objekta ali le zaradi estetskega videza konstrukcije. Pred samo določitvijo rešitve sanacije in izbiro pravega materiala za posamezno fazo popravila je najprej potrebno poznati vzroke za propadanje betona in ugotoviti, kako so le-ti vplivali na samo konstrukcijo. Vzroke propadanja AB konstrukcije in globino poškodb ugotavljamo na osnovi terenskih preiskovalnih metod in preiskav na odvzetih vzorcih. Za podrobnejše laboratorijske preiskave je potrebno najprej ugotoviti vzroke propadanja in globino poškodovanja konstrukcije – na primer globino karbonatizacije betona. Vizualno se pregleda prisotnost korozijskih poškodb z vidno korodirano armaturo, pojav razslojitve betona, prisotnost razpok v betonski konstrukciji, kontaminacija površin z rastlinjem (mah, lišaji, alge), ravnost betonskih površin ipd.

Pri sanaciji betona je zelo pomembna izbira sanacijskega materiala. Le-ta mora imeti podobne fizikalne lastnosti kot beton vgrajen v element, katerega površino saniramo. Biti mora vsaj tako trden kot osnovni material, in imeti podoben modul elastičnosti in koeficient temperaturnega raztezka, da lahko sanirana konstrukcija po izvedeni sanaciji deluje kot celota in ne prihaja do poškodb na stiku "staro-novo". Pred izvajanjem del mora biti zagotovljena čistost in primerna vlažnost površine, da se doseže dobra sprijemnost med sanirano površino, ki mora biti ustrezno pripravljena in sanacijskim materialom. Pri sanaciji betona je pravilna izbira sanacijskega materiala, ki se jo izbere na podlagi terenskih in laboratorijskih preiskav betona, ključna. Najpogosteje se uporabljajo pripravljene mešanice sanacijskih malt za običajni nanos, suho in mokro torkretiranje, zalivne malte za opazne konstrukcije, podlivne in zalivne malte za sidranje konstrukcijskih elementov ter malte za zaključno obdelavo, ki morajo imeti naslednje lastnosti (Leskovar, 2003 in Gerbec, 2006):

- omejeno krčenje oz. strjevanje brez razpok,
- majhna vpojnost,
- dober oprijem na beton in na armaturo,
- podoben modul elastičnosti, kot ga ima saniran beton,
- mora biti preprost za nanašanje oz. vgrajevanje

Proizvode za zaščito in popravilo AB konstrukcij se v praksi velikokrat razvršča glede na (Gerbec, 2006):

1. **Vrsto veziva**, pri čemer lahko izberemo:

- Anorganska (mineralna),
- Organska (polimerna) ali
- Modificirana (kombinirana) veziva

2. **Vrsto ali namen uporabe** kot so:

- Protikorozijska zaščita kovinskih in betonskih površin
- Reprofilacije in preplastitve
- Lepljenje ali izboljšanje oprijemljivosti dodanih materialov
- Zapiranje in tesnjenje manjših reg, razpok in por pri prodoru vode ali drugih kapljev
- Zalivanje ali podlivanje večjih reg, večjih odprtih in podobno.

3. **Način izvedbe**, ki je odvisen od pogojev v okolju:

- Ročno z lopatico, valjčkom, čopičem,...
- Strojno z brizganjem, injektiranje,...

Popravilo in zaščito betonskih konstrukcij celovito obravnavajo standardi serije SIST EN 1504 od 1 do 10, ki zajemajo:

1. del: definicije, (SIST EN 1504-1),
2. del: sisteme za zaščito površine betona, (SIST EN 1504-2),
3. del: konstrukcijska in nekonstrukcijska popravila, (EN 1504-3),
4. del: konstrukcijsko povezovanje, (SIST EN 1504-4),
5. del: injektiranje betona, (SIST EN 1504-5),
6. del: sidranje armaturne palice, (SIST EN 1504-6),
7. del: zaščita armature proti koroziiji, (SIST EN 1504-7),
8. del: kontrolo kakovosti in ovrednotenje skladnosti, (SIST EN 1504-8),
9. del: splošna načela za uporabo proizvodov in sistemov, (SIST EN 1504-9),
10. del: uporabo proizvodov in sistemov na terenu in kontrola kakovosti del, (SIST EN 1504-10).

### 3 IZPUSTNI KANAL ŠMARTINSKO JEZERO IN PREGRADA LOČE

#### 3.1 Pregrada Loče

Zemeljska pregrada Loče je ena izmed vrste podobnih inženirskih objektov, zgrajenih v sedemdesetih letih z namenom regulacije vodotokov in oskrbe z tehnološko in pitno vodo. Pregrada je bila dokončana leta 1970, na pobudo investitorja splošna vodna skupnost Savinja Celja, in stoji v kraju Loče nad naseljem Dobrova. Gre za pregrado nasutega tipa, ki je grajena iz materialov pridobljenih v bližnji okolici objekta in po dimenzijah spada med velike pregrade (Čož, 2013).

Glavne karakteristike pregrade (vir: [www.slocold.si](http://www.slocold.si)):

- Višina pregrade: 16,50 m
- Dolžina v kroni: 205 m
- Max. volumen akumulacije : 6.500.000 m<sup>3</sup>
- Kapaciteta prelivnega polja: 75 m<sup>3</sup>/s



Slika 4: Zemeljska pregrada Loče

### 3.2 Pomen pregrade in izpusta

Zapornice pri izpustu so namenjene reguliranju pretoka potoka Koprivnica, ki je edini iztok iz jezera. Koprivnica, ki se v spodnjem toku izliva v reko Savinjo, je včasih ob deževnih obdobjih predstavljala veliko poplavno nevarnost za poseljena območja Celja. Prav zato je danes zelo pomembna regulacija s pomočjo izpusta tako zaradi vzdrževanja ustreznega nivoja podtalnice predvsem zaradi kmetijske rabe površin, kakor tudi zaradi preprečevanja morebitnega povišanja gladine potoka na poseljenih območjih, ki jih je izgradnja pregrade omogočila v celjski kotlini. Glavni cilj izgradnje pregrade je bil ustvariti vodni zbiralnik, ki bi zagotavljal potrebe po tehnološki vodi v industrijskih obratih v Celjski kotlini. Do te vrste izkoriščanja nato ni nikoli prišlo, zato se danes akumulacija uporablja za športne, rekreacijske in turistične namene, ima pa še vedno pomembno vlogo pri zadrževanju visokovodnega vala, zato bo tudi v bodoče potrebno vse rabe prostora podrediti temu dejstvu (nihanje gladine) (Zupančič, Kovač, 2009).

Izpustni kanal, ki stoji na desni brežini akumulacije, je namensko zgrajen iz armiranega betona, saj ima le-ta zelo dobro odpornost na erozijo in druge okoljske vplive, glede na ostale materiale, iz katerih se gradijo podobne konstrukcije (zemeljski, s kamnom obloženi kanali,...). Sestavljen je iz prelivnega roba, zbiralnega žleba, zgornjega odvodnega kanala, drče, podslapja in spodnjega odvodnega kanala. Objekt je del nasipa in je temeljen v podlago iz tufa. Prelivni rob je oblikovan tako, da je pretočna zmogljivost čim večja in je sestavljen iz fiksnega bočnega betonskega preliva (na koti 265,40 m n.v.) in nekoliko nižje ležečega s tablastimi zapornicami opremljenega čelnega preliva (na koti 264,50 m n.v.). Cev za talni izpust je speljana v podslapje talnega izpusta, ki je opremljeno z razbijači energije, ki vodni tok umirijo, zato se voda z manjšo hitrostjo prelije v podslapje drče (Čož, 2013).

Okvara delovanja zapornic, morebitna prevelika količina padavin ali v skrajnem primeru porušitev pregrade bi lahko v smislu prevelikega pretoka ali visokovodnega vala za območje spodnjega toka potoka Koprivnice in celotno območje Celjske kotline pomenila veliko katastrofo v obliki poplav.

#### 4 SANACIJA AB KONSTRUKCIJE IZPUSTA ŠMARTINSKO JEZERO

Po skoraj 40 letih je bila leta 2008 konstrukcija izpustnega kanala še vedno v uporabi, čeprav, kljub vidnim poškodbam, konstrukcija ni bila sanirana. Propadanje konstrukcije je bilo treba ustaviti, zato so se v podjetju Nivo Celje d.d. odločili, da se objekt sanira, ter se mu povrne originalna podoba in funkcionalnost ter podaljša življenjska doba. Kot strokovni partner pri diagnosticiranju obstoječega stanja in načrtovanju sanacije je v projektu sodelovalo podjetje KEMA d.o.o. iz Puconcev. To podjetje se že vrsto let ukvarja z načrtovanjem sanacije objektov ter z zaščito objektov pred agresivnimi vplivi okolja, hkrati pa v svojem laboratoriju tudi razvijajo sanacijske materiale. Ekipa strokovnjakov je na podlagi pregleda investitorju predlagala tehnološke postopke za sanacijo, ki se je istega leta tudi začela.



Slika 5: Izgled površine elementov AB izpusta pred (levo) in po sanaciji (desno)

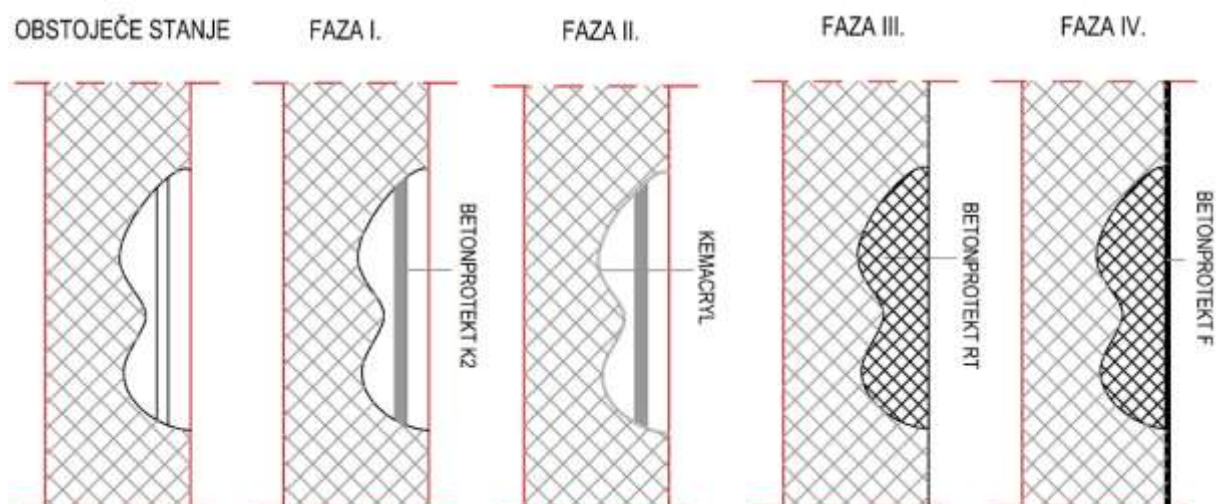
## 4.1 Sanacijski material

Sanacijo je izvajalo podjetje NIVO, gradnje in ekologija d.d. iz Celja, pri tem pa so uporabili materiale podjetja KEMA d.o.o.. Na objektu je bil uporabljen sistem materialov BETONPROTEKT, ki je bil razvit prav za namene sanacije poškodovanih AB konstrukcij.

Sistem BETONPROTEKT je skupina materialov in postopek sanacije ter zaščite betona. Materiali BETONPROTEKT so s polimeri modificirane cementne mase na osnovi pazljivo izbranih frakcij kremenovega peska, Portland cementa in posebnih dodatkov. Njegove lastnosti, ki zagotavljajo trajnost sanacije so:

- cementno-mineralna narava, ki dodatno ščiti armaturo,
- visoka paro prepustnost, ki omogoča difuzijo,
- neprepustnost za vodo, kar preprečuje vdor agresivnim snovem v notranjost betona,
- odličen oprijem na podlago,
- visoka trdnost in dimenzijska stabilnost.

Sanacija z materiali sistema BETONPROTEKT poteka v več fazah, od priprave, do točno določenega zaporedja nanašanja posameznih materialov. Pri tem so določene minimalne in maksimalne debeline nanosov, ter tudi časovni razmik med posameznimi fazami oz. nanosi.



Slika 6: Shema nanašanja sistema BETONPROTEKT v štirih fazah

#### **4.1.1 Sestava sistema BETONPROTEKT:**

##### **BETONPROTEKT K2** (*zaščita armature in vezni sloj*)

BETONPROTEKT K2 je dvokomponentna s polimeri obogatena cementna masa z dodatki migracijskih inhibitorjev korozije. Uporablja se za zaščito armature poškodovanega armiranega betona in kot vezni sloj, pred nanašanjem sanacijskih malt BETONPROTEKT RP (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).

##### **BETONPROTEKT RP** (*sanacijska malta za vodoravne površine betona*)

BETONPROTEKT RP je enokomponentna, mikroarmirana, superplastificirana, sulfatno odporna polimer-cementna malta (PCM) za popravilo in izravnavo horizontalnih ali opaženih površin betona. Debelina sloja v enem nanosu je najmanj 10 in največ 40 mm. Sestavine malte so: agregat  $d_{max}=3\text{mm}$ , Specialni cement Salolit Anhovo, dodatek Tylose za zadrževanje vode, polipropilenska vlakna, plastifikator, dodatek proti krčenju in drugi dodatki, ki skupaj zagotavljajo zahtevane lastnosti proizvoda (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).

##### **BETONPROTEKT RT** (*sanacijska malta za navpične in stropne površine betona*)

BETONPROTEKT RT je enokomponentna, mikroarmirana, tiksotropna, sulfatno odporna PCM za popravilo vidnih poškodb na površini betona (segregacijska gnezda, razpoke, korodirani beton itd.), za izravnave betonskih površin, za reprofiliranje vogalov, stopnic, robov itd. Nanaša se ročno ali strojno. Debelina sloja v enem nanosu je najmanj 5 in največ 40 mm. Sestavine malte so: agregat  $d_{max}=3\text{mm}$ , Specialni cement Salolit Anhovo, dodatek Tylose za zadrževanje vode, polipropilenska vlakna, saje, dodatek proti krčenju, mikrosilika in drugi dodatki, ki skupaj zagotavljajo zahtevane lastnosti proizvoda (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).

##### **BETONPROTEKT F** ( *fina masa za izravnavo in protikorozijsko zaščito betonskih površin*)

BETONPROTEKT F je enokomponentna, mikroarmirana, sulfatno odporna PCM masa za izravnavo in zaščito novih in nepoškodovanih starih poroznih betonskih površin, za popravilo površinskih poškodb na betonskih prefabrikatih in za fino izravnavo cementnih in cementno-apnenih ometov. Nanaša se ročno ali strojno. Debelina sloja v enem nanosu je najmanj 1 in največ 5 mm. Sestavine mase so: agregat  $d_{max}=1\text{mm}$ , Specialni cement Salolit Anhovo, TYLOSE- za zadrževanje vode, polipropilenska vlakna, saje, mikrosilika, dodatek proti krčenju, in drugi dodatki, ki skupaj zagotavljajo zahtevane lastnosti proizvoda (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).



## KEMACRYL

KEMACRYL je polimerna disperzija (tekočina mlečne barve) za izboljšanje lastnosti svežih in strjenih cementnih malt in za izboljšanje sprijemnosti na veznem sloju staro-novo ter za impregnacijo močno vpojnih mineralnih površin (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).

## KEMALATEX

KEMALATEX je polimerna disperzija sintetičnih smol in dodatkov na vodni osnovi za pripravo veznega mosta (vezi staro-novo) pri nanosu sloja malte na pripravljeno in stabilno površino starega betona (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).

## KEMACURE EKO

KEMACURE EKO je okolju prijazno tekoče sredstvo na polimerni osnovi, brez vsebnosti topil in voskov, za nego svežega betona. Sveži beton ščiti pred prehitro izsušitvijo in nastankom lasastih razpok. Nadomešča mokro nego sveže razopaženih betonskih površin. Ne zmanjšuje oprijema zaključnih premazov in lepil. Na površino svežega betona se ga nanaša s škropljenjem (ustvari se enakomeren tanek film) (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).



Slika 7: Praktični model uporabe sistema BETONPROTEKT

## **4.2 Tehnološki postopki popravila poškodb AB elementov podjetja KEMA d.o.o.**

### **4.2.1 Pregled stanja**

Sanacija se začne s temeljitim pregledom AB konstrukcije na terenu. Za natančnejšo diagnozo stanja se lahko opravijo še laboratorijski testi na vzorcih, odvzetih iz same konstrukcije. Vzorce je treba odvzeti previdno, da s tem ne povzročimo prevelikih oslabeitev konstrukcije, kar bi lahko privedlo do delne ali celotne porušitve konstrukcijskega elementa ali konstrukcije.

Izpustni kanal Šmartinskega jezera, zgrajen leta 1970, je bil strokovno pregledan s strani strokovnjakov podjetja KEMA Puconci d.o.o. leta 2008 (slika 8). Objekt v obdobju 1970 – 2008 ni bil celovito saniran, je bilo pa nekaj manjših popravil nastalih poškodb. Pri pregledu so bile ugotovljene naslednje poškodbe:

- na AB površini je mestoma viden tanek zaščitni sloj betona, z lokalno manjšimi mesti, kjer je na površini vidna armatura (vendar manj kot 3% celotne površine). Na ostalem delu površine je zaščitni sloj primerne debeline (cca. 30 mm),
- zaradi izpostavljenosti objekta zunanjim vplivom (dež, veter, sonce, zmrzal) je vidna porozna struktura betona na površini. Ta povzroča možnost večje absorpcije vlage oz. vode, kar je predvsem pozimi zaradi zmrzali privedlo do propadanja oziroma luščenja vrhnje zaglajene površine betona,
- beton je površinsko izpran, viden je agregat brez cementnega kamna in poškodovana matrica vrhnjega sloja betona,
- vidni lunkeji v betonu in segregacijska gnezda,
- na podlagi prisotne številne razpoke (širine tudi od 5-10 mm), predvsem na delih, kjer bi zaradi velikosti polj morale biti izvedene dilatacijske fuge. Razpoke se posledica delovanja tal (pomiki) in krčenja betona v fazi strjevanja,
- na površini plast lišajev, alg in mahov (tudi do debeline 30 mm), predvsem zaradi velike vsebnosti vlage v betonski podlagi,
- iz večjih razpok na talnih površinah zapolnjenih z zemljo rastejo rastline.

Pri pregledu stanja objekta in originalne tehnične dokumentacije je bilo ugotovljeno, da je bil med gradnjo uporabljen enostranski opaž. Na notranji (vodni) strani je bil uporabljen opaž, medtem ko so na zunanji (zemeljski) strani kanala stene naslonjene na zemeljsko brežino. Ugotovljeno je bilo tudi, da med zemeljsko brežino in betonom ni bila izvedena hidrolizolacija ali da morebitna hidroizolacija ne opravlja svoje funkcije, saj so na stenah izpustnega kanala vidna lokalna območja zamakanja skozi razpoke. Ta problem je posebej opazen na stiku stene s talno ploščo, kjer je zaradi zaledne vode v hribovitem terenu tudi v zelo sušnih obdobjih vidna prisotnost vlage. Pri peskanju in pranju talne površine je bilo ugotovljeno, da je AB talna plošča v zelo slabem stanju. Ugotovljene so večje poškodbe, globine 40 do 60 mm, lokalno tudi več, ki so že bile sanirane z lokalno zaplnitvijo.

Po pregledu je bila investitorju predlagana preplastitev celotne talne površine z novo AB ploščo, debeline 15 do 20 cm, in vgradnja tesnilnih trakov na stiku s steno, kjer prihaja do vdiranja vode. Za sanacijo sten objekta pa je bila predlagana sanacija s sistemom BETONPROTEKT.



Slika 8: Pregled obstoječega stanja leta 2008

#### 4.2.2 Priprava podlage

Priprava podlage je zelo pomemben del postopka sanacije, kajti neustrezni postopki, površnost in nepazljivost, lahko privedejo do tega, da podlaga ni zadosti čista (ostanki slabo sprijetih plasti, nevezani delci,...), kar prepreči pričakovano sprijemnost sanacijskih materialov in privede do morebitnega neuspeha pri sanaciji. Podlago se lahko pripravi na več načinov. S kombinacijo ukrepov, ki so opisani v nadaljevanju, dosežemo praviloma najboljše rezultate.

- Čiščenje podlage z vodnim curkom pod pritiskom (ki je približno 15-krat večji od tlačne trdnosti betona), da se odstranijo vsi slabo vezani in nevezani delci na podlagi, vse do "zdrave" čvrste podlage. Na primeru AB konstrukcije izpustnega kanala je bila betonska površina očiščena tudi s peskanjem s kremenovim peskom pod pritiskom, ki še dodatno poveča učinek čiščenja.
- Odstranjevanje razpokanih in slabo sprijetih plasti betona nad korodirano armaturo, ki se izvaja strojno - s pnevmatskimi kladivi ali z visokotlačnim vodnim curkom (cca. 400 barov) – z vodnim topom (slika 9). Pri tem je potrebno paziti, da s pnevmatskimi kladivi ne poškodujemo strukture zdravega (globljega) betona.
- Mehanska odstranitev betona okrog poškodovane oz. vidne armature ter odpiranje vidno korodiranih površin, tako da se armaturene palice obodno povsem očistijo betona.
- Izžlebitev morebitnih vidnih razpok s kotno brusilko v globino vsaj 10-20 mm, in povečava v širino.
- Priprava podlage se zaključi z pranjem površin, tako da se s površine odstranijo morebitni prašni ali večji delci, ki bi lahko negativno vplivali na oprijem vgrajenega materiala za izravnavo. Na površini ne sme biti tudi mastnih madežev.



Slika 9: Priprava podlage z uporabo pnevmatskega kladiva (levo) in visokotlačnega vodnega curka (desno)

### 4.2.3 Pregled, zamenjava in zaščita obstoječe armature

Armatura je v konstrukcijskih elementih postavljena na točno določenih mestih z namenom, da ohranja statično stabilnost konstrukcije in prenaša (natezne) obremenitve, katerih sam beton ni zmožen prenesti. Pri sanaciji AB konstrukcij je zato posebno pozornost potrebno posvetiti stanju armature v konstrukciji. Po končani pripravi podlage je treba armaturo, od katere je beton odstopil, pregledati in jo očistiti (peskanje – za večje površine, strojno ščetkanje ali ročno čiščenje z žično krtačo lokalno) do kovinskega sijaja. Priporočljivo je, da se odstrani še nekaj centimetrov betona do nepoškodovane armature, medtem ko se ob močno korodirani armaturi odstrani tudi beton v zaledju korozijsko poškodovane armature. V primeru, če je korozija oslabila presek armature za več kot 30 %, je potrebno opraviti statični izračun. Če ta oslabitev vpliva na stabilnost konstrukcije, je potrebna zamenjava armature, katero se nato privari na obstoječo armaturo in s tem zadosti statičnemu ravnotežju.



Slika 10: Postopek čiščenja in zaščite armature

V primeru AB izpustnega kanala je bila armatura vidna na manj kot 3 % celotne betonske površine. Armatura je bila korodirana, a k sreči je bila še v zadosti dobrem stanju, da zamenjave ni bilo potrebno opraviti. Viden del armature je bil očiščen z strojnim ščetkanjem, na težje dostopnih mestih pa z ročno žično krtačo. Očiščena armatura je bila nato zaščitena z antikorozijsko polimerno-cementno maso BETONPROTEKT K2. Le-ta ima odlične lastnosti glede oprijema na kovino in mineralne površine, njena najpomembnejša lastnost pa je, da ob ustrezni vgradnji s svojimi sestavinami ščiti armaturo pred korozijo. Masa hkrati povečuje sprijemnost novih betonov in malt z obstoječo podlago, medtem ko je rdeča barva mase zelo koristna pri kontroli kakovosti vgradnje. Zaščita armature na objektu je bila izvedena v skladu z navodili za vgrajevanje. Masa se je nanašala 2-krat s čopičem v razmiku 1 ure na očiščeno armaturo. Površina betona v okolici popravljane armature je bila trdna in čista (slika11).



Slika 11: Zaščita armature z maso BETONPROTEKT K2

#### 4.2.4 Izravnava betonskega tlaka

Praviloma se površinska obnova AB konstrukcij izvaja v dveh delovnih postopkih. Osnova je groba sanacijska malta za debeline nanosa do nekaj centimetrov, ki se preplasti s fino sanacijsko malto za zaglajevanje v debelinah nekaj milimetrov. Mnenja o pripravi podlage za nanos sanacijske malte so še vedno deljena. V praksi se uporabljata dva načina (Nedog, 2006):

- podlaga, ki jo saniramo, se premaže s temeljnim premazom, ki ob pravilni uporabi poveča lepljivost nanosene malte z betonsko osnovo. Težava se pojavi pri zamudi z nanosi malte, ko temeljni premaz ni več povezovalni, ampak postane ločilni sloj.
- Ob ustrezno pripravljene površini podlage je potrebno le predhodno namočenje z vodo, ki pa na površini ne sme stati (vlažna podlaga brez prisotnosti površinske vode). To v praksi pomeni en delovni postopek manj ob bistveno manjši verjetnosti napake pri samem izvajanju.

Za doseganje kakovostne in trajne obnove se priporoča uporaba že pripravljenih suhih mešanic malt, katerim se na gradbišču dodaja le voda. S tem se izključi možnost napak pri sestavi posameznih mešanic ter se zagotovi optimalna kakovost samega materiala. Pri pripravi sanacijskih mešanic je nujno treba paziti, da so njihove osnovne mehanske lastnosti (tlačna in upogibna trdnost ter modul elastičnosti) čim bližje mehanskim lastnostim obstoječega betona, poleg tega pa morajo imeti v svoji sestavi še dodatke, ki zagotavljajo sledeče potrebne lastnosti (Nedog, 2006):

- enostavna priprava,
- dober oprijem na armaturo in beton,
- kontrolirano krčenje,
- majhna vodovpojnost,
- enostavno nanašanje oziroma vgrajevanje,
- enostavni postopki nege svežih nanosov.

Sanacijski material za vertikalne in stropne površine se lahko nanaša ročno z zidarskimi žlicami in gladilkami, ali strojno po mokrem postopku torkretiranja. V obeh primerih je zaželena tiksotropna konsistenca malte, ki zagotavlja lahkoten nanos brez odpada v debelinah nanosov tudi do več centimetrov v enem delovnem postopku. Mase za sanacijo talnih ravnih površin pa imajo za lažje vgrajevanje dodane superplastifikatorje, ki omogočajo lažje, skoraj samorazlivno vgrajevanje.

Postopek sanacije izpustnega kanala z grobo sanacijsko malto je opisan v nadaljevanju. Na predhodno pripravljeno poškodovano podlago, kjer je bila armatura že premazana z mešanico BETONPROTEKT K2, se je kot vezni sloj nanela polimerna disperzija KEMALATEX v kombinaciji s cementom v razmerju 1:2. Mešanica veznega sloja je bila nanesena na vlažno in hrapavo površino z valjčkom, neposredno pred vgradnjo preplastitve (slika 12).



Slika 12: Nanašanje veznega sloja

Na vezni sloj je bila pri sanaciji vertikalnih površin vgrajena mešanica BETONPROTEKT RT. Priporočilo za vgradnjo grobe sanacijske malte je nanos v debelini od najmanj 5 do največ 40 mm za en sloj. Na mestih, kjer so bile poškodbe površine globlje, je zato izravnava potekala v več slojih. Podobno je izravnava površine potekala na horizontalnih površinah, kjer je bila za zapolnitev poškodovanih mest uporabljena mešanica BETONPROTEKT RP, katera je zaradi dodanih superplastifikatorjev bolj primerna in lažja za vgradnjo v talne površine. Na mestih globljih poškodb je zapolnitev prav tako potekala v več slojih. Pri nanašanju grobe sanacijske malte je bilo med nadzorom opaženo, da so betonske stene v območju stika s talno ploščo precej vlažne, prav tako pa so bila vidna vlažna lokalna mesta na talni plošči. Kljub temu so bila dela izvedena v celoti, tudi na potencialno problematična območja.



Slika 13: Nanašanje grobe sanacijske malte na talne (levo) in stenske površine (desno)

Dela so se izvajala v jasnem in sončnem vremenu. Površine so po obdelavi bile izpostavljene neposrednemu pripekanju sonca, zato obstaja možnost, da se je vezni sloj pred nanosom sanacijske malte preveč posušil in zato mestoma deloval kot ločilni sloj. Izvajalec je sveže sanirane stenske površine zaščitil z folijo, talne površine pa z omočenim filcem. Za obrizg izravnanih površin s sredstvi za negovanje sveže betonske malte se ni odločil, kajti površina se je potem še nadgrajevala z zaključnim zaščitnim slojem. Za izravnalni masi BETONPROTEKT RT in BETONPROTEKT RP je značilno, da med procesom sušenja pride do krčenja in se zato pojavijo mikrorazpoke na površini. Na spodnji sliki (slika 14) so vidne razpoke, ki so relativno široke in so posledica prehitrega sušenja nanesenega materiala.



Slika 14: Nastanek razpok na grobi sanacijski malti zaradi prehitrega sušenja



#### 4.2.5 Nanos zaščitnega zaključnega sloja

Za doseganje čim bolj zaprte površinske strukture obnovljenega zaščitnega sloja betona in estetskega videza površine se grobe sanacijske malte običajno preplastijo še s finimi maltami, v debelini nekaj milimetrov. Prav tako kot grobe malte, morajo biti tudi fine sanacijske malte kompatibilne s podlago in predhodno nanesenimi maltami, tako glede mehanskih, kot tudi ostalih lastnosti. Najboljši rezultati se tudi tukaj dosegajo z predhodno pripravljenimi suhimi mešanicami. Poleg tega pa s svojo tiksotropno konsistenco omogočajo enostaven ročni in/ali strojni nanos tudi na vertikalne in stropne površine. Površinska obnova vidnih AB konstrukcij se z nanosom fine sanacijske malte ponavadi konča. Za objekte, ki niso izpostavljeni posebno agresivnim okoljskim vplivom je to zadosten obnovitveni poseg. Objekte za katere pa obstaja nevarnost, da bi atmosferski vplivi lahko poškodovali sanirane površine, pa lahko dodatno zaščitimo z različnimi preplastitvami ali premazi (Nedog, 2006).

Zaščitni in hkrati tudi zaključni sloj betonske konstrukcije na izpustnem kanalu Šmartinskega jezera je bil izveden z fino maso za zaključno izravnavo in protikorozijsko zaščito BETONPROTEKT F. Z veznim slojem KEMACRYL:VODA – 1:1 je bila z valjčki in čopiči premazana površina betona, kjer ni bilo nanesene grobe sanacijske malte. S tem so bili doseženi pogoji za dobro sprijemnost fine malte na površino konstrukcije. Pred površinskim nanosom in glajenjem, so se z maso BETONPROTEKT F zapolnile tudi luknjice, segregacijska gnezda in stabilne razpoke v površini. Masa BETONPROTEKT F se je nanašala na vezni sloj ročno in sicer v 2 delovnih postopkih: 1-krat nanos s čopičem in 1-krat s kovinsko gladilko po sistemu "sveže na sveže". Na površinah, izravnanih z grobo betonsko malto se je pred zaključno obdelavo površina le predhodno navlažila z vodo.



Slika 15: Nanašanje fine sanacijske malte z čopičem (levo) in kovinsko gladilko (desno)

#### 4.2.6 Nega sveže betonske površine

Kljub uporabi že pripravljenih suhih mešanic kakovostnih sanacijskih malt, ki se na gradbišču mešajo samo z vodo ali v vodi dispergiranim polimerom, je ustrezna nega obnovljenih površin nujno potrebna. Sveže nanesene površine moramo obvezno zaščititi pred direktnimi sončnimi žarki in vetrom. Za te namene se lahko uporablja folija, s katero se sveže površine osenčijo in jih postavijo v zavetje. Boljši način zaščite je prekrivanje površin z omočenim filcem, katerega se položi neposredno na negovano površino. V kolikor oblika ali dimenzije konstrukcije tega ne dopuščajo, se lahko izvedejo premazi ali obrizgi s sredstvi za negovanje betonskih površin, na parafinski, raztopinski ali biološko razgradljivi osnovi.

Sveže nanesene in obdelane površine izpustnega objekta so bile med časom sanacije negovane na različne načine. Talne površine so bile pred prehitro izsušitvijo povečini zaščitene z omočenim filcem, medtem ko je izvajalec navpične površine pred soncem in vetrom zaščitil z folijo. Pri negovanju sveže sanacijske malte je bila uporabljena tudi metoda obrizga oziroma škropljenja z gotovo pripravljeno in negi sveže betonske površine namenjeno raztopino KEMACURE EKO. Raztopina je okolju prijazna in svežo površino ščiti pred površinsko izsušitvijo in nastankom razpok. S škropljenjem na sveži površini ustvarimo tanek film, ki pa ne zmanjšuje lepljivosti in oprijema nadaljnjih premazov.

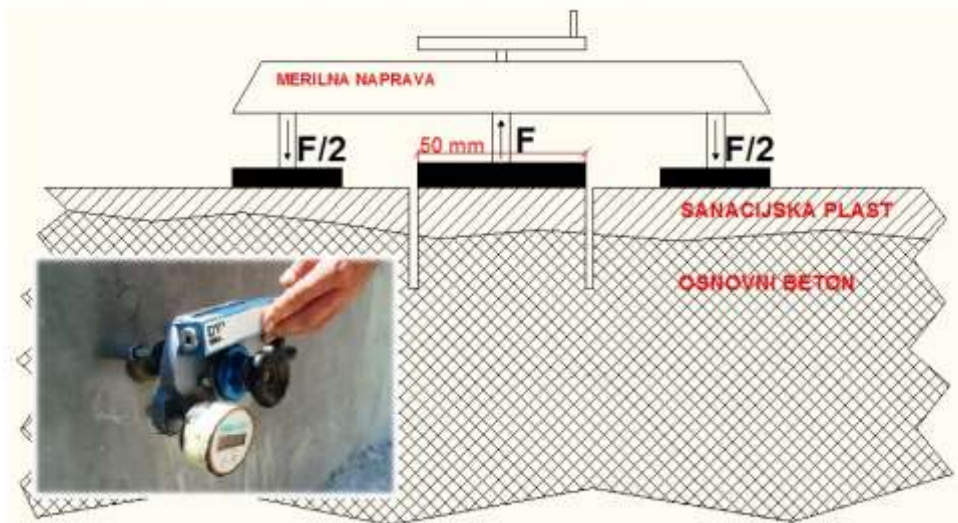


Slika 16: Zaščita svežega nanosa pred prehitrim izsuševanjem z PVC folijo

#### 4.2.7 Rezultati preiskav sprijemnosti sanacijske malte z betonsko površino

Kot pri vsakem gradbenem delu je tudi pri sanacijah potreben in zaželen nadzor kakovosti izvedenih del. Nadzor sanacije AB konstrukcije je na tej konstrukciji izvajalo podjetje NAVOR d.o.o. iz Celja. Po končanju del za sanacijo in zaščito betona na objektu izpustnega kanal Šmartinsko jezero večkrat izvedena meritev pull-off. Meritve je izvedlo podjetje KEMA d.o.o., ob prisotnosti predstavnikov izvajalca in nadzora.

Pri teh meritvah gre za standardiziran postopek z lokalno destrukcijo betona. Meritve so bile opravljene z ročno merilno napravo Proceq DYNA Z16 (Haftprüfer Pull-off tester), v skladu s določili standarda SIST EN 1542:2000 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Preizkusne metode – Merjenje odtržne trdnosti. Na mestu opravljanja meritev se je s kronskim svedrom premera  $\Phi 50$  pripravilo merilna mesta v globino osnovne betonske (originalne) podlage cca. 5 mm. Po opravljenem vrtanju je bilo merilno mesto očiščeno prahu in morebitnih drugih ostankov vrtanja. Na ta merilna mesta so se nato s pomočjo hitro vezočega dvokomponentnega epoksidnega lepila pritrdili kovinski diski  $\Phi 50$ . Po lepljenju se je nato lepilo strjevalo približno 1 uro (Muravljov, 2008).



Slika 17: Shema in slika merilne naprave za natezno preizkušanje betona

Sama meritev poteka tako, da se na pritrjen kovinski disk pritrdi merilni aparat, katerega se potem lepo poravna s površino. Pri meritvah je bil uporabljen ročni merilnik, pri katerem se sila povečuje z obrati ročice (hitrost naraščanja sile je določena z 1 obratom ročice na sekundo). Sila se potem povečuje toliko časa, dokler ne pride do porušitve vzorca, pri tem pa se odčita največja dosežena vrednost. Na podlagi izmerjene natezne sile in znane površine merjenja se dobi natezna ali t.i. adhezijska trdnost, ki nam pove ali je bila sanacija uspešna. Sam preizkušanelec pa pokaže, na kateri globini je prišlo do porušitve (Muravljov, 2008).

#### 4.2.7.1 Vertikalne površine

Na vertikalnih površinah so se meritve izvedle že cca. 14 dni po končanju del.

- Starost preplastitve: cca. 14 dni
- Število vzorcev: 5 (poljubna mesta)
- Temperatura zraka: 27°C
- Čas lepljenja diskov: 9:40 h
- Čas izvedbe meritev: 10:30 h

Št. meritve	Opis mesta merilne točke	Natezna trdnost [MPa]	Mesto porušitve
1	Steber na sredini izpustnega kanala	0,78	V obstoječi podlagi (beton)
2	Steber ob jezeru v stiku z steno kanala	1,58	Na stiku obstoječi beton – preplastitev
3	Stena izpustnega kanala (poševni del)	1,73	V grobi sanacijski malti BETONPROTEKT RT
4	Stena (poševni del), nekoliko nižje po kanalu	1,99	V grobi sanacijski malti BETONPROTEKT RT
5	Stena (ravni del) pri talni površini	1,52	Na stiku obstoječi beton – preplastitev
	Srednja vrednost meritev (n=5)	<b>1,52</b>	
	Srednja vrednost po ovrednotenju odstopanj (n=3)	<b>1,76</b>	

Če ne bi upoštevali vrednosti 1. meritve, kjer je prišlo do porušitve obstoječi podlagi (znotraj betona), znaša povprečje najboljših treh meritev ~ 1,76 N/mm<sup>2</sup>. Iz meritve št. 3 in 4 je lepo vidno, da obstoječi beton dopušča dober oprijem. Meritve so bile izvedene cca. 14 dni po koncu izvajanja del, kar pomeni, da dosega material v tem času približno 80% končne trdnosti in da bodo končne vrednosti (po 28 dneh) v celoti dosegle vrednost zahtevanega oprijema 1,5 N/mm<sup>2</sup>, kar je bilo v večini doseženo že po dveh tednih. Iz odtrganih valjev je vidna tudi debelina nanosa posameznih slojev. Debelina zaključne fine izravnalne malte (Betonprotekt F) je od 1 do 3 mm, medtem ko je sloj grobe malte (Betonprotekt RT) debel od 5 do 8 mm. S tem je zadoščeno tudi priporočilom o debelini posameznega nanosa.

Iz rezultatov pull-off preiskav za vertikalne in poševne površine lahko zaključim, da so bile te površine obdelane kvalitetno ter v skladu z navodili sanacije. Preiskava pa na žalost daje le točkovne rezultate. Torej tudi če je bilo z meritvami ugotovljeno, da je zahtevana vrednost oprijema ( $1,5 \text{ N/mm}^2$ ) dosežena, se lahko kljub temu lokalno pojavljajo območja, kjer je sprijemna trdnost sanacijskega materiala in podlage prenizka. Tudi danes (6 let po sanaciji) so vertikalne površine izpustnega kanala še vedno v solidnem stanju, a so lokalno vidne razpoke, predvsem na mestih, kjer bi zaradi dimenzij same konstrukcije morale biti umeščene dilatacije.

#### 4.2.7.2 Talne površine

Talne površine so pri sanaciji povzročale večje težave. Zaradi precej slabega stanja talne AB plošče, kjer je bila površina betona veliko bolj načeta, je bilo za pričakovati tudi nekoliko slabše rezultate pull-off testov. Meritve na talnih površinah so bile opravljene 2-krat, na različnih mestih in ob različni starosti preplastitve.

##### 1.) Merilna mesta za površini objekta pri zapornicah

- Starost preplastitve: cca. 28 dni
- Število vzorcev: 5 (poljuba mesta)
- Temperatura zraka:  $29^\circ\text{C}$
- Čas lepljenja diskov: 10:10 h
- Čas izvedbe meritev: 11:00 h

Št. meritve	Opis mesta merilne točke	Natezna trdnost [MPa]	Mesto porušitve
1	Levo polje (na strani jezera)	0,44	Na lepljenem stiku med kovinskim diskom in podlago
2	Stik levega in desnega polja (različni čas izravnave)	0,25	Na stiku med grobo in fino sanacijsko malto
3	Desno polje (ob brežini)	0,27	Na stiku med grobo sanacijsko malto in veznim slojem
4	Levo polje (ob jezeru) 3m nižje od točke 1	0,52	Na stiku med grobo sanacijsko malto in veznim slojem
5	Desno polje (ob brežini) 6m nižje od točke 3	0,42	Na stiku med grobo in fino sanacijsko malto
	Srednja vrednost meritev (n=5)	<b>0,38</b>	
	Srednja vrednost po ovrednotenju odstopanj (n=3)	<b>0,46</b>	

Iz rezultatov na merilnih točkah 2 in 3 je še posebej vidno, da postopek sanacije ni bil izveden v skladu z navodili. Med nanosom veznega sloja in preplastitvijo tega z zaključno sanacijsko malto je najverjetneje preteklo preveč časa, zato je vezni sloj deloval kot ločilni sloj. Meritve so bile izvedene cca. 28 dni po končanju del, kar pomeni, da bi materiali morali dosegati končno trdnost. Ugotovitev o neustrezni funkciji veznega sloja potrjujejo tudi rezultati pull-off testov, saj je, z izjemo 1. merilne točke, povsod prišlo do porušitve na mestu med sloji sanacijskih malt. Sprijemnost med osnovno betonsko površino in grobo sanacijsko malto pa je boljša kot tista na stiku med grobo in fino sanacijsko malto, s čimer smo lahko zadovoljni. Glede na različno stanje podlage (močno poškodovana in načeta obstoječa AB plošča z malo veziva na zgornji površini, velike globinske poškodbe in razpoke) in zahtevnimi pogoji izvedbe (izredno visoke temperature zraka do 37°C, čeprav je bila izvajana sprotna nega saniranih površin) je bilo pričakovati večji raztros rezultatov in porušitve v različnih slojih.

## 2.) Merilna mesta za površini objekta v sredini (40 m nižje od zapornic)

- Starost preplastitve: cca. 3 mesece
- Število vzorcev: 5 (poljubna mesta)
- Temperatura zraka: 13°C
- Čas lepljenja diskov: 12:20 h
- Čas izvedbe meritev: 13:30 h

Št. meritve	Opis mesta merilne točke	Natezna trdnost [MPa]	Mesto porušitve
1	Levo polje (ob jezeru)	0,33	Na stiku med osnovno AB podlago in veznim slojem (v osnovni plošči)
2	Levo polje (ob jezeru) 4m nižje od točke 1	0,77	Na stiku med osnovno AB podlago in veznim slojem (v osnovni plošči)
3	Desno polje (ob brežini)	1,05	Na stiku med osnovno AB podlago in veznim slojem (v osnovni plošči)
4	Desno polje (ob brežini) 3m višje od točke 3	0,28	Na lepljenem stiku med kovinskim diskom in podlago- vlažna podlaga
5	Stik levega in desnega polja (različni čas izravnave)	0,36	Na stiku med osnovno AB podlago in veznim slojem (v osnovni plošči)
	Srednja vrednost meritev (n=5)	<b>0,56</b>	
	Srednja vrednost po ovrednotenju odstopanj (n=3)	<b>0,72</b>	

Ob meritvah je bilo opaženo, da je talna plošča močno prepojena z vodo. Material bi v času meritev že moral doseči končno trdnost. Če se iz rezultatov opravljenih meritev izloči 4. meritev (porušitev v lepilu za pritrjevanje kovinskega merilnega diska), se vidi, da je do porušitev prišlo v osnovni AB plošči oziroma na stiku veznega sloja Kemalatex:cement – 1:2 in AB osnovne plošče, kjer je večji del odtrgan iz osnovne plošče. Takšne porušitve so posledica slabega stanja osnovne AB plošče. Iz odtrganih valjev je vidna debelina nanosov odtrganega materiala, kjer je med 1 in 2 mm fine malte, medtem ko je groba nanosena v slojih od 10 do 30 mm. Glede na temperaturne pogoje, pri katerih je bilo delo izvedeno (temperatura zraka tudi do 37°C), je tudi pri teh meritvah bila pričakovana razpršenost rezultatov. Na sanirani površini je vidno ogromno tankih razpok, kar je verjetno posledica pritiskov zaledne vode iz tal. Večje razpoke so vidne na tistih mestih, kjer je bila talna plošča razpokana že pred sanacijo, tako da so se razpoke le preslikale skozi sanacijske materiale. Vidi se, kako voda "mezi" iz tal na mestih razpok, predvsem pa na mestu stika AB stene in talne plošče.

## 5 NAPAKE PRI SANACIJI IN PREDLOG BOLJŠEGA POSTOPKA

### 5.1 Zaledna voda

V letih po izgradnji se je izkazalo, da način gradnje z enostranskim opažem, kjer je druga stran stene neposredno naslonjena na brežino, ni bil najboljši. AB elementi so zato ostali brez hidroizolacije in tako že od samega začetka dobro prepojeni z vodo. Zaledna voda, ki z veliko močjo pritiska na stene konstrukcije, je naredila veliko škode. Sprva je vdrla v mikrorazpoke, ki so se ob zamrzovalnih ciklih vedno bolj večale. To je oslabilo strukturo betona, ki je postajal vse bolj ranljiv. Voda je iz razpok mezela tudi ob dolgotrajnih sušnih obdobjih.



Slika 18: Zaledna voda prihaja na površje skozi razpoke na betonski površini

Prvo veliko napako je izvajalec pri sanaciji storil s tem, da je razpoke le premazal z slojem sanacijske malte. Med časom gradnje ta napaka ni prišla na dan, a se je že v prvih letih po sanaciji pokazala. Točno na mestih, kjer so bile stenske ali talne razpoke le premazane z sanacijske malto, je že po krajšem časovnem obdobju spet razpokalo. Zaradi okoliškega terena se zaledne vode ni bilo mogoče znebiti. Zato tudi sprijemnost sanacijske malte z osnovno AB površino na mestih, kjer je iz površine prihajala voda (oz. vlaga), ni bila takšna, kot na "suhih" mestih. Sprijemnost bi se lahko izboljšala, če bi vsaj med časom sanacije zmanjšali pritisk zaledne vode na konstrukcijo. To bi lahko storili z vrtinami, ki bi jih izvrtali skozi stene armiranega betona. Skozi te luknje bi nato voda prosto odtekala, pritisk na samo konstrukcijo bi bil pa zmanjšan. S tem bi manj zaledne vode prehajalo skozi stene, s čimer bi dosegli boljše stanje podlage s sanacijo.



## 5.2 Neupoštevanje dilatacij

AB kanal, zgrajen leta 1970, je ob neizvedeni hidroizolaciji imel še eno zelo veliko pomanjkljivost. Dilatacije na stenah so bile narejene na preveliki razdalji, zato je s časom, zaradi teže konstrukcije in zemeljskih pritiskov prihajalo do pomikov, ki so povzročili razpoke na stenah. Če bi bile dilatacije izvedene dovolj gosto, do razpokanja armiranega betona najverjetneje ne bi prišlo. Vzdrževanje objekta je bilo slabo, kar je pomenilo tudi, da dilatacije niso bile ustrezno kontrolirane. Dilatacijske žlebove je sčasoma, namesto ustreznega elastičnega polnila, ki bi preprečilo vnos vode in drugih umazanij, zapolnila zemlja. Tam so sčasoma začele rasti tudi rastline, ki so z močjo korenin in dobro sposobnostjo zadrževanja vode ob zamrzovalnih ciklih povzročale še dodatno krušenje in luščenje površine kanala.

Med sanacijo se je na dilatacijske fuge pozabilo. Izvajalec jih je le premazal z sanacisjko malto. Ta napaka se je seveda hitro pokazala, tako, da je sanirana površina razpokala točno na mestih dilatacij. Tako dilatacijske žlebove kot tudi večje razpoke, ki so na konstrukciji nastale zaradi pomikov, bi bilo potrebno dobro očistiti (z visokotlačnim peskanjem) in jih s kotno brusilko še nekoliko izžlebiti, da bi se odstranili vsi slabo vezani delci in nečistoče. Na koncu bi žlebove zapolnili s trajno elastičnim kitom (npr. Kemaflex MS). Elastično polnilo bi preprečilo nastanek razpok na teh mestih.

Druga možnost za popravilo dilatacij in razpok bi bila vgradnja tesnilnih trakov, ki so namenjeni premoščanju dilatacij, razpok in delovnih stikov. Ti bi omogočili, da nova površina ne bi razpokala, a je vprašanje, če bi z njihovo vgradnjo dobili želeno stanje.



Slika 19: Razpoke na sanirani površini na mestih, kjer bi morale biti dilatacije

### **5.3 Problem talne plošče**

Že ob temeljitem pregledu stanja površine izpustnega kanala je bilo ugotovljeno, da je AB talna plošča v zelo slabem stanju. Predlog, da se celotna talna plošča preplasti z novim klasično armiranim cca. 15-20 cm debelim slojem betona, ni bil sprejet. Glede na pull-off meritve je bila sanacija prav na talni površini objekta najmanj uspešna. Na sanirani površini so vidne številne razpoke, iz katerih meži voda. Ob obisku objekta 12. maja 2014 sem opazil, da se pod plastjo sanacijske malte nabira voda. Ob pritisku na to mesto je začela voda uhajati na površje. To pomeni, da se je sanacijska malta zelo slabo sprijela z originalno betonsko podlago, vmes je prišla voda, ki je prodrla skozi razpoke bodisi od zgoraj (padavine) ali kot zaledna voda pod pritiskom skozi strukturo betona od spodaj.

### **5.4 Predlog rešitve**

Glede na slabo stanje podlage in okoljske pogoje (vpliv talne vode) je bil po mojem mnenju pristop k sanaciji napačen. Pokazatelj tega je stanje konstrukcije 1 (oz. 6) let po sanaciji. Sanacija se je pokazala za stodontno uspešno le na betonski konstrukciji, ki nosi zapornice na začetku kanala. Za učinkovitejšo in trajnejšo sanacijo ostalega dela izpustnega kanala bi predlagal sledeč postopek:

#### **5.4.1 Priprava podlage in zaščita obstoječe armature**

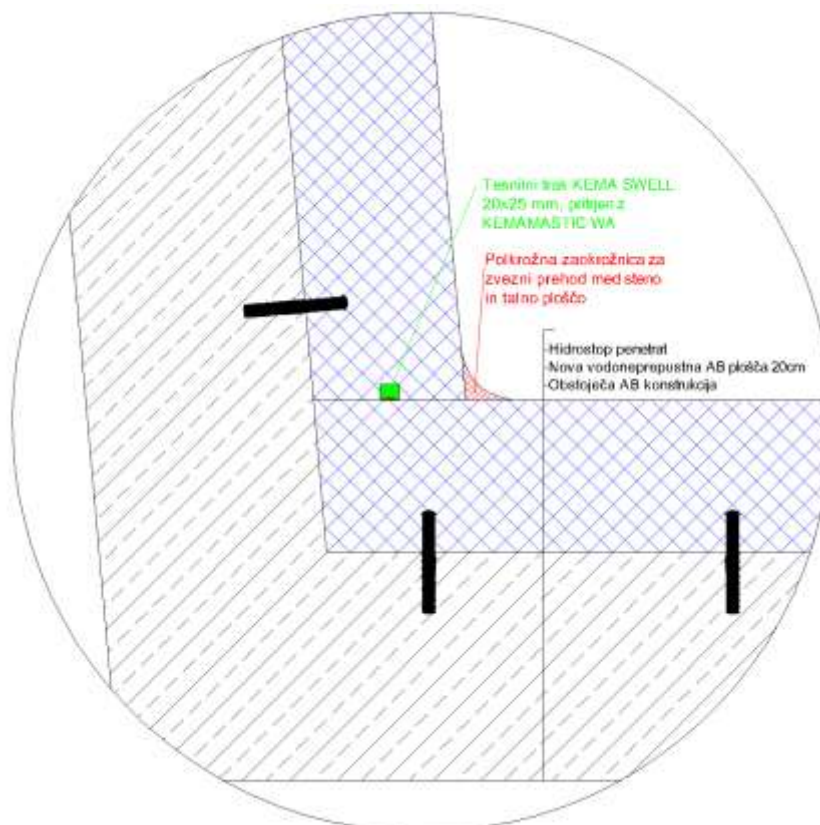
Podlaga naj se pripravi tako, kot se je pri pretekli sanaciji. Površina se mora očistiti vseh slabo vezanih delcev. To se opravi najprej ročno, s pnevmatskim kladivom, nato se zaključi strojno, s čiščenjem površine z vodnim curkom pod velikim pritiskom, kateremu je dodan kremenov pesek, ki še poveča učinek.

Potem je potrebno pregledati armaturo. Odstraniti je treba ves zrahljan beton v okolici armature, ter vidne armaturne palice očistiti do kovinskega sijaja. Tako pripravljeno armaturo se nato zaščiti z antikorozijsko polimer-cementno maso BETONPROTEKT K2.

#### 5.4.2 Preplastitev talne plošče in sten z vodotesno AB ploščo

Že po pregledu stanja površine izpustnega kanala je podjetje Kema Puconci d.o.o. predlagalo posebno rešitev za sanacijo talne plošče. Talna plošča bi morala biti, glede na videno stanje, preplastena z novo cca. 20-25 cm debelo plastjo klasično armiranega vodo neprepustnega betona.

Najprej se naredi preplastitev talne plošče. V očiščeno in ustrezno pripravljeno podlago se vgradijo mozniki, ki služijo kot povezava med staro in novo AB ploščo ter preprečujejo zdrs in pomike med njima. Mozniki se vstavijo v prehodno izvrtane luknje in se fiksirajo s poliuretansko smolo, ki ob stiku z vodo nabrekne in se s tem dobro zasidra. Na tako pripravljeno površino se zabetonira klasično armirana plošča iz vodotesnega betona z dodatkom superplastifikatorja, ki omogoča kvalitetnejšo vgradnjo in na koncu tudi ugodnejšo strukturo betona glede vodovpojnosti. Na robovih talne plošče (pri steni) se med betoniranjem vgradijo tesnilni trakovi (npr. KEMA SWELL), kateri se namestijo na polovici širine stenske plošče. Tesnilni trak se vgradi na predhodno nanesen tesnilni kit (npr. KEMA MASTIC WA). Ta tesnilna materiala sta zasnovana tako, da ob stiku z vodo nabrekmeta in tako popolnoma zatesnita stik med novo talno in novo stensko AB ploščo



Slika 20: Detajl izvedbe stika med novo AB talno ploščo in steno

### **KEMA SWELL** (*hidrofobni nabrekajoči trak za tesnjenje na osnovi bentonita*)

KEMA SWELL je fleksibilen trak za tesnjenje na osnovi bentonita in sintetičnega kavčuka, ki nabrekne v vodi. Trajno aktiven sistem, v stiku z vodo naraste na do 400 % lastnega volumna v suhem stanju. Nabrekla masa bentonita zapolni razpoke in kapilare v betonu, ki nastanejo zaradi krčenja betona v stikih. Uporablja se za tesnjenje delovnih stikov in na mestih med stikovanimi elementi. Tesni do cca. 10 barov, in ohranja funkcionalnost skozi celotno življenjsko dobo gradbenega objekta (bentonit je naraven material) (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).



Slika 21: Nabrekajoči tesnilni trak

### **KEMA MASTIC WA** (*v vodi nabrekajoči tesnilni kit za mokra področja*)

KEMA MASTIC WA je eno-komponenten, elastičen, poliuretanski kit, ki nabrekne v vodi in se strjuje ter nabreka ob prisotnosti vlage. V stiku z vodo se mu volumen poveča do približno 200 % prvotnega volumna. Namenjen je za tesnjenje hrapavih in gladkih delovnih stikov in prebojev cevi na mokrih področjih. Primeren je za uporabo na betonu, PVC in HDPE površinah, kovini itd. (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).

Podoben postopek se izvede pri stenah izpustnega kanala. Ko je podlaga hidroizolirana in opremljena z vgrajenimi mozniki, se naredi enostranski opaž (druga stran opaža je stena obstoječe podlage). Med delom je treba paziti, da se ne poškodujejo tesnilni trakovi, ki so vgrajeni na novi plasti talne plošče. Za betoniranje se uporabi enak vodotesen beton z dodanim superplastifikatorjem, kot pri talni plošči. Ta beton je treba dobro zgostiti z vibriranjem, da v njegovi strukturi ostane čim manj zajetih zračnih mehurčkov, ki bi lahko povečali vpijanje vode.



Slika 22: Prikaz uporabe nabrekajočega tesnilnega traku v kombinaciji z nabrekajočim tesnilnim kitom

### 5.4.3 Površinska zaščita konstrukcije

Novo zabetonirano površino se nato neguje 28 dni. Površino se zaščiti z pripravkom KEMACURE EKO, ki se ga na svežo površino nanese z pršenjem. S tem ustvarimo na podlagi tanek film, ki površino ščiti pred površinsko izsušitvijo in nastankom razpok zaradi plastičnega krčenja.

Ko je površina betona suha oz. po cca. 28 dneh od izvedbe betoniranja AB stene, se talna površina in vse stene premažejo še z vodotesnim premazom HIDROSTOP PENETRAT, ki ima veliko sposobnost prodiranja v podlago. Predhodno se obdelajo še stiki stena - tla, kjer se izdelata polkrožen prehod med steno in tlemi v radiju 5-8 cm, ki omogoča bolj optimalno delovanje premaza. Material prodre 3-5 mm v notranjost strukture betona ter s tem površino zapre in prepreči prodiranje vode v notranjost betona. S tem je nova konstrukcija površinsko zaščiten in pripravljena na uporabo.

#### **HIDROSTOP PENETRAT** (*vodotesna penetracijska masa*)

HIDROSTAT PENETRAT je suha, industrijsko pripravljena mešanica na osnovi cementa, točno določene granulacijske sestave kremenovih peskov ter specialnih penetrirajočih kristalizacijskih dodatkov. Pri pripravi ji dodamo le vodo. Ima dvojno delovanje: • Kapilarno - aktivni kemijski dodatki prodrejo globoko v pore materiala, tam tvorijo netopne kristale in s tem zatesnijo pore in kapilare pred vdirajočo vodo in drugimi tekočinami. • Barierno - s tvorbo trdnega, za vodo neprepustnega izolirnega sloja na površini gradbenega materiala. Vodotesna penetracijska masa HIDROSTOP PENETRAT zaradi svojega načina delovanja zagotavlja najučinkovitejšo trajno zatesnitev betonskih površin pred vdorom vode. Masa je odporna tako na pozitivni (min. 3 bar) kot negativni vodni pritisk (min. 2 bar) ter zagotavlja vodotesno zaščito objektov pred vlago, podtalnico in vodo pod pritiskom. Maso se nanaša z čopičem, in sicer po dva nanosa debeline cca. 2 mm (vir: [www.kema.si](http://www.kema.si)).

## 6 ZAKLJUČEK

Težava v večini primerov sanacij je, da dejanskega stanja v notranjosti materiala ne poznamo. Sicer lahko danes z kompleksnejšimi preiskavami precej natančno ugotovimo, kaj je z strukturo materiala narobe, vendar so te preiskave ponavadi izven cenovnega okvirja investitorja. V primeru sanacije AB konstrukcije izpustnega kanala Šmartinsko jezero se je izkazalo, da le osnovne preiskave (pregled konstrukcije na terenu) niso dovolj za diagnosticiranje problema. V tem primeru se je pojavil tudi problem neupoštevanja strokovnega mnenja, ko izvajalec ni upošteval predloga glede sanacije talne plošče. Prav pri talni plošči se je po končani sanaciji izkazalo, da je izvajalec izbral napačno metodo. Res je, da so bili pogoji dela zelo zahtevni (prisojna lega in visoka temperatura), vendar bi v tem primeru moral izvajalec še več pozornosti nameniti zaščiti sveže nanesenega materiala. Investitor je sicer s končnim stanjem sanacije na objektu zadovoljen, a sem prepričan, da bi lahko sanacija s približno enakimi denarnimi sredstvi bila bistveno uspešnejša.

Vse več problemov se danes pojavlja tudi pri novih konstrukcijah, pri katerih pogosto pride do težko popravljivih napak, kajti zaradi močne konkurence in krize izvajalci velikokrat delajo "pod ceno" in v rokih, v katerih je objekt zelo težko dokončati, če se upošteva zahteve veljavnih standardih in načela dobre prakse. Najnižja cena je na žalost danes velikokrat edini kriterij pri izbiri izvajalca. V večini primerov se čez čas izkaže, da je spremljevalec nizke cene in hitenja pri delu tudi kvaliteta opravljenega dela. Zato se velikokrat zgodi, da je treba tudi nove objekte sanirati. In če želimo da je sanacija uspešna, je treba sprejeti tudi njeno ceno. Tako nas "cenejša" gradnja in posledično tudi morebitna sanacija stane veliko več, kot če bi gradili dosledno, upoštevali navodila za uporabo materialov na tehničnih listih, ter upoštevali star pregovor, ki pravi: dvakrat premisli, enkrat naredi.

Ta stran je namenoma prazna.

## VIRI

Andrejka, A. 2011. Učinkovitost izvedbe sanacij premostitvenih AB objektov pod prometno obremenitvijo.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program Gradbeništvo.

Čož, N. 2013. Okvirna ocena posledic porušitve štirih slovenskih zemeljskih pregrad.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program Gradbeništvo.

Gerbec, B. Proučevanje korozijske odpornosti betonov. Tehnološki center ZRMK inštitut.

<http://www.gi-zrmk.si/images/TC/4%20%C4%8Dlanek.pdf> (Pridobljeno 25. 05. 2014.)

Gerbec, B. 2006. Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij. Konferenca "vzdrževanje, zaščita in popravila betonskih konstrukcij". Zbornik referatov. Lipica, 9.-10. marec 2006. Ljubljana, ZBS: str. 122-129.

Grum, B. 2004. Sanacije betonskih objektov. Ljubljana, i2: str. 56-58.

Leskovar, I. 2003. Napake pri projektiranju sanacij betonskih konstrukcij. 10. Slovenski kolokvij o betonih. Zbornik gradiv in referatov. Ljubljana, 22. maj 2003. Ljubljana, IRMA: str. 19-21.

Leskovar, I. 2010. Problematika izvajanja obnove betonskih in armiranobetonskih objektov v Sloveniji. 17. Slovenski kolokvij o betonih. Zbornik gradiv in referatov. Ljubljana, 19. maj 2010. Ljubljana, IRMA: str. 1-4.

Leskovar, I. 2013. Vzroki propadanja novih betonskih konstrukcij. 20. Slovenski kolokvij o betonih. Zbornik gradiv in referatov. Ljubljana, 15. maj 2013. Ljubljana, IRMA: str. 27-31.

Muravljov, M. 2008. Osnovi teorije i tehnologije betona (IV izdanje): str. 223-224

Nedog, A. 2006. Sistemske rešitve za popravila in zaščito AB konstrukcij v visoki gradnji.. Konferenca "vzdrževanje, zaščita in popravila betonskih konstrukcij". Zbornik referatov. Lipica, 9.-10. marec 2006. Ljubljana, ZBS: str. 164-172.

Slovenski nacionalni komite za velike pregrade.

<http://www.slocold.si/galerija/loce/loce.htm> (Pridobljeno 10. 06. 2014.)

Zajc, A. in Žnidarič, J. 2010. Strategija in pristop k projektiranju zaščite in popravil betonskih konstrukcij – predstavitev standarda SIST EN 1504-9. 17. Slovenski kolokvij o betonih. Zbornik gradiv in referatov. Ljubljana, 19. maj 2010. Ljubljana, IRMA: str. 11-20.

Zupančič, A. in Kovač, N. 2009. Umetni zadrževalniki voda na porečju Savinje in Sotle – Problemi upravljanja in investicijskega vzdrževanja. Stanje, vzdrževanje in obratovanje grajenih hidrosistemov – Mišičev vodarski dan 2009. Maribor, 26. november 2009: str. 40-41.



### **Tehnični listi proizvodov:**

Tehnični list BETONPROTEKT K2 – Zaščita armature in vezni sloj

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/proizvodi-za-sanacijo-in-zascito-betona/15846> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list BETONPROTEKT RP – Mikroarmirana reparaturna malta SIST EN 1504-3: PCC malta za konstrukcijska popravila, razred R2 (R4 pogojno).

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/proizvodi-za-sanacijo-in-zascito-betona/99> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list BETONPROTEKT RT – Mikroarmirana tiksotropna reparaturna malta SIST EN 1504-3: PCC malta za konstrukcijska popravila, razred R 4.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/proizvodi-za-sanacijo-in-zascito-betona/98> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list BETONPROTEKT F – Fina masa za izravnavo in protikorozijsko zaščito betonskih površin, SIST EN 1504-2: PCC zaščitni premaz za beton.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/proizvodi-za-sanacijo-in-zascito-betona/97> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list KEMACRYL – Polimerna disperzija-vezni sloj "staro - novo", poboljšanje cementnih malt in impregnacija močno vpojnih mineralnih površin.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/proizvodi-za-sanacijo-in-zascito-betona/60> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list KEMALATEX – Polimerna disperzija za vezni most (staro-novo) pri preplastitvah površin starega betona.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/proizvodi-za-sanacijo-in-zascito-betona/151> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list KEMACURE EKO – Tekoče sredstvo za nego svežega betona.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/dodatki-betonu-in-cementni-malti/80> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list KEMA SWELL – Hidrofilni nabrekajoči trak za tesnjenje na osnovi bentonita.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/tesnilni-trakovi/15840>  
(Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list KEMA MASTIC WA – V vodi nabrekajoči tesnilni kit za mokra področja.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/tesnilni-trakovi/15842>  
(Pridobljeno 12. 06. 2014.)

Tehnični list HIDROSTOP PENETRAT – Vodotesna penetracijska masa.

<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/vodotesne-mase-in-hitrovezne-malte/106> (Pridobljeno 12. 06. 2014.)

### **Standardi:**

SIST EN 1542:2000 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Preizkusne metode – Merjenje odtržne trdnosti.

SIST EN 1504 – 1: 2005 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 1.del: Definicije.

SIST EN 1504 – 2: 2004 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 2.del: Sistemi za zaščito površine betona.

SIST EN 1504 – 3: 2006 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 3.del: Konstrukcijska in nekonstrukcijska popravila.

SIST EN 1504 – 7: 2006 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 7.del: Zaščita armature proti koroziji.

SIST EN 1504 – 8: 2005 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 8.del: Kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti.

SIST EN 1504 – 9: 2008 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 9.del: Splošna načela za uporabo proizvodov in sistemov.

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

SIST EN 206:2013 – Beton, lastnosti, proizvodnja in skladnost

SIST EN 1026:2008 – Beton - 1. del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206-1