

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidat:

Anže Andrejka

Učinkovitost izvedbe sanacij premostitvenih ab objektov pod prometno obremenitvijo

Diplomska naloga št.: 3170

Mentor:

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Somentor:

Andraž Mezgec

Ljubljana, 24. 6. 2011

STRAN ZA POPRAVKE

<u>STRAN Z NAPAKO</u>	<u>VRSTICA Z NAPAKO</u>	<u>NAMESTO</u>	<u>NAJ BO</u>

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Anže Andrejka izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Učinkovitost izvedbe sanacij premostitvenih AB objektov pod prometno obremenitvijo«.

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

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

Ljubljana,

(podpis kandidata)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.7/8:624.012.4(043.2)
Avtor:	Anže Andrejka
Mentor:	izr. prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov
Somentor:	Andraž Mezgec, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Učinkovitost izvedbe sanacij premostitvenih AB objektov pod prometno obremenitvijo
Obseg in oprema:	113 strani, 12 preglednic, 58 slik, 3 enačbe
Ključne besede:	sanacija, Pull-off, odtržna trdnost

Izvleček

Pri sanacijah armiranobetonskih premostitvenih objektov pod prometno obtežbo se izvajalci srečujejo z visokimi zahtevami glede kakovosti izvedbe, ki jih predpisuje naročnik. Ko sanacija poteka na spodnji strani voziščne konstrukcije, preko katere oziroma v bližini katere poteka promet, je še posebej težko doseči ustrezne vrednosti odtržnih trdnosti sanacijskega materiala. V prvem delu diplomske naloge je opisan pojem sanacij armiranobetonskih objektov in predstavljen standard SIST EN 1504, ki pokriva področje sanacij. V drugem, raziskovalnem delu diplomske naloge, je določena odtržna trdnost sanacijskega materiala, ki je apliciran na spodnjo stran betonskih nosilcev, ki so izpostavljeni dinamični obtežbi. Površina betonskih nosilcev, na katere je apliciran sanacijski material, je pripravljena na dva načina, z vodnim curkom pod visokim pritiskom in ročno, z udarno tehniko. Uporabljeni sta dve malti, primerni za sanacijska dela na objektih, izpostavljenih dinamični obtežbi. Opravljeni so tudi preizkusi tlačne in upogibne trdnosti sanacijskih malt, z namenom določiti lastnosti strjenega sanacijskega materiala, če je le ta izpostavljen suhi oziroma mokri negi.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 625.7/8:624.012.4(043.2)

Author: Anže Andrejka

Supervisor: Assoc. Prof. Violeta Bokan Bosiljkov, Ph. D.

Somentor: Andraž Mezgec, B. S. C. E.

Title: Efficiency of RC bridges repair under traffic load

Notes: 113 pages, 12 tables, 58 figures, 3 equations

Key words: repair work, Pull-Off, adhesion strength

Abstract:

When repairing reinforced concrete bridges under traffic load contractors face high quality requirements of executing repairing works as requested by Principal. It is particularly hard to achieve appropriate bond strength of repair material when repair work are executed on underside of pavement with ongoing traffic. The first part of the diploma thesis describes a concept of repair of reinforced concrete structures and presents SIST EN 1504 standard, which covers the area of repair work. In the second, experimental part of the diploma thesis, the results of pull-of tests of repair material are presented and analyzed. Repair material was applied to the underside of concrete beams exposed to dynamic load. Concrete surface of beams, where the repair material was applied, was prepared in two different ways: with high pressure water blasting and with hand impact technique. Two repair mortars were used, both appropriate for repair work under dynamic load. Compression and flexural strength tests were also carried out on prisms prepared from repair mortars, in order to determine properties of hardened material, when it is exposed to dry or wet curing.

ZAHVALA

Za usmerjanje in vso pomoč pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Violeti Bokan Bosiljkov in somentorju Andražu Mezgecu, univ. dipl. inž. grad.

Zahvaljujem se tudi podjetju GRADIS, Gradbeno podjetje Ljubljana, d.o.o. za sodelovanje in pomoč pri eksperimentalnem delu diplomske naloge.

Prav tako gre zahvala Franciju Čeponu, dipl. inž. grad. in celotni katedri za preskušanje materialov in konstrukcij (KPMK), za vso pomoč ter koristne nasvete.

Predvsem pa se najlepše zahvaljujem svoji družini, Neži in Juretu za vso podporo in potrpežljivost tekom vseh let študija. Hvala tudi vsem sošolcem in prijateljem, ki so tako ali drugače prispevali k nastanku tega dela.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TRAJNOST BETONA	3
2.1	Splošno o betonu	3
2.2	Trajnost betona in betonskih konstrukcij	6
2.3	Vplivi agresivnosti okolja	7
2.3.1	Kemijski procesi	10
2.3.2	Fizikalni procesi	17
2.3.3	Biološki procesi	18
2.4	Glavne karakteristike trajnosti betona	19
3	SANACIJE ARMIRANOBETONSKIH OBJEKTOV	21
3.1	Splošno o sanacijah armiranobetonskih objektov	21
3.2	Terminologija sanacijskih ukrepov	22
3.3	Vzroki za sanacije	23
3.4	Pogoji sanacij	29
3.4.1	Problematika izvajanja obnove betonskih in armiranobetonskih objektov v Sloveniji	30
3.4.2	Predstavitev serije standardov SIST EN 1504	35
3.4.3	Postopek sanacije armiranobetonskih objektov	41
3.4.4	Izbor materialov za sanacije	51
4	LABORATORIJSKE PREISKAVE	61
4.1	Namen laboratorijskih preiskav	61
4.2	Splošno o eksperimentalni analizi	62
4.3	Priprava betonskih vzorcev za dinamično obremenjevanje	65
4.3.1	Izbira dimenzij in kvalitete betona	65

4.3.2	Armatura betonskih vzorcev	66
4.3.3	Priprava površine za nanos sanacijske malte	67
4.3.4	Dinamična obtežba betonskih vzorcev	70
4.3.5	Jeklena elementa za vnos obremenitev v betonske vzorce	73
4.4	Spremljajoče preiskave.....	75
4.4.1	Laboratorij in oprema.....	75
4.4.2	Priprava vzorcev malte.....	76
4.4.3	Dimenzije in masa vzorcev	77
4.4.4	Upogibna trdnost.....	79
4.4.5	Tlačna trdnost.....	82
4.5	Dinamično obremenjevanje betonskih nosilcev	86
4.5.1	Potek dinamičnega obremenjevanja betonskih vzorcev	86
4.5.2	Pull-off testi.....	92
5	UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK.....	104
5.1	Ugotovitve.....	104
5.2	Zaključek.....	108
VIRI	110

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razredi in stopnje izpostavljenosti	9
Preglednica 2: Promet na glavnih krakih slovenskega prometnega omrežja (PLDP).....	24
Preglednica 3: Razredi odpornosti sanacijskih materialov	38
Preglednica 4: Področja aplikacij in metode dela.....	39
Preglednica 5: Principi zaščite in popravil betona podani v standardu SIST EN 1504-10	40
Preglednica 6: Bistvene poškodbe in pomanjkljivosti betona	44
Preglednica 7: Karakteristike prereza jeklenega elementa in betonskega vzorca	74
Preglednica 8: Dimenzije vzorcev, masa, volumska gostota, tip malte in pogoji staranja.....	78
Preglednica 9: Rezultati upogibne trdnosti vzorcev	80
Preglednica 10: Rezultati preiskav tlačne trdnosti	84
Preglednica 11: Seznam betonskih vzorcev z prikazanim načinom priprave površine in aplicirano malto	87
Preglednica 12: Rezultati odtržnih trdnosti	96

KAZALO SLIK

Slika 1: Most Reichbrücke zgrajen leta 1937 in njegova porušitev leta 1976.....	4
Slika 2: Kongresna hala v Berlinu zgrajena leta 1957 in delna porušitev 23 let kasneje	5
Slika 3: Poškodovani most čez Ljubljanico na priključku Vrhnika.....	5
Slika 4: Zanesljivost konstrukcije v času življenjske dobe oziroma njene uporabe.	7
Slika 5: Močna korozija na betonskem objektu v morskem okolju.....	12
Slika 6: Levo: Primera močne korozije armature	14
Slika 7: Proces korozije armature, prikazan na poenostavljenem galvanskem členu	15
Slika 8: Prostornine različnih oblik železovih oksidov in hidroksidov, ki nastanejo pri anodnem procesu. Razvidna je tudi do 6-krat večja prostornina oksidov od prostornine železa, ki reagira	15
Slika 9: Delovanje bioloških vplivov na konstrukcije.	18
Slika 10: Grafikon rasti prometa na posameznih AC krakih med leti 1999 in 2009	25
Slika 11: Promet na primorskem kraku glede na tip tovornih vozil	26
Slika 12: Promet na štajerskem kraku glede na tip tovornega vozil	26
Slika 13: Prikaz odstopanja dejanskih obremenitev in napovedi po študiji v enoti PLDP.	27
Slika 14: Postopek sanacije betonskih objektov	43
Slika 15: Sanacijski malti Emaco S80 in Emaco NanoCrete R3	60
Slika 16: Celotna konstrukcija, konstrukcijski sklop in konstrukcijski element	62
Slika 17: Preizkuševalna naprava Roell-Amsler HA100.....	64
Slika 18: Dimenzije betonskega vzorca, podpore in obtežba.	65
Slika 19: Določanje začetne sile obremenjevanja z uporabo lističev »strain gauge«.....	66
Slika 20: Prostorski prikaz dejanske vgrajene armature	67
Slika 21: Odbijanje betona z vodnim curkom pod velikim pritiskom	68
Slika 22: Betonski površini pripravljene z različnimi postopki.....	69
Slika 23: Prikaz dejanske situacije med dinamičnim obremenjevanjem	71
Slika 24: Vrednosti vnesene sile med dinamičnim obremenjevanjem betonskega vzorca.....	72
Slika 25: Pomiki med dinamičnim obremenjevanjem betonskega vzorca	73
Slika 26: Jeklena elementa za vnos obremenitev v armiranobetonske preskušance.....	74
Slika 27: Standardizirani mešalec in kalup za izdelavo vzorcev	76

Slika 28: Vibriranje kalupov na vibracijski mizi in pripravljene vzorci	77
Slika 29: Označeni vzorci pripravljene za meritve in teste	77
Slika 30: Tehtanje in meritve vzorce	78
Slika 31: Vzorec vpet med podpore, pripravljene za test upogibne trdnosti.....	79
Slika 32: Porušeni vzorec pri testu upogibne trdnosti	79
Slika 33: Jekleni okvir za preizkus tlačne trdnosti vzorcev.....	82
Slika 34: Rušenje vzorca med preiskavo tlačne trdnosti	83
Slika 35: Različni načini porušitev vzorcev pri preiskavi tlačne trdnosti	84
Slika 36: Malta pripravljene za nanos na betonski vzorec	87
Slika 37: Nanos sanacijske malte na betonski vzorec	88
Slika 38: Sanacijska malta odpade z vzorca.....	89
Slika 39: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 8	90
Slika 40: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 8.	90
Slika 41: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 2	91
Slika 42: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 11.	91
Slika 43: Vrtanje z diamantno žago skozi malto do betona	92
Slika 44: Merilna naprava, s katero so bili opravljeni testi odtržne trdnosti.....	93
Slika 45: Betonski vzorec z izvrtano luknjo, jekleni čep in obe komponenti lepila.....	93
Slika 46: Postopek meritev odtržne trdnosti po metodi Pull-off	94
Slika 47: Betonski vzorci po končanih Pull-off testih s pripadajočimi jeklenimi čepi	96
Slika 48: Prikaz porušeni površin Pull-off testa pri vzorcu 2.....	97
Slika 49: Prikaz porušeni površin Pull-off testa pri vzorcu 1	98
Slika 50: Prikaz porušene površine Pull-off testa pri vzorcu 11	98
Slika 51: Mikroskopski posnetek porušene površine vzorca 12.....	99
Slika 52: Prikaz porušeni površin Pull-off testa pri vzorcu 4.....	100
Slika 53: Mikroskopska slika porušene površine pri vzorcu 4.....	101
Slika 54: Prikaz porušeni površin Pull-off testa pri vzorcu 6.....	101
Slika 55: Mikroskopski posnetek površine vzorca 9	102
Slika 56: Rezultati povprečnih upogibnih trdnosti malt delovnih skupin	104
Slika 57: Rezultati povprečnih tlačnih trdnosti malt delovnih skupin.....	105
Slika 58: Vrednosti odtržnih trdnosti, dobljenih pri Pull-off testu	105

#

1 UVOD

Armirani beton, na prvi pogled tako trdoživ, neuničljiv in trajen, a vendar tako krhek, občutljiv in podvržen delovanju agresivnih vplivov iz okolja, če ni primerno zaščiten oziroma vzdrževan. Starejši armiranobetonski objekti, zgrajeni v času, ko izvedbenim detajlom ni bilo posvečene posebne pozornosti, saj je prevladovalo mnenje, da je beton trajen, so v današnjem času podvrženi obsežnim sanacijam. Danes si izvajalec sanacije premostitvenega armiranobetonskega objekta ne more privoščiti, da bi sanacija potekala ob popolni zaporu prometa, ki poteka čez oziroma pod objektom, ki se sanira. Sanacija tako poteka v več delih, kar ob že tako okleščeni finančni strukturi in strogih zahtevah investitorja zmanjšuje kakovost obnovitvenih del. Namen tega diplomskega dela je določiti odtržno trdnost med sanacijsko malto in betonsko podlago na armiranobetonskem upogibnem elementu, ki je bil kmalu po aplikaciji malte izpostavljen dinamični obremenitvi. Na doseženo odtržno trdnost sanacijskega materiala s podlago vpliva mnogo parametrov, izmed katerih sta bila izbrana dva; priprava betonske površine in vrsta sanacijske malte. Površina betonskih vzorcev je bila pripravljena na dva načina, z ročnim odstranjevanjem betona in z vodnim curkom pod velikim pritiskom. Prav tako sta bili preizkušeni dve različni sanacijski malti, Emaco S80 in Emaco NanoCrete R3, ki sta v skladu z določili standarda SIST EN 1504 definirani kot primerni za sanacijo objektov izpostavljenih dinamičnim obremenitvam.

Hipoteze, postavljene pred pričetkom preiskav, ki temeljijo na teoretičnem poznavanju področja sanacij so:

1. pričakovati je, da bodo rezultati odtržnih trdnosti pri vzorcih z malto Emaco S80 boljši kot pri vzorcih z malto Emaco NanoCrete R3, saj malta Emaco S80 spada v višji razred dinamične odpornosti, kot malta Emaco NanoCrete R3,
2. pričakovati je boljše rezultate odtržnih trdnosti pri vzorcih, kjer bo betonska površina pripravljena z vodnim curkom pod velikim pritiskom, saj ta postopek naredi površino mnogo bolj hrapavo, kot če je beton odstranjen ročno z uporabo pnevmatskega kladiva in dleta,

3. pričakovati je, da dinamično obremenjevanje vpliva negativno na oprijem malte na betonsko podlago, torej na odtržno trdnost.

Zgornje hipoteze bodo na podlagi različnih testov in analiz dobljenih rezultatov potrjene oziroma ovržene skozi diplomsko delo.

2 TRAJNOST BETONA

2.1 Splošno o betonu

Beton je v gradbeništvu zelo cenjen material, zaradi širokega območja možnih lastnosti, ki jih lahko dosežemo z ustrezno zasnovo betonske mešanice in proizvodnje v bližini ali na samem gradbišču, zaradi relativno nizke cene pa je tudi najširše in najpogosteje uporabljan konstrukcijski material. Preprostost vgraditve v objekte in konstrukcijske elemente, možnost oblikovanja v izdelke najrazličnejših oblik, odpornost proti mehanskim poškodbam in prepričanje o njegovi trajnosti so lastnosti, ki so betonu zagotovile vodilno vlogo v gradbeni industriji že pred desetletji. Beton ima dobro tlačno trdnost, medtem ko sta njegova upogibna in natezna trdnost bistveno slabši, kar omejuje njegovo uporabnost. Omenjene slabše lastnosti se izboljšujejo z uporabo armature, lahko tudi v kombinaciji z mikro-armaturo ter kemijskimi in mineralnimi dodatki.

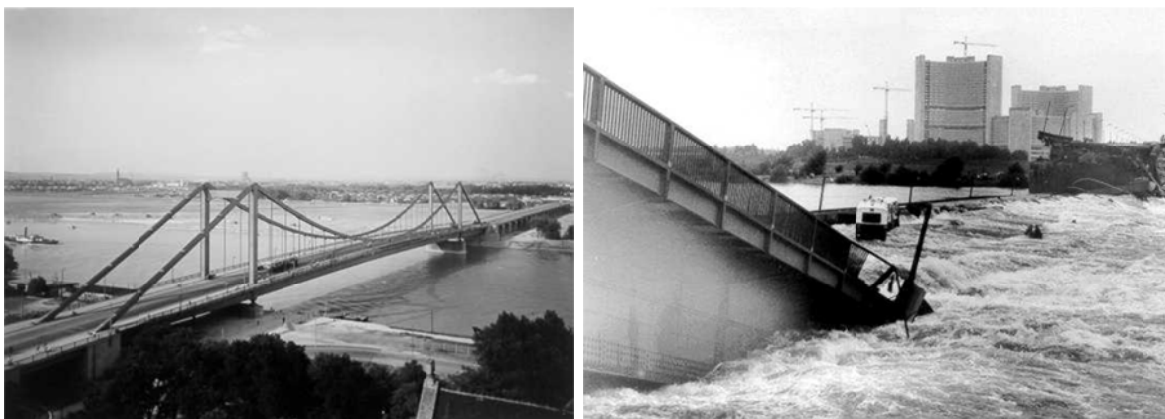
Vgrajevanje betona v preteklosti je bilo, zaradi nezadostnega poznavanja materiala in njegovega obnašanja v različnih okoljih in pod različnimi obremenitvami ter zaradi prepričanja, da je beton trajen in večer material, slabo in nestrokovno nadzorovano. Pomembnim izvedbenim detajlom ni bilo posvečene večje pozornosti, zato so bili dostikrat neprimerno izvedeni, prav tako pa so vidne betonske površine pogosto ostajale nezaščitene. Pri gradnji z betonom je bila pomembna samo njegova tlačna trdnost, tako da je bila trdnost betona vodilo gradbenih projektov (Grum, 2004).

Porušitev mosta Reichbrücke na Dunaju, predvsem pa kongresne hale v Berlinu leta 1980, je v Evropi dokončno opravila z miselnostjo, da so betonski objekti večni (Jamšek, 2010).

Most Reichbrücke je eden izmen najpomembnejših mostov na Dunaju. Zgrajen je bil med leti 1934 in 1937 kot viseči most s svetlim razponom kar tri četrtine širine reke Donave. Takrat je bil tretji največji viseči most v Evropi. Porušil se je leta 1976 in čeprav je bil zelo prometno obremenjen je bila pri poružitvi samo ena smrtna žrtev, kar lahko pripišemo srečnemu naključju.

Do porušitve je prišlo zaradi kombinacije več faktorjev, to je zaradi neugodnih vremenskih, vetrovnih in temperaturnih pogojev.

K porušitvi je prispevalo tako podpiranje nosilcev plošč na nearmiranem betonu, ki zaradi močne korozije ni zdržal obremenitev, kot tudi vpliv lezenja in krčenja betona pri vpetjih stebrov (http://www.reichsbruecke.net/geschichte_e.php).



Slika 1: Most Reichbrücke zgrajen leta 1937 in njegova porušitev leta 1976

Vir: http://www.reichsbruecke.net/geschichte_e.php (12.4.2011)

Kongresna hala v Berlinu je bila zgrajena med leti 1956 in 1957, kot ameriški prispevek k mednarodni razstavi objektov v Berlinu leta 1957. Ljudje so jo kmalu poimenovali »noseča ostriga« zaradi specifične oblike, ki spominja na ostrigo. Nad pritličjem dimenzij 92x96 metrov se bohoti mogočna zaobljena armiranobetonska streha. Streha je oprta na obeh straneh z jeklenimi sidri, ki so podprta samo v dveh točkah.

Leta 1980 se je del strehe porušil, umrla je ena oseba, pet oseb je bilo ranjenih. Porušitev južnega dela zunanje strehe kot tudi dela zunanje stene kongresne stavbe v Berlinu se je zgodila zaradi neustreznega načrtovanja in slabo izvedenih del pri gradnji zunanje strehe, kar je pripeljalo do nastanka razpok zaradi korozije v povezovalnem obroču stropnega svoda. Ugotovili so, da so bili stropni paneli povezani direktno z nateznim obročem, omenjeni stiki pa so bili neustrezno izvedeni. Tako so zaključili, da so agresivne snovi iz okolja vstopale v zaščitni sloj in povzročile korozijo, kar je vodilo v preobremenitev in pokanje nateznih elementov. Pretrg podpornih nateznih elementov je povzročil izgubo ravnotežja južnih lokov in tako njihovo porušitev, saj niso bili predvideni za prenos nesimetričnih obtežb, ki bi izhajale iz obtežb v normalnih pogojih. Profesor Jorg Schlaich z Instituta za masivne

konstrukcije Univerze v Stuttgartu je beton v vozliščih strehe opisal kot beton »nezadostne nosilnosti, neenakomerne strukture, zelo porozen in z (glede na današnje standarde) previsoko vsebnostjo kloridov« (<http://failures.wikispaces.com/West+Berlin+Congress+Hall>).



Slika 2: Kongresna hala v Berlinu zgrajena leta 1957 in delna porušitev 23 let kasneje

Vir: <http://www.galinsky.com/buildings/congress/> (12.4.2011)

<http://www.hkw.de/en/hkw/gebauede/architektur/index.php> (12.4.2011)

Zavedati se je treba, da je propadanje betonskih objektov posledica propadanja uporabljenih materialov, torej betona in zaradi korozije tudi jeklene armature. Propadanje betonskih objektov je postalo eden glavnih svetovnih problemov v gradbeništvu, saj povzroča veliko škode na objektih in postaja zato velika težava za vsako nacionalno ekonomijo (Grum, 2004).



Slika 3: Poškodovani most čez Ljubljanico na priključku Vrhnika

Na sliki 3 vidimo, da je robni venec mostu zelo močno poškodovan. Vzroki so predvsem v betonu, ki je zmrzlinško neobstoje in neodporen na vpliv soli. Zaradi premajhne krovne plasti betona prihaja do korozije armature ter luščenja in razpadanja betona, tako da postane armatura vidna. Nevarnost predstavlja predvsem odpadanje delov betona, medtem ko sama nosilnost ni bistveno ogrožena.

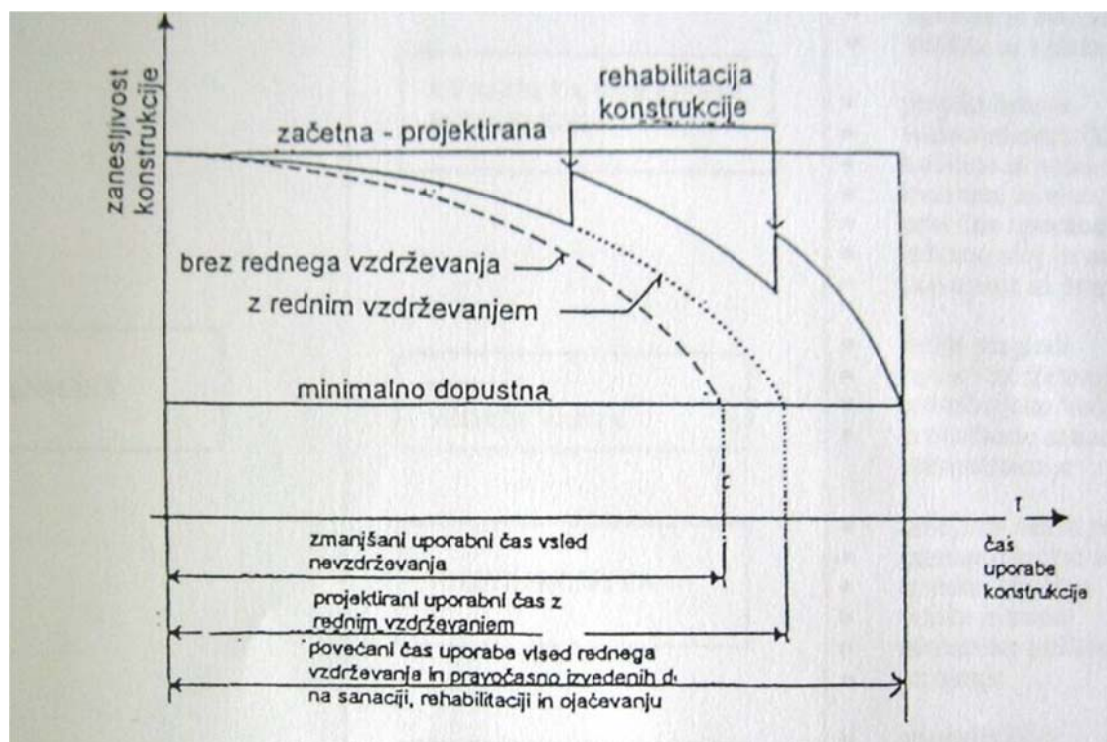
2.2 Trajnost betona in betonskih konstrukcij

Beton je izpostavljen najrazličnejšim klimatskim pogojem, kjer prihaja v stik z mnogimi agresivnimi mediji in je podvržen različnim mehanskim poškodbam. Življenjska doba betonske konstrukcije, izpostavljene delovanju agresivne okolice je v večini primerov odvisna predvsem od obstojnosti betona proti tovrstnim agresijam. Trajni beton je tekom življenjske dobe izpostavljen delovanju raznih kemijskih, fizikalnih, mehanskih in bioloških procesov propadanja. Ob karakteristični trdnosti in deformabilnosti je trajnost najvažnejši parameter dosežene kvalitete betona.

Trajnost betona in armiranobetonskih konstrukcij je odvisna predvsem od možnosti prodiranja agresivnih snovi v beton. Bolj ko beton s svojo sestavo preprečuje vstop agresivnih snovi, bolj je trajen. Zato so lastnosti absorpcije (vpijanja), difuzije in tečenja tekočin pod pritiskom skozi porozno strukturo cementnega kamna osnovni parametri trajnosti betona. Poleg tega je večina mehanizmov korozije betona in armature posledica visoke koncentracije vlage in kloridov v betonu.

Glede na časovni potek eksploatacije konstrukcijskega elementa je možno delovanje večih mehanizmov, ki negativno vplivajo na trajnost in se medsebojno prepletajo. Tako lahko na betonski element delujejo kemijske spojine, ki uničujejo strukturo veziva, ob sočasnem krčenju in nabrekanju zaradi sušenja in vlaženja, ter koroziji armature zaradi karbonatizacije cementnega kamna in s tem zmanjševanja pH – vrednosti porne vode v cementnem kamnu.

Zavedati se je potrebno, da trajnost ni absolutna lastnost konstrukcije. Ni je mogoče preprosto računsko ovrednotiti ali neposredno izmeriti, zato se običajno opisuje z življenjsko dobo konstrukcije. To je čas, ko so zanesljivost, varnost in uporabnost konstrukcije še vedno nad določeno minimalno in še sprejemljivo vrednostjo.



Slika 4: Zanesljivost konstrukcije v času življenjske dobe oziroma njene uporabe.

Vir: Grum Bojan, 2004, Sanacije betonskih objektov

Trajnost pomeni dolgoročno polno uporabno sposobnost določenega objekta. Pri novih betonskih objektih se trajnost dosega s pravilnim projektiranjem betona in konstrukcije ter kakovostno izvedbo gradnje. Pomembno je doseganje projektiranih lastnosti vgrajenih materialov, kar pomeni tudi kakovostno vgrajevanje betonov brez poroznih mest, segregacij in dvomljivih stikov, doseganje projektirane debeline zaščitnega sloja betona, pravih naklonov in ustrezne obdelave površin (Grum, 2004).

2.3 Vplivi agresivnosti okolja

Ker ima beton pred drugimi gradbenimi materiali velike tehnične in ekonomske prednosti, so se ob ugotovitvi, da ni trajen, po vsem svetu začele raziskave s ciljem, kako preprečiti nastanek in razvoj poškodb betona. V tem okviru so intenzivno raziskovali mikrostrukturo

betona in mehanizme procesov, ki povzročajo nastanek poškodb betonskih objektov. Trajnost torej pomeni, da v času življenjske dobe v nekem bolj ali manj agresivnem okolju na betonskem objektu ne pride do poškodb in s tem do bistvenih sprememb njegovih mehanskih lastnosti. Obstočnost materialov s cementnim vezivom obravnavamo kot posledico fizikalnih ali kemijskih procesov na relaciji material-okolje.

Ne glede na mehanizem, po katerem se odvija propadanje, so posledice procesa bolj ali manj enake. Prihaja do razpadanja materiala, kar se najbolj očitno izraža z vidnimi poškodbami v strukturi materiala in zmanjševanjem mehanskih lastnosti. Po pravilu se posledice škodljivih procesov najprej pokažejo na površini materialov s cementnim vezivom in se nato širijo v globino.

Tak proces je povsem logičen, saj se stik med materialom in okoljem najprej vzpostavi preko površine. Zaradi delovanja agresivnih tekočin, difuzije plinov, absorpcije, osmotskega učinka, temperaturnih sprememb in drugih vplivov, se v poznejših fazah škodljivi procesi širijo vse globlje v notranjost materiala. Kakšna je izpostavljenost objektov korozijskim procesom je odvisno od okolja, v katerem so objekti (Grum, 2004).

V skladu s standardom SIST EN 206-1, so v spodnji preglednici predstavljeni razredi in stopnje izpostavljenosti betonskih elementov oziroma objektov. Delovanje oziroma vplivi okolja so razvrščeni kot stopnje izpostavljenosti.

Beton je praviloma izpostavljen več kot enemu delovanju oziroma vplivu, opisanem v preglednici 1 in zato je velikokrat potrebno izraziti pogoje okolja, v katerih je beton, kot kombinacijo stopenj izpostavljenosti. Na določenem konstrukcijskem elementu so lahko različne betonske površine izpostavljene različnim vplivom okolja.

Preglednica 1: Razredi in stopnje izpostavljenosti

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

* V skladu s SIST 1026, (preglednica povzeta po SIST EN 206-1).

Obstojnost betona pomeni sposobnost materiala, da se med uporabo upira spremembam lastnosti in razpadanju zaradi agresivnih vplivov. Pri tem gre običajno za zelo zapletene procese oziroma mehanizme propadanja.

Odpornost betona je odvisna od:

- uporabljenih materialov ter sestave in strukture betona,
- homogenosti betona,
- poroznosti betona,
- stika med cementnim kamnom in armaturo,
- trdnosti (predvsem natezne) betona,
- termične kompatibilnosti sestavin betona
- krčenja, lezenja, raztezanja betona,
- razpok v betonu,
- prepustnosti za tekočine, absorpcije, difuzivnosti,
- debeline zaščitnega sloja in oblike elementa,
- vrste in intenzivnosti zunanjih vplivov na konstrukcijo.

Kot je bilo že omenjeno, je delovanje agresivnih medijev lahko zelo prepleteno v istem časovnem intervalu. Vendar je zaradi enostavnejše analize bolje, da se analizira vsak element delovanja posebej in šele nato njihova interakcija. Agresije delimo v štiri skupine:

1. Kemijski vplivi
2. Fizikalni vplivi
3. Biološki vplivi
4. Ostali dejavniki (Grum, 2004).

2.3.1 Kemijski procesi

Korozija betona

Korozija betona je proces, pri katerem se spreminjajo kemijske, fizikalne in mineraloške značilnosti agregata in hidratizirane cementne paste – cementnega kamna. Posledica korozije, ki jo opredelimo tudi kot fizikalno in kemijsko delovanje na relaciji beton-okolje, je degradacija materiala, ki se kaže kot poškodba strukture in poslabšanje mehanskih lastnosti

betona. Fizikalno korozijo najpogosteje povzročajo erozija, kavitacija, temperaturno delovanje oziroma izmenično zmrzovanje in tajanje. Kemijsko korozijo povzročajo kemijske reakcije komponent strjenega betona z dejavniki iz okolja, pri čemer se spreminja struktura betona.

Poleg vrste kemijskega dejavnika in njegove koncentracije pri oceni stopnje agresivnosti upoštevamo tudi faktorje iz okolice. Med faktorje iz okolice spadajo hitrost toka vode v kateri so agresivne snovi, trajanje delovanja agresivnega medija, povišanje temperatur, kar pospeši pojav in razvoj kemijskih procesov, debelina betonskega elementa in še mnogi drugi.

Prisotnost vlage je običajno glavni vzrok za pojav korozije betona, saj vsi kemijski procesi korozije betona potekajo ob prisotnosti vode. Posledice korozije cementnega kamna so lahko raztapljanje ali kemijsko razpadanje veziva ob rahljanju strukture cementnega kamna ter povečanju poroznosti in prepustnosti za tekočine, uničevanje betona, zmanjševanje pH-vrednosti ipd. Vsak od takih procesov ima za posledico zmanjševanje trdnosti in dodatne spremembe volumna (Bokan Bosiljkov).

Kemijska korozija

Kemijska korozija je izmenjava snovi med betonom in okoljem, pri čemer poteče kemijska reakcija, ki ima za posledico močno spreminjanje lastnosti betona s poškodbami cementnega kamna. Nastopi lahko tako na površini kot v njegovi notranjosti.

Na podlagi poznavanja koncentracije agresivnih snovi v okolju in poznavanja sestave oziroma narave formiranega cementnega kamna, ki ga sestavljajo hidratizirani cementni minerali, lahko ugotovimo vrsto kemijske korozije. Tako je na primer znano, da je prosto apno v betonu vodotopno, zato se **izlužuje**. V materialih s cementnim vezivom vključuje proces, ki mu pravimo izluževanje, v glavnem transport ionov iz notranjosti materiala skozi sistem por v okolico. Med izluževanjem se trdne komponente cementnega kamna najprej raztopijo v vodi, ki prodira v material (hidroliza produktov hidratacije), potem pa se transportirajo iz materiala, bodisi z difuzijo zaradi razlik v koncentracijah ali s konvekcijo/advekcijo zaradi tečenja/pronicanja vode skozi material zaradi razlik v tlakih. Izluževanje poveča poroznost

cementnega kamna in s tem njegovo prepustnost. Istočasno pa lahko pomembno zmanjša tudi njegovo tlačno trdnost in modul elastičnosti.

Kisle raztopine z anioni, ki oblikujejo topne kalcijeve soli so pogosto del industrijskih okolij. Na primer klorovodikova, žveplena in dušikova kislina so lahko prisotne v odpadnih vodah kemijske industrije. Ocetna, mravljična in mlečna kislina pa so del prehrabnenih proizvodov. Ogljikova kislina, H_2CO_3 , pa je prisotna v gaziranih pijačah in naravnih vodah z veliko koncentracijo CO_2 . Pri reakcijah, pri katerih pride do izmenjave kationov med kislimi raztopinami in komponentami portland cementnega kamna nastajajo topne soli kalcija, kot so kalcijev klorid, kalcijev acetat in kalcijev bikarbonat, ki se z vodo izlužijo iz cementnega kamna (Bokan Bosiljkov).

V naravnih in industrijskih vodah pa so poškodbe betonov največkrat posledica predvsem dveh prevladujočih procesov:

- raztapljanje in/ali izluževanje komponent, ki poteka najprej na površini nato postopoma tudi globlje, ko proces napreduje navznoter (posledica je zmanjševanje mase)
- nabrekanja in pokanja, ki sta posledica tvorbe ekspanzivnih produktov nastalih pri reakciji s sulfati.



Slika 5: Močna korozija na betonskem objektu v morskem okolju

Vir: <http://www.saninig.eu/sanacije-objektov-sanacije-betonov.html> (3.2.2011)

Iz slike 5 je razvidno, da je prevladujoči mehanizem propadanja armiranobetonskih konstrukcij v agresivnem okolju, kakršno je morsko, vsekakor korozija armature zaradi kloridov. Kloridi so lahko prisotni že v svežem betonu, v agregatu ali vodi, potrebni za hidratacijo (Gerbec, 2004).

Sulfatna korozija

Sulfatna korozija je ena najpogostejših in najmočnejših korozij betona. Delovanje sulfatov se izkazuje v nabrekanju, luščenju oziroma pokanju betona, kar je posledica tvorbe ekspanzivnih produktov. Pojavi se, ko vode, ki vsebujejo raztopljene sulfate, prodirajo v cementni kamen. Propadanje cementnega kamna kot rezultat reakcije med produkti hidratacije cementa in sulfatnimi ioni iz zunanjega vira ima lahko dve obliki, ki sta bistveno različni. Kateri proces propadanja prevlada v posameznem primeru je odvisno od koncentracije in izvora sulfatnih ionov ter seveda od sestave cementnega kamna. Sulfatni napad se lahko manifestira z ekspanzijo in oblikovanjem razpok v cementnem kamnu. Ko cementni kamen razpoka se njegova prepustnost poveča in agresivne vode lahko vstopajo mnogo lažje v njegovo strukturo, kar seveda pospeši propadanje cementnega kamna. Istočasno se sulfatni napad manifestira v izgubi trdnosti in izgubi mase, zaradi izgube kohezivnosti/vezi med produkti hidratacije.

Karbonatizacija

Pri procesu karbonatizacije se tvorijo karbonati znotraj cementnega kamna in ob njegovem stiku z agregatom. CO_2 iz zraka reagira s kalcijevim hidroksidom iz betona. S tem se znižuje alkalnost betona in zaradi tega tudi zaščita armature pred korozijo. Pojav spremlja nastanek razpok. Pojav je bolj prisoten pri betonih z visokim vodo-cementnim količnikom, nizko količino cementa, kratkotrajno nego betona, nizko trdnostjo, visoko poroznostjo in vodoprepustnostjo cementnega kamna. Pri kakovostnih betonih je globina karbonatizacije razmeroma majhna.

Korozija armature

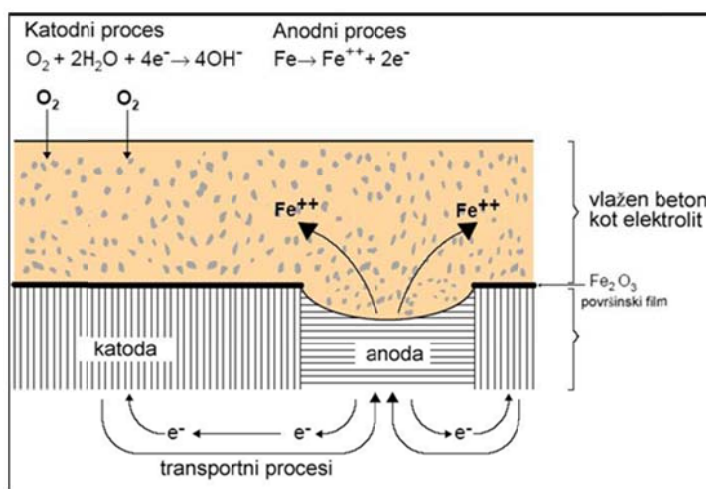
V normalnih pogojih okolice kvaliteten beton daje dobro protikorozijsko zaščito jekleni armaturi. To je tako imenovana kemijska oziroma pasivna zaščita, katere bistvo je, da je na površini jekla v betonu trdno vezan tanek sloj železovega oksida, ki je neprepusten in stabilen, vse dokler je pH-vrednost dovolj visoka. V hidratiziranem cementnem kamnu je dovolj hidroksilnih ionov (predvsem zaradi $\text{Ca}(\text{OH})_2$), da je pH-vrednost porne vode več kot 12. V posebnih okoliščinah, če pH betona zaradi karbonatizacije ali delovanja kislih raztopin pade pod 10 oziroma če je količina klorida v porni vodi večja od določene vrednosti in je na razpolago dovolj vlage in kisika, se lahko proces korozije armature prične. Poleg pasivne zaščite pa beton zagotavlja armaturi še en mehanizem zaščite in sicer fizično zaščito. Ta se izraža z določeno debelino zaščitnega sloja betona, ki ovira vdor agresivnih snovi v beton (Bokan Bosiljkov).



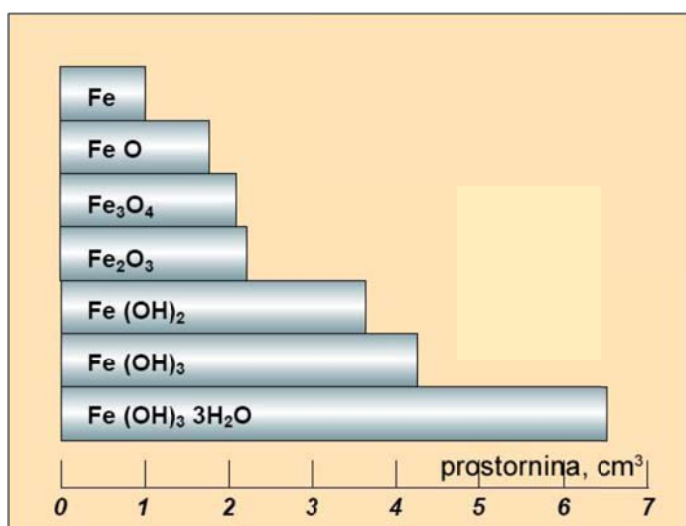
Slika 6: Levo: Primera močne korozije armature

Beton je zaradi porozne strukture prepusten material. V njegovo notranjost z različnimi transportnimi mehanizmi (difuzija, kapilarno vpijanje, tečenje pod pritiskom) prodirajo agresivne snovi. Ti mehanizmi rušilno delujejo tudi na betonsko zaščitno plast ter izničijo funkciji kemične in fizične zaščite, ki ju zagotavlja armaturi, s čimer se ustvarijo pogoji za

korozijo armature. Korozija jekla je elektrokemijski proces, pri katerem nastajajo na površini jeklenih palic korozijske celice, anoda in katoda. Na anodi se železovi ioni ločijo od elektronov in jeklo pri tem preide v enega od Fe-oksidi, na katodi pa se ti elektroni, voda in kisik pretvorijo v hidroksilne ione. Jeklo se torej razgradi le na anodni strani, katodni proces na jeklu ne povzroča poškodb.



Slika 7: Proces korozije armature, prikazan na poenostavljenem galvanskem členu (Bokan Bosiljkov).



Slika 8: Prostornine različnih oblik železovih oksidov in hidroksidov, ki nastanejo pri anodnem procesu. Razvidna je tudi do 6-krat večja prostornina oksidov od prostornine železa, ki reagira (Bokan Bosiljkov).

Korozija jekla v betonu je lahko resen problem, povezan z življenjsko dobo armiranobetonskih konstrukcij. Zaradi korozije jeklene armature nastajajo korozijski produkti, ki imajo v začetni fazi neugoden vpliv le na videz določenih površin konstrukcije, kjer se izločajo, v kasnejši fazi z naraščanjem prostornine (ta je nekajkrat večja od prostornine korozijsko raztopljenega deleža jekla) povzročajo napetosti, katerih rezultat je oblikovanje razpok in odstopanje površinske zaščitne plasti betona (delaminacija). S pojavom razpok v betonu se poveča možnost in hitrost nadaljnje korozije, kar vodi v:

- pojav običajne korozije, ki se kaže v obliki enakomernega raztapljanja jekla v obliki korozijskih izjed in s tem do zmanjšanja nosilnega prereza,
- pojav napetostne korozije v prednapetih konstrukcijah, kjer običajno napreduje po kristalnih mejah zelo trdnih jekel, kar povzroča dekohezijo v materialu in kljub navidezno majhni površinski koroziji, izrazito poslabšanje trdnostnih lastnosti, žilavosti in dinamične trdnosti
- pojav vodikove krhkosti v jeklu za prednapeti beton, to je do nastajanja atomskega vodika pri korozijskem procesu in do njegove difuzije v zelo trdno jeklo, kjer deluje po različnih mehanizmih.

Posledica korozije jekla je torej zmanjšanje nosilnega prereza in žilavosti materiala, kar vpliva na statično in dinamično trdnost armiranobetonskih ter prednapetih konstrukcij.

Razpokanost betona

Razpoke vplivajo na obnašanje in trajnost betonskih elementov, saj predstavljajo poti za prehod vlage, kisika, ogljikovega dioksida in kloridov v strukturo betona ter v okolico jeklene armature. Omogočijo pa seveda tudi prehod drugih škodljivih snovi.

Beton razpoka zaradi različnih vzrokov, med katerimi prevladujeta dva osnovna vzroka:

- razpokanost zaradi krčenja pri sušenju ali oviranih deformacijah pri temperaturnih spremembah
- razpokanost zaradi mehanskih obremenitev.

Krčenje pri sušenju je neizogiben betonu lasten pojav. Širina razpok se lahko zmanjša s klasičnim armiranjem ali dodajanjem mikroarmature (jeklena ali polimerna vlakna). Temperaturne spremembe lahko povzročajo razpoke v mladem betonu. Pri neoviranem krčenju beton ne poka, vendar so take razmere zgolj teoretične. V dejanskih razmerah so deformacije ovirane zaradi različnih vzrokov. Površinsko krčenje je večje, ker se vlažni notranji deli manj krčijo in s tem ovirajo površinsko krčenje. Krčenje ovira tudi armatura, spojni elementi med betonskimi masami, trenje med posameznimi deli konstrukcije oziroma med podlago in betonom.

Natezna trdnost betona je za betone običajnih trdnosti okrog 10% njegove tlačne trdnosti, pri visoko trdnih betonih pa je ta delež še manjši, doseže lahko samo 5% tlačne trdnosti. Zato se pri zasnovi armiranobetonskih elementov predpostavi ničelna natezna trdnost betona ter da natezne napetosti zaradi obtežbe prevzamejo armaturne palice. Nadalje se predpostavi, da se bodo v armiranobetonskih elementih v času njihove uporabe pojavile razpoke zaradi pričakovanih obremenitev v življenjski dobi objekta. Nastanek razpok zaradi nateznih napetosti, ki dosežejo natezno trdnost betona, v betonskih elementih težko preprečimo. Vendar pa lahko z ustrezno zasnovo elementov in izvedbo detajlov kontroliramo oblikovanje razpok in omejimo njihovo širino. Da razvoj razpok ne bo škodoval uporabnosti objekta, se najprej določi prerez in potrebno armaturo armiranobetonskih elementov za ustrezno mehansko odpornost ter stabilnost objekta, zatem se preveri, če elementi izpolnjuje zahteve glede velikosti razpok in upogibkov (deformacij). V določenih primerih je lahko zahteva po izpolnitvi ostrih kriterijev glede zaščitne vloge (mejno stanje uporabnosti) bolj kritična od zahteve glede mehanske odpornosti in stabilnosti objekta (mejno stanje nosilnosti), (Bokan Bosiljkov).

2.3.2 Fizikalni procesi

Fizikalne vplive, ki na beton delujejo rušilno, lahko razvrstimo v 4 skupine, torej :

- mehanično delovanje iz okolice/erozija (obrus, abrazija, kavitacija)
- preobremenitev (udarci in preobremenitev, ciklično obremenjevanje, pomiki)

- volumenske spremembe (temperaturni in vlažnostni gradient, korozija armature, pritisk soli v porah)
- temperaturni vplivi (zmrzovanje in tajanje, trajno delovanje visokih temperatur).

Posledice fizikalnih vplivov so lahko površinsko slabljenje materiala, razpoke, lomljenje, luščenje, degradacija strukture in drobljenje (Grum, 2004).

2.3.3 Biološki procesi

Beton je lahko dobra podlaga za vegetacijo, tako za mikroorganizme, kot tudi za večje organizme, (na primer školjke). Le-te prodirajo globoko v beton in lahko popolnoma uničijo zaščitni sloj. Zanimivost tovrstne agresije školjk je, da pri njej ne gre samo za uničevanje betonske strukture, ki ga školjke povzročajo z odvzemanjem elementov betona za svoj metabolizem, temveč si utirajo pot v beton tudi s pomočjo visokih frekvenc. Pri pojavu biološke agresije lahko korenine nekaterih vrst rastlin prodrejo celo skozi beton debeline 50 cm (povzeto po Grum, 2004).



Slika 9: Delovanje bioloških vplivov na konstrukcije.

2.4 Glavne karakteristike trajnosti betona

Najpomembnejši transportni mehanizmi tekočin v poroznem materialu kot je beton so vsrkavanje, difuzija, tečenje pod tlakom in kapilarna absorpcija. Vsi mehanizmi sicer potekajo sočasno, vendar pa v določenih okoliščinah običajno prevlada eden izmed njih. Gonilna sila vsrkavanja, ki je primarni mehanizem v sistemu z visoko koncentracijo tekočine, je razlika v pritisku, medtem ko difuzija, ki je vodilni mehanizem v sistemih z majhno vsebnostjo tekočine, poteka zaradi koncentracijskega gradienta. Kapilarna absorpcija je posledica površinskih napetosti in je primarni mehanizem, kadar je omočena le površina materiala. Poteka po delu por, ki jih imenujemo kapilare. Polmer kapilar je tako majhen (10 nm – 10 μm), da so učinki površinskih napetosti prisotni v celotnem volumnu tekočine v kapilari. Kapilarna absorpcija je torej selektivni proces in večje pore se sploh ne zapolnijo s tekočino. Takšnih neaktivnih por je v betonu od 2 do 10 volumskih odstotkov. V nasprotju s kapilarno absorpcijo vsrkavanje v glavnem poteka po večjih porah, kjer so učinki sil površinskih napetosti zanemarljivi v primerjavi s silami zaradi razlike pritiskov. Pri difuzijskih procesih obravnavamo gibanje diskretnih delcev snovi (atomi, molekule), pri vsrkavanju in kapilarni absorpciji pa tekočino obravnavamo kot kontinuum, na katerega gibanje v veliki meri vpliva njegova viskoznost (Bokan Bosiljkov).

Tečenje pod tlakom

Tečenje pod tlakom je tečenje tekočine zaradi razlike v tlakih. Razlika v tlakih je lahko posledica razlike v gostotah (zaradi razlik v temperaturi) ali posledica delovanja pritiskov (največkrat gre za razliko hidravličnih pritiskov). Gibanje tekočine je ali turbulentno ali laminarno in ga opišemo z vektorskim poljem. S tekočino se gibljejo tudi raztopljeni delci, ki jih le-ti nosijo s seboj. Prenos snovi v plinu oziroma tekočini zaradi naravnega termalnega gibanja ali mešanja imenujemo konvekcija, prenos snovi zaradi delovanja hidravličnih pritiskov pa imenujemo tudi vsiljena konvekcija ali advekcija. Pri advekciji se delci gibljejo s povprečno hitrostjo toka. Z izrazom advekcija pa se velikokrat poimenuje samo prenos snovi s pomočjo horizontalnih tokov (Hanžič, 2005).

Difuzija

Difuzija je osnovni mehanizem transporta raztopljenih ionov. Je posledica naključnega termalnega gibanja molekul. To povzroča transport raztopljenih snovi (kontaminantov) iz področij z visoko koncentracijo k področjem z nizko koncentracijo. Hitrost difuzije je odvisna od velikosti razlike koncentracij na dani razdalji (koncentracijski gradient) v porni strukturi materiala. Razlika v difuzijskem obnašanju med različnimi kemijskimi delci je praviloma relativno majhna. Koncentracija snovi po preseku poroznega materiala se pogosto menja v materialih s cementnim vezivom, ki so izpostavljeni difuziji agresivnih snovi. S spreminjanjem poroznosti materiala s cementnim vezivom se spreminjajo tudi transportne lastnosti materiala, sprememba transportnih lastnosti pa vpliva na porazdelitev hidravličnih pritiskov v materialu s cementnim vezivom, saj transportne lastnosti niso enakomerne po celotnem materialu (Hanžič, 2005).

3 SANACIJE ARMIRANOBETONSKIH OBJEKTOV

3.1 Splošno o sanacijah armiranobetonskih objektov

Prepričanje o trajnosti betona je izviralo iz podobnosti strjenega betona s kamnom in poznavanjem njegovega obnašanja v različno agresivnem okolju. Žal pa postaja okolje, v katerem živimo, čedalje bolj agresivno (industrijske odplake, kisli dež, povečanje količine CO₂ v zraku). Ekološke obremenitve armiranobetonskih objektov se povečujejo. Ob koncu 60. in v začetku 70. let prejšnjega stoletja so se pokazale prve večje poškodbe na teh objektih in razviti svet je spoznal, da so betonski objekti podvrženi propadanju. Med uporabo konstrukcije je beton izpostavljen podnebnim in tudi drugim agresivnim vplivom okolja ter vplivom uporabe. Tako propadanje armiranobetonske konstrukcije nastane kot posledica različnih vplivov oz. procesov. Razpadanje betona oz. poškodbe betona se lahko pojavijo na površini ali v notranjosti konstrukcijskega elementa in v zelo različnih pojavnih oblikah, kot so sprememba barve, poškodba površine, drobljenje, povečanje prepustnosti, razpoke, nabrekanje ali krčenje. Nekatere procese razpadanja je mogoče hitro opaziti in prepoznati po tipičnih znakih, zelo pogosto pa se razpadanje opazi šele, ko je določen proces že zelo napredoval in ga je težko odpraviti oz. sanirati (Grum, 2004).

Zavedati se je treba, da je propadanje betonskih objektov posledica propadanja uporabljenih materialov, torej betona in zaradi korozije tudi kovinske armature. Propadanje betonskih objektov je postalo eden glavnih svetovnih problemov v gradbeništvu, saj povzroča veliko škodo na objektih in postaja zato velika težava za vsako nacionalno ekonomijo. Zaradi korozijskih procesov v betonu neposredni in posredni stroški sanacijskih del na viadukih, predorih in obmorskih objektih, v nekaterih državah že predstavljajo večinski delež vlaganj v infrastrukturo. Zadnje analize kažejo, da celotna škoda, ki jo v posameznih državah povzroča korozija, dosega od 3 do 5 odstotkov bruto družbenega proizvoda (povzeto po Legat, časopis Delo).

Projektiranje, gradnja in vzdrževanje zgrajenih armiranobetonskih objektov je kompleksen in drag proces. Zaradi tega je kakovost zgrajenih objektov pomemben element izvedbe gradnje. Pri tem sta odločilnega pomena kakovost materialov in trajnost konstrukcijskih delov. Vendar imajo tudi gradbeni materiali – kot vse ostale stvari na svetu – svojo življenjsko dobo. To

velja tudi za beton, čeprav je vrsto let veljal za trajen material, s katerim lahko gradimo »večne« objekte, ki med svojo uporabo zahtevajo malo vzdrževalnih del ali drugih dodatnih posegov. Stvari so se v praksi seveda izkazale drugače. Beton je v okviru svoje eksploatacijske dobe izpostavljen vrsti negativnih vplivov (atmosferski vpliv, različni mehanizmi propadanja), je pa tudi zelo kompleksen material, ki v svoji strukturi zajema več elementov tveganja, ki ravno tako pomenijo potencialne vzroke za pojav degradacije betonske konstrukcije. Zato situacije oziroma težave, v katerih se znajdejo lastniki in upravljavci armiranobetonskih konstrukcij, ko opazijo prve poškodbe na svojih objektih in se odločajo o ustreznih ukrepih, niso več redke in neznane. Vse več armiranobetonskih objektov je dandanes treba tako ali drugače revitalizirati (sanirati, obnoviti oziroma zaščititi fasadne sloje, rekonstruirati, ojačiti posamezne elemente).

S projektom obratovanja in vzdrževanja objekta so predvideni obvezni občasni pregledi konstrukcij zaradi njihovega vzdrževanja in ugotavljanja dejanskega stanja ter varnosti med uporabo. Določila omenjenega pravilnika je potrebno upoštevati že v fazi načrtovanja objekta, predvsem pa pri projektu uporabe in vzdrževanja. Pogostost pregledov, pa naj si gre za redne, izredne oziroma detaljne, je odvisna od pomembnosti objekta. Pregledovanje objektov, postaja vse pomembnejše zaradi številnih poškodb armiranobetonskih objektov, ki se odkrijejo relativno pozno, zaradi česar se stroški sanacije precej povečajo. Zato se je treba ob obveznih pregledih nujno držati določene strategije, ki je prilagojena konkretni inženirski konstrukciji. Omenjene preglede konstrukcij lahko uspešno izvede samo strokovnjak za korozijo in sanacijska dela armiranobetonskih konstrukcij (povzeto po Grum, 2004 in Jamšek, 2010).

3.2 Terminologija sanacijskih ukrepov

V nadaljevanju so na kratko predstavljeni strokovni izrazi sanacijskih ukrepov z ustreznimi angleškimi izrazi in definicijo:

- *popravilo* (repair): propadanje konstrukcije se ustavi ali le upočasni brez znatnejšega dviga obstoječe ravni zanesljivosti (varnosti in uporabnosti). Cilj ukrepa ni doseči začetne zanesljivosti in trajnosti konstrukcije ali njenih delov.

- *prenova* - ponovna usposobitev (reconstruction, rehabilitation): Začetna ali višja raven zanesljivosti poškodovane ali drugače neustrezne konstrukcije ali njenega dela se doseže na kakršen koli način.
- *obnova* (renewal): Začetna ali višja raven zanesljivosti poškodovane ali kako drugače neustrezne konstrukcije ali njenega dela se doseže s prvotnimi materiali in postopki.
- *zgodovinska prenova* (restoration): konstrukcija ali njen del se povrne v začetno stanje tudi v pogledu njenega estetskega videza in zgodovinskega pomena.
- *ojačitev* (strengthening): povečanje nosilnosti konstrukcije oziroma njenih elementov, da se izboljšata osnovna varnost in tudi robustnost konstrukcije. Robustnost pomeni posebno sposobnost konstrukcije, da na mestu poškodb oz. ob poškodovanih nosilnih elementih aktivira alternativne poti za prenos obtežb in se na ta način izkorišča rezervna nosilnost konstrukcije.
- *utrđitev* (retrofitting): Povečanje zanesljivosti konstrukcije ali njenega dela, da bi se v bodočnosti izboljšalo njeno obnašanje. Izraz se uporablja zlasti za ojačitev proti potresnim obremenitvam (Concrete repair manual, Vol. 1, 2007).

3.3 Vzroki za sanacije

Prometne obremenitve

Dejstvo je, da betonske konstrukcije najbolje služijo svojemu namenu, če so izpostavljene obtežbi, na katero so bile projektirane. Trend močnega povečanja prometa na slovenskih cestah predstavlja veliko obremenitev, predvsem za betonske objekte, ki so kakorkoli vključeni v prometno mrežo slovenskih cest. K propadanju betonskih objektov najbolj pripomore predvsem povečanje prometa, še posebej tovornega, ki povzroča največje obremenitve.

Promet je pomemben dejavnik sodobnega gospodarstva. V zadnjih desetletjih obstaja protislovje med povečanim povpraševanjem in zagotavljanjem primerne prometne infrastrukture. Slovenija je na te zahteve v začetku devetdesetih odgovorila z Nacionalnim programom izgradnje sodobnega avtocestnega omrežja, katerega realizacija se je prevesila v

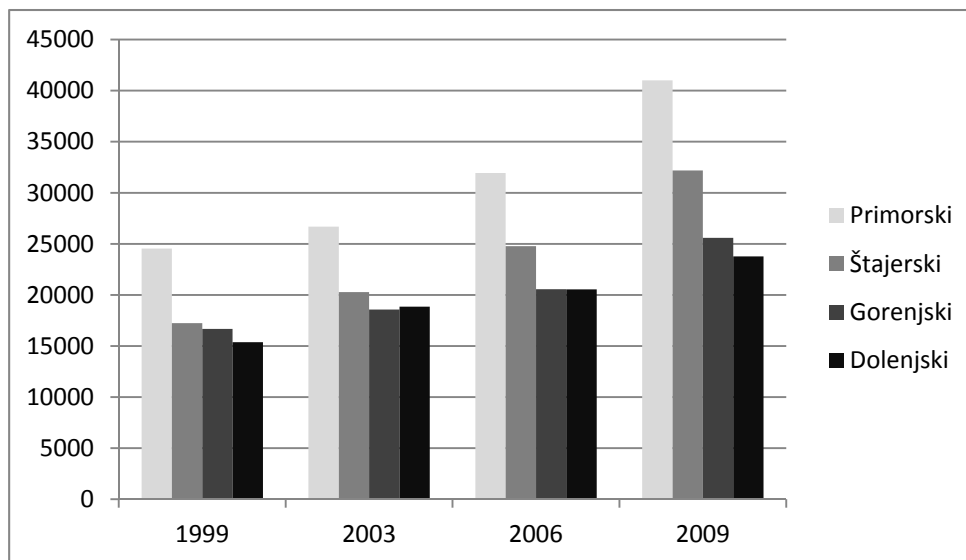
drugo polovico in se bliža koncu. Sprotno in tekoče sledenje prometnim obremenitvam predstavlja pomembno bazo podatkov za načrtovanje, razvoj in vzdrževanje cestne infrastrukture, ki mora zadostiti vse večjemu povpraševanju po prevozu ljudi in blaga.

Podatki o prometnih obremenitvah posameznih cestnih odsekov služijo kot osnova za analizo prometnih gibanj in so nepogrešljivi v procesu načrtovanja ukrepov, ki jih je treba izvesti na cestnem omrežju. Podatki o prometnih obremenitvah avtocest so zbrani s štetjem prometa na karakterističnih lokacijah, to je z avtomatskimi števci, ki štejejo promet v obe smeri in glede na vrste vozil. Prometna obremenitev na posameznem odseku je prikazana z vrednostjo PLDP (povprečni letni dnevni promet), ki je izražena s številom vozil. Analize prometa na državnem cestnem omrežju v zadnjem desetletju nas opominjajo na občutno povečanje le-tega, kar se odraža tudi v stanju starejših betonskih objektov na slovenskem cestnem omrežju (http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Obnovitvena_dela_82.aspx), (12.4.2011).

V letu 2009 se je število vseh registriranih vozil v Sloveniji povečalo za 1,78% glede na leto 2008, kar pomeni povečanje za 23715 vozil. Prav tako je opaziti povečanje prometa na avtocestah in hitrih cestah, najbolj (za 12%) se je povečal promet lahkih in srednjih tovornih vozil, promet osebnih vozil pa se je povečal za 9,6 %. V primerjavi z letom 2008 se je promet vseh motornih vozil v letu 2009 na avtocestah in hitrih cestah povečal za 8,1% (leta 2008 se je v primerjavi z letom 2007 promet povečal za kar 21,2%). Ostali podatki so podani v spodnji preglednici.

Preglednica 2: Promet na glavnih krakih slovenskega prometnega omrežja (PLDP)

	1999	2003	2006	2009
Primorski	24540	26694	31928	41008
Štajerski	17248	20279	24779	32178
Gorenjski	16670	18565	20554	25591
Dolenjski	15374	18847	20541	23778



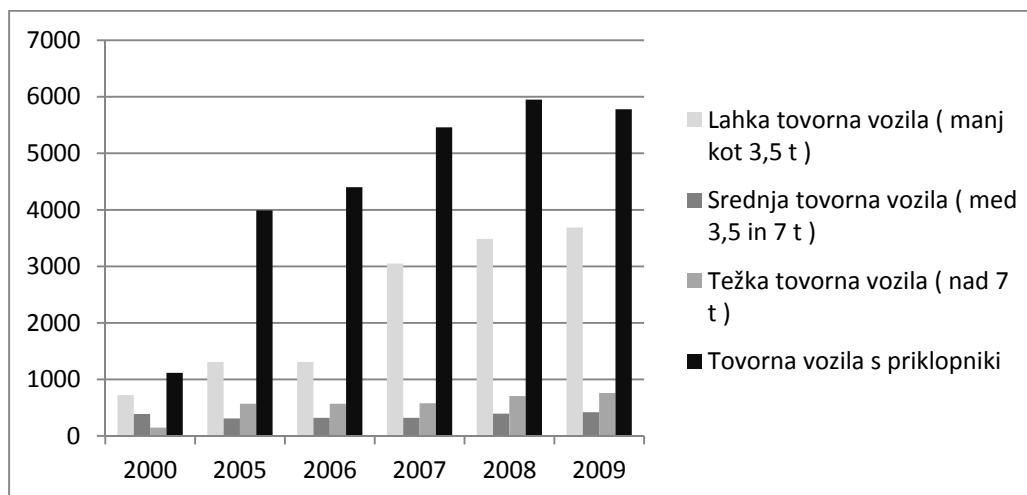
Slika 10: Grafikon rasti prometa na posameznih AC krakih med leti 1999 in 2009

Iz grafikona na sliki 10 lahko razberemo konstantno povečevanje prometa na vseh glavnih krakih slovenskega cestnega omrežja. Predvsem je opaziti velik skok PLDP v letih 2006 in 2009 na primorskem in štajerskem kraku, izrazita je smer Italija-Slovenija-Madžarska, medtem ko se je promet na dolenskem in gorenjskem kraku povečeval skoraj linearno. V obdobju med leti 1999 in 2003 se je promet na primorskem kraku povečal za 8,8%, na štajerskem kraku za 17,6%, na gorenjskem za 11,4%, največ pa na dolenskem kraku (kar za 22,6%).

V obdobju 2006-2009 beležimo skoraj na vseh glavnih krakih največji odstotek povečanja prometa, saj se je promet na primorskem kraku povečal za 28,4%, na štajerskem za kar 29,9%, na gorenjskem za 24,5% ter na dolenskem AC kraku za 15,7%. Zaskrbljujoče je dejstvo, da se je promet v 10 letih, torej med letom 1999 in letom 2009 na vseh glavnih AC krakih v Sloveniji močno povečal, največ, kar za 86,6%, na štajerskem kraku, 67,1% na primorskem, 54,7 na dolenskem in 53,5% na gorenjskem kraku.

Poglejmo še promet v letih med 2000 in 2009 na najbolj obremenjenih krakih AC omrežja, primorskem in štajerskem, glede na vrsto tovarnega prometa. V grafikonih so prikazane vrednosti povprečnega letnega dnevnega prometa.

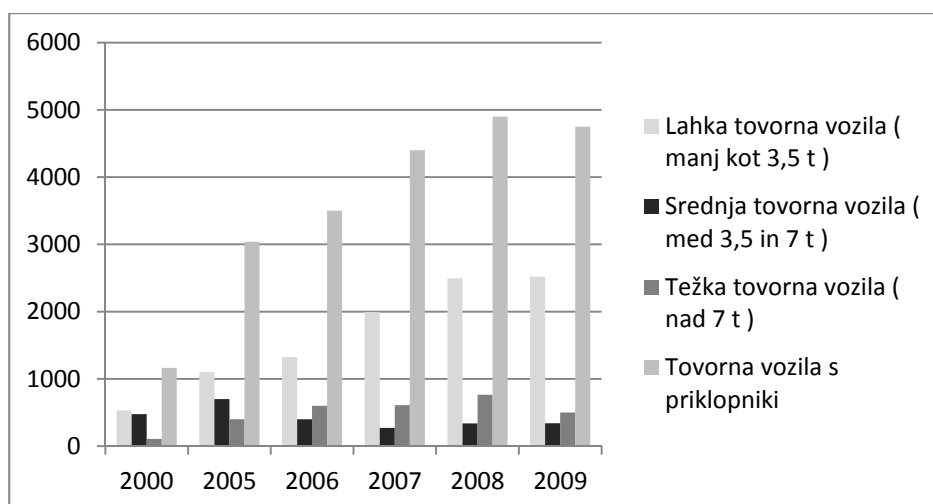
Primorski krak (odsek med Vrhniko in Logatcem)



Slika 11: Promet na primorskem kraku glede na tip tovornih vozil

Na sliki 11 je opaziti je znatno povečanje števila tovornih vozil s priklopniki v letu 2005 v primerjavi z letom 2000, kar pomeni več kot 300 odstotno povečanje. Znatno se je povečalo tudi število lahkih tovornih vozil v letu 2007, za kar 133 odstotkov. Število srednjih in težkih tovornih vozil se malenkostno povečuje iz leta v leto, lahko govorimo o 10 odstotni letni rasti.

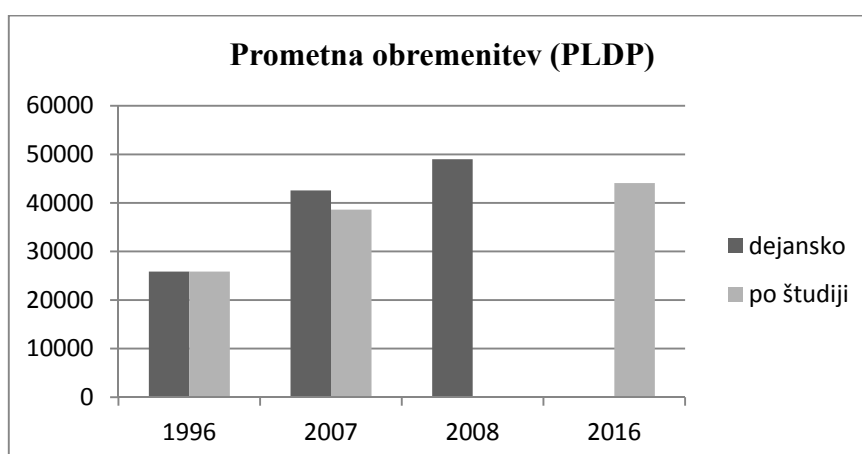
Štajerski krak (odsek med Šentrupertom in Vranskim)



Slika 12: Promet na štajerskem kraku glede na tip tovornega vozil

Trend rasti prometa na štajerskem kraku je zelo podoben trendu na primorskem AC kraku (slika 12). Povečanje števila tovornih vozil s priklopniki naraste v letu 2005 glede na leto 2000 kar za 261%, v naslednjem letu pa najprej za 15%, ter nato še za 25% v letu 2007, ter 9% v letu 2008. V letu 2009 je opaziti rahlo zmanjšanje števila vseh vrst vozil. Število lahkih tovornih vozil se povečuje iz leta v leto skoraj linearno, razen v letu 2009, kjer je opaziti rahel padec. Število srednjih in težkih tovornih vozil je dokaj konstantno in se le malo spreminja iz leta v leto. Podatki o prometnih obremenitvah nakazujejo močno povečanje prometa v zadnjih nekaj letih, predvsem tovornega, ki povzroča največje obremenitve na cestah. Takšno povečanje prometa ja zagotovo pripomoglo k hitrejšemu propadanju starih, kakor tudi novo zgrajenih objektov. Porast PLDP-ja vpliva na trajnost AB objektov skozi hitrejšo obrabo opreme objekta (dilatacij, voziščne konstrukcije, robnih vencev, ograje, ležišč,...) kar se v naslednji fazi odraža kot propadanje AB elementov, ko je omogočen vpliv agresivnih dejavnikov na AB konstrukcijo.

Zanimivo je tudi omeniti primerjavo napovedi po prometnem modelu z dejanskimi prometnimi obremenitvami. Prometni model in pričakovane prometne obremenitve so zapisane v Beli knjigi EU o prometni politiki za leto 2010. Spodaj je prikazan primer primerjave dejanskih prometnih obremenitev s prometnimi obremenitvami iz prometnega modela za AC odsek 0046 Domžale-Šentjakob. Izhodiščno leto v prometnem modelu je 1996, napoved pa je izdelana za ciljno leto 2016. Prikazana je tudi zadnja dejanska vrednost za leto 2008 (povzeto po Košič in Šoba, 2008).



Slika 13: Prikaz odstopanja dejanskih obremenitev in napovedi po študiji v enoti PLDP.

Iz prikaza na sliki 13 je razvidno, da so dejanske vrednosti prometnih obremenitev (PLDP) že v letu 2007 skoraj dosegle tiste, ki so bile napovedane za leto 2016. V naslednjem letu, 2008 so bile omenjene vrednosti že presežene za 11%. Na osnovi sedanjih rasti prometnih obremenitev je pričakovati, da bo do leta 2016 na obravnavanem odseku v enoti PLDP skupaj 56200 vozil na dan, po prometni študiji pa je napoved le 44100 vozil na dan. Razlika med napovedjo po prometni študiji in oceno napovedi glede na rast prometa v zadnjih letih je 28% za leto 2016. Omenjeno napoved lahko povežemo tudi z ugotovitvijo, da so dejanske obremenitve na ceste mnogo večje, kot tiste, na katere so bili cestni objekti projektirani v preteklosti, zato tudi mnogo večje poškodbe na objektih ter zgodnejša zahteva po sanacijah.

Spremembe prometno – tehničnih lastnosti avtocestnih objektov

Z vedno večjimi prometnimi obremenitvami, staranjem zgrajenih avtocest in dograjevanjem avtocestnega omrežja raste tudi obseg potrebnih obnovitvenih del. Obnovitvena dela so zahtevnejša in obsežnejša vzdrževalna dela, katerih temeljni cilj je dolgoročnejša ureditev posameznih delov avtoceste. Izvajajo se periodično glede na stopnjo dotrajanosti ali poškodovanosti vozišč in objektov ter glede na potrebo po izboljšanju njihovih prometno-tehničnih lastnosti, njihove zaščite, varovanja okolja in varnosti prometa.

Med obnovitvena dela na avtocestah sodijo zlasti: dograditev ali zamenjava voziščne konstrukcije; preplastitve ali asfaltne prevleke vozišč; ojačanje voziščne konstrukcije; obsežnejše postavljanje novih ali nadomestitve obstoječih cestnih naprav in ureditev, prometne opreme in prometne signalizacije; sanacija ali dograditev naprav za odvodnjavanje; sanacije ali preureditve brežin; ozelenitve zaradi zaščite ceste in ureditve okolice; sanacije plazov, usadov, posedkov, izpodjedanj in drugih večjih poškodb ceste; posamezne korekcije geometrijskih elementov ceste (krivine, prečni nagib).

Obnovitvena dela na avtocestnih objektih (predorih ali premostitvenih objektih – viaduktih, mostovih, podvozih, nadvozih, opornih in podpornih konstrukcijah) pa obsegajo predvsem: sanacije posameznih konstrukcijskih elementov, vozišča na objektih, sanacijo ali dograditev hidroizolacije, odvodnjavanje z objekta, sanacijo predorskih oblog, opornih in podpornih konstrukcij, sanacije ali zamenjave cestnih naprav in ureditev na objektih, popravila ali

zamenjave ležišč, členkov in dilatacij, prenove anti-korozivne zaščite jeklenih konstrukcij, prenove površinske zaščite betonskih konstrukcij ipd.

Obnovitvena dela pomenijo večje posege v voziščne konstrukcije in objekte na avtocestah. Žal izvedba teh del, s katerimi se zagotavlja normalna prometna varnost in sočasno podaljšuje življenjska doba avtocest, vpliva na pretočnost prometa; ta se je po uvedbi vinjetnega sistema na posameznih odsekih povečal tudi za več deset odstotkov, zato zavora zaradi tako povečanega prometa in še zlasti povečanega prometa tovornih vozil še toliko bolj vpliva na pretočnost prometa, še posebej v prometnih konicah (www.dars.si).

3.4 Pogoji sanacij

Ko pripravljamo projekt sanacije avtocestnih armiranobetonskih objektov, je predvsem zaradi gostote prometa in javnega interesa v večini primerov nemogoče sanacijo opraviti ob popolni zavori ceste katero saniramo. Vse pogosteje je projekt zapore prometa bolj prilagojen prometnemu režimu in drugim družbenim dejavnikom ter parametrom kot pa samemu postopku in tehnologiji projekta sanacije. Razlog so zastoji prometa, ki se pojavljajo ob zavorah zaradi izvajanja sanacij avtocestnih objektov, kar je moteče za uporabnike avtocest, javnost pa je zelo kritična do nastalega problema. Zato so pogoji, v katerih izvajamo sanacijo vse prej kot idealni. Predvsem se to občuti v vibracijah oziroma pomikih, ki jih povzroča promet, ki poteka v okolici saniranega objekta. Problemi se pojavijo tudi, ker po navadi sanacija poteka po delih, namesto da bi jo hkrati opravili na celotnem delu objekta, ki potrebuje popravilo. Sanacija po delih tako pomeni večje število stikov, ki so potencialna slaba mesta in kjer je možnost napak največja. Dejstvo je, da je sanacija po delih in pod prometno obremenitvijo manj kakovostna, kot bi bila ob popolni zavori objekta in izvedbi v eni fazi. To dejstvo pa vpliva tudi na stanje objekta po izteku garancijske dobe. Pojavljajo se težave pri sprijemanju novega materiala s starim, pride do nepopolnega oz nepravilnega strjevanja sanacijskih malt, betonov, ipd. Najbolj kritičen je čas nekaj ur po nanosu sanacijskih materialov na objekt, saj materiali potrebujejo določene pogoje za hidratacijo oziroma vezanje in strjevanje, da bi dosegli zahtevane lastnosti, ki bi saniranemu objektu podaljšali življenjsko dobo za zeleno časovno obdobje.

Zaradi sanacije po delih bi sanacijo premostitvenega AC objekta, čez katerega vodi 4 pasovna cesta izvedli v najmanj štirih fazah, namesto v eni oziroma dveh. Problematična je tako kakovost izvedbe, saj se od izvajalcev zahteva kakovostna izvedba ter dolgoletna garancija. Ob normalnih okoliščinah kakovostna izvedba ne bi bila problematična, vendar pa zaradi prej omenjenih oteževalnih dejavnikov mnogokrat pride do konfliktov, predvsem pri dokazovanju, kaj je predmet garancij.

Omeniti je potrebno tudi zelo stroge zahteve naročnikov. Le te so pogosto mnogo bolj striktne kot pa jih določa standard ali tehnični predpisi, s čimer se izvajalcu omeji nabor materialov in tehnologij, kar vpliva posredno tudi na kakovost izvedbe ali/in na finančno strukturo sanacije (povzeto po Opomnik nadzornim inženirjem, Dars, d.d.).

3.4.1 Problematika izvajanja obnove betonskih in armiranobetonskih objektov v Sloveniji

Beton je tako v svetu kot pri nas pri gradnji objektov že nekaj časa najbolj množično uporabljen material. Sprva je veljalo prepričanje, da gre za trajen material. Poškodbe, ki so se redno pojavljale na betonskih objektih, predvsem pa porušitve nekaterih eminentnih objektov, so pokazale, da v različnih okoljih ni dovolj obstojen in da je življenjska doba betonskih objektov omejena.

Porušitev mostu na Dunaju, predvsem pa kongresne hale v Berlinu leta 1980, sta evropskemu gradbenemu svetu nakazali, kako krhki so lahko betonski objekti, če se jim v smislu obnove ne posveča nič pozornosti. Prevladalo je spoznanje, da je objekte potrebno redno opazovati in vzdrževati ter s sanacijskimi posegi pravočasno preprečiti razvoj poškodb in tako zagotoviti varnost konstrukcij. Propadanje betonskih objektov je zaradi ogromnih stroškov, za njihovo obnovo in zaščito, postalo glavni problem v gradbeništvu, tako v svetu kot tudi pri nas. Na osnovi številnih raziskav so bile izpopolnjene stare in razvite nove metode za ugotavljanje stanja, kot tudi novi materiali in postopki za izvedbo obnove, zaščite in ojačitev betonskih konstrukcij.

V mnogih državah so bile izdane smernice oziroma priporočila za zaščito in vzdrževanje armiranobetonskih objektov. Nekatere med njimi smo v večjem ali manjšem obsegu

uporabljali tudi v Sloveniji, kjer je bilo s tem v zvezi največ storjenega na področju obnove in zaščite mostov. S sprejetjem serije standardov SIST EN 1504- Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij smo tudi v Sloveniji prvič dobili dokumente, ki sistemsko urejajo področje sanacije in zaščite betonskih in armiranobetonskih konstrukcij. Standardi smiselno veljajo tudi za prednapete betonske konstrukcije ter betonske tlake.

V principu pokrivajo celotno področje zaščite in popravil, od ugotavljanja stanja poškodovanih betonskih konstrukcij ter vrste in vzrokov za nastanek poškodb na njih, do ocene stanja poškodb in varnosti poškodovane konstrukcije. Podajajo osnovna pravila glede načrtovanja sanacijskih del, izbire materialov, postopkov in sistemov, kot tudi pogoje za izvajanje del ter pravila za izvajanje kontrole kakovosti. Opredeljujejo tudi obseg in vrsto dokumentacije, ki jo je potrebno pripraviti pred, med in po izvedbi del. Obravnavajo tudi vzdrževanje konstrukcij po opravljenih sanacijskih delih.

Sestavljajo jih naslednji standardi :

SIST EN 1504-1:2005; 1.del: Definicije

SIST EN 1504-2:2004; 2.del: Sistemi za zaščito površine betona

SIST EN 1504-3:2006; 3.del: Konstrukcijska in ne-konstrukcijska popravila

SIST EN 1504-4:2005; 4.del: Konstrukcijsko povezovanje

SIST EN 1504-5:2005; 5.del: Injektiranje betona

SIST EN 1504-6:2006; 6.del: Sidranje armaturnih palic

SIST EN 1504-7:2006; 7.del: Zaščita armature proti koroziji

SIST EN 1504-8:2005; 8.del: Kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti

SIST EN 1504-9:2008; 9.del: Splošna načela za uporabo proizvodov in sistemov

SIST EN 1504-10:2004; 10.del: Uporaba proizvodov in sistemov na terenu in kontrola kakovosti del.

Standardi tako sistematsko in dovolj natančno postavljajo pogoje in zahteve ter pravila, ki naj bi zagotovila pravilno, kakovostno in tehnično korektno izvedbo sanacij.

Načrtovanje

Načrtovanje obnove in zaščite betonskih, zidanih, jeklenih, lesenih in drugih konstrukcij je kompleksna in zelo zahtevna naloga, ki zahteva različna znanja. Le-ta so dobro razvidna iz faz načrtovanja, ki jih kot ključna navaja tudi standard SIST EN 1504-9 :

- registriranje vrste in obsega poškodb ter ocena stanja konstrukcije
- identifikacija vzrokov za nastanek poškodb
- preveritev varnosti konstrukcije
- odločitev o obsegu in potrebnih ukrepih
- izbira osnovnega principa sanacije, zaščite ali ojačitve
- izbira materialov in metod
- definiranje lastnosti posameznih materialov ali sistemov , ki bodo uporabljeni pri izvedbi
- definiranje kontrole kakovosti uporabljenih materialov in izvedenih del
- specifikacija vzdrževalnih del po opravljeni sanaciji.

Ena od bistvenih faz, ki je v vsakdanji praksi pri nas vse prevečkrat površno obdelana ali celo izpuščena, je identifikacija vzrokov za nastanek poškodb.

Z ustreznimi preiskavami materialno tehničnega stanja in analizami konstrukcije je v večini primerov mogoče zanesljivo ugotoviti vzroke za nastanek poškodb, oceniti trenutno stanje ter napovedati posledice za varnost in funkcionalnost objekta oz. kako bodo nadaljnje obremenitve in poškodbe vplivale na njegovo življenjsko dobo.

V projektih sanacij tovrstne preiskave vse prevečkrat izostanejo. Tako predstavljajo osnovo za nadaljnje projektiranje le vizualni pregledi, ki v določenih primerih sicer dajo zadostno informacijo o vzrokih poškodb in stanju objekta, v večini primerov pa so pomanjkljive, včasih tudi zavajajoče.

Težave, ki se najpogosteje pojavljajo pri projektiranju sanacij pri nas, so običajno vezane na preiskave materialno tehničnega stanja objekta pred sanacijo, na tehnološki del projekta, izbiro materialov in postopkov za izvedbo sanacije in zaščite ter na detajle.

Pri izbiri materiala in postopka za izvedbo sanacije ima poleg ugotovitve vzrokov za nastanek poškodb ključno vlogo jasno opredeljen cilj, ki ga s sanacijo želimo doseči. Tako je pri

projektiranju sanacij poleg varnosti in funkcionalnosti potrebno upoštevati tudi načrtovano življenjsko dobo saniranega objekta in temu primerno izbrati material oz. postopek sanacije.

Detalji so bistveni pogoj dobrega projekta, tako novogradnje kot sanacije. Projekti mnogokrat »padejo« ravno zaradi slabo ali nepopolno obdelanih detajlov.

Izvedba

Bistven pogoj za uspešno izveden sanacijski projekt je poleg kvalitetnega načrtovanja tudi kakovostna izvedba načrtovanih del. Še tako dober načrt sanacije je popolnoma degradiran, če je izvedba površna in nestrokovna.

V pionirskem obdobju v 70 letih so sanacijska dela pri nas izvajali redki izvajalci, ki so bili v glavnem za svoje delo dobro usposobljeni. S povečevanjem obsega del se je na trgu pojavilo vedno več izvajalcev, katerih znanje, usposobljenost in strokovnost so bili vprašljivi. Stanje se je bistveno poslabšalo v zadnjem obdobju, predvsem v letu 2009, ko je v svetu in pri nas zavladala recesija, gradbeništvo pa je po letih investicijskega »buma« zajela najhujša kriza po 2. svetovni vojni.

Rezultat krize je pomanjkanje dela. Pojavlja se vse več izvajalcev brez ustreznih referenc in izkušenj, brez ustrezne izobrazbe in znanja, tudi na zelo zahtevnih sanacijskih projektih, kjer ne gre samo za funkcionalnost in estetiko, temveč za varnost konstrukcije (npr: pri sanaciji in zaščiti korozijsko poškodovanih konstrukcij ali celo pri ojačevanju le-teh!).

S problemom izvajanja sanacijskih del se spopadajo tudi ostale države v EU-ju. Nekatere med njimi ta problem rešujejo s sprejetjem nacionalnih standardov, ki po eni strani uvajajo obvezno uporabo 9. in 10. dela standarda EN 1504, po drugi strani pa morajo izvajalci dokazovati svojo usposobljenost. Tako je npr. Avstrija v letu 2009 sprejela nacionalni standard ÖNORM B 4706, ki v svojem 7 členu postavlja pogoje za podjetja, ki izvajajo dela na obnovi in zaščiti betonskih konstrukcij.

Skladno s tem standardom sme obnovitvena in ojačitvena dela na konstrukcijah izvajati samo ustrezno izobražena, usposobljena in izkušena ekipa. Podjetja, ki ta dela izvajajo morajo svojo usposobljenost dokazovati z dokazili o šolanju ter usposabljanju svojih delavcev in strokovnih oseb. Referenčni objekti in izvedbe posameznih sanacijskih del morajo biti dokumentirani in

potrjeni. Sicer pa tudi SIST EN 1504-9 v členu 10 aneksa A govori o tem, da morajo tako načrtovalci, kot izvajalci in nadzorniki sanacij in zaščit betonskih konstrukcij imeti ustrezne kompetence. Bolj natančno le-te niso specificirane, zato jih ureja vsaka država po svoje z nacionalnimi dodatki. V že omenjenih ÖNORM so za kompetentnost izvajalca zahtevana naslednja dokazila: pogodba o izvajanju kontrole, ki je sklenjena z akreditiranim preizkuševalcem in nadzornikom, potrdila o kvalitetni izvedbi sanacij na referenčnih objektih ter potrdila o šolanju in usposabljanju delavcev in strokovnega osebja.

Natančneje so postopki pridobivanja zgornjih dokazil opredeljeni v avstrijskih smernicah ÖVBB-Richtlinie »Erhaltung und Instandsetzung von Bauten auf Beton und Stahlbeton«, ki ga je pripravilo Avstrijsko združenje za beton in gradnjo (ÖVBB). Smernice kot ustrezno nadomestilo za zgoraj navedena dokazila dovoljujejo tudi uporabo znaka kakovosti- ÖVBB – Gütezeichen »Instandsetzungsfachbetrieb«, ki sanacijska dela razvršča v več skupin:

- temeljenje in temeljna tla,
- konstrukcijske sanacije,
- nekonstrukcijske sanacije,
- impregnacije, zaščitni premazi in preplastitve,
- injektiranje,
- posebne izvedbe (povzeto po ÖNORM, 2009 in ÖVBB).

Na podoben način bodo probleme pri izvedbi sanacijskih projektov reševali tudi v Nemčiji, kjer po informacijah njihovega osrednjega instituta za gradbeništvo BAM potekajo intenzivne priprave za sprejem nacionalnega standarda, ki bo urejal to področje. Pri obravnavi kvalitete načrtovanja in izvajanja sanacijskih del ne moremo niti mimo javnih razpisov. V večini javnih razpisov je edino merilo za izbiro izvajalca najnižja cena. Usposobljenost kadrov, reference in drugi pogoji so sicer dostikrat sestavni del razpisne dokumentacije in pogoj za kandidiranje na javnem razpisu, vendar največkrat niso jasno definirani. Najnižja cena med kompetentnimi izvajalci je gotovo najpomembnejše merilo za pridobitev dela, treba pa se je zavedati, da prenizke cene vodijo v poenostavljanje, iskanje poceni rešitev in dolgoročno v bistveno višje stroške od prvotno predvidenih. Zato bi bilo smiselno po vzgledu nekaterih drugih evropskih držav pri razpisih najprej definirati pojem »dumping«, nato pa pri razpisih tudi izločiti »dumping« ponudbe oziroma izločiti ceno kot najpomembnejše merilo za pridobitev posla.

S sprejetjem standardov SIST EN 1504 1-10 se je v Sloveniji dokaj dobro uredilo področje kontrole in ugotavljanja skladnosti proizvodov, namenjenih za sanacijo in zaščito betonskih konstrukcij. Še vedno pa ostaja kopica nerešenih problemov na področju načrtovanja in izvajanja sanacijskih del. Ker gre pri sanacijah betonskih konstrukcij v prvi vrsti za varnost objektov in za izredno visoke stroške, bi bilo nujno urediti tudi omenjeni področji. Gre pravzaprav za vprašanje nacionalne ekonomije! Smiselno bi bilo, da se področji uredita po avstrijskem zgledu s sprejetjem obvezne uporabe standardov SIST EN 1504 del 9 in 10 ter z nacionalnim dodatkom, ki bi predpisal tudi pogoje, ki bi jih morali izpolnjevati načrtovalci, izvajalci in nadzorniki pri obnovi in zaščiti betonskih konstrukcij (Leskovar, 2010).

3.4.2 Predstavitev serije standardov SIST EN 1504

Z namenom ohranjanja grajenega okolja kakor tudi z ekonomskega vidika se vedno več lastnikov raje odloča za popravilo ali prenovo obstoječih objektov, kakor pa za njihovo porušitev in izgradnjo novih objektov. S popravilom se zagotavlja obstoječa uporaba, s prenovo pa nadaljnja uporaba objekta. S popravilom se ohranja namen, značaj in varnost obstoječega objekta.

Prenova ustvari novo stanje objekta s spremembo njegovega namena ali značaja. Ne glede na te razlike, se postopki popravila ali prenove pogosto opirajo na enake sisteme. Prav tako se lahko pri obeh uporabljajo enaki materiali oziroma proizvodi.

Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij so pri nas regulirani s serijo standardov SIST EN 1504 -Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti.

Serijo teh standardov sestavlja 10 delov:

1. del: Definicije
2. del: Sistemi za zaščito površine betona
3. del: Konstrukcijska in nekonstrukcijska popravila

4. del: Konstrukcijsko povezovanje
5. del: Injektiranje betona
6. del: Sidranje armaturne palice
7. del: Zaščita armature proti koroziji
8. del: Kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti
9. del: Splošna načela za uporabo proizvodov in sistemov
10. del: Uporaba proizvodov in sistemov na terenu in kontrola kakovosti del .

Vsi standardi imajo status veljavnosti. Standardi SIST EN 1504-2 do 8 so harmonizirani, ker so vezani na proizvodnjo materialov – proizvodov, ki se uporabljajo za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij.

Ostali standardi SIST EN 1504-1, SIST EN 1504-9 in SIST EN 1504-10 pa niso harmonizirani. V nadaljevanju bodo na kratko predstavljeni zgoraj omenjeni standardi, predvsem glede na njihovo področje uporabe in njihov namen.

Definicije

V standardu SIST EN 1504-1:2005 so podani in obrazloženi izrazi in definicije, ki se uporabljajo v seriji standardov SIST EN 1504.

Razvrščeni so v tri skupine:

1. splošni termini in definicije,
2. termini in definicije bistvenih kategorij proizvodov in sistemov,
3. termini in definicije bistvenih vrst kemikalij in sestavin proizvodov ter sistemov za zaščito in popravilo.

Podani in obrazloženi so naslednji izrazi in definicije:

- v prvi skupini: sarža, napovedana vrednost, preskus istovetnosti, zmogljivost, zahteve zmogljivosti, preskus zmogljivosti, proizvod, sistem in tehnologija;
- v drugi skupini: proizvodi in sistemi za sidranje, proizvodi in sistemi za injektiranje, proizvodi in sistemi za nekonstrukcijsko popravilo, proizvodi in sistemi za zaščito armature,

proizvodi in sistemi za konstrukcijsko povezovanje, proizvodi in sistemi za konstrukcijsko popravilo ter proizvodi in sistemi za površinsko zaščito;

- v tretji skupini: različni dodatki, premazi, hidravlična veziva, malte in betoni, impregnacije, s polimerom modificirane malte in betoni, polimerne malte in betoni, reaktivno polimerno vezivo (povzeto po SIST EN 1504-1).

Sistemi za zaščito površine betona

Standard SIST EN 1504-2:2004 navaja zahteve za ugotavljanje:

- istovetnosti,
- zmogljivosti (vključno z obstojnostjo),
- varnosti in
- ocene skladnosti proizvodov in sistemov.

Ti proizvodi in sistemi se uporabljajo za površinsko zaščito:

- novo vgrajenega betona,
- vzdrževanega betona in
- prenovljenega betona.

S tem se povečuje obstojnost betonov ter trajnost betonskih in armiranobetonskih konstrukcij.

Standard obravnava naslednje metode površinske zaščite:

1. hidrofobna impregnacija: prepreči vdor vode v strukturo betona, kar zmanjšuje verjetnost degradacije zaradi agresivnih vplivov. Metoda je uporabna pri novih in obstoječih betonskih površinah. Pri tem postopku proizvod za hidrofobno impregnacijo penetrira v beton, s čimer se doseže vodoodbojnost betonske površine.

2. impregnacija: postopek omogoči zaščito betonske površine s tem, ko proizvod za impregnacijo prodira v beton in zapolni sistem por.

3. premaz: pri tem postopku zaščitno sredstvo le apliciramo na betonsko površino, tako da ustvarimo zaščitni sloj (povzeto po SIST EN 1504-2).

Konstrukcijska in nekonstrukcijska popravila

Standard SIST EN 1504-3:2006 obravnava sanacijske malte in betone, ki se lahko uporabljajo z ostalimi proizvodi in sistemi. Te malte in betoni se uporabljajo za obnovo in/ali zamenjavo poškodovanega betona in za zaščito armature, z namenom podaljšanja trajnosti betonske konstrukcije, izpostavljene degradacijskim vplivom.

Standard podaja zahtevo o tlačni trdnosti sanacijskega materiala, ki naj bo večja od 80% vrednosti, ki jo zagotavlja proizvajalec sanacijskega materiala. Preizkus tlačne trdnosti naj bo opravljen v skladu s standardom SIST EN 12190:2000.

V tem delu standarda je prikazana razvrstitev sanacijskih materialov, glede na razrede odpornosti. Razredi skupaj z zahtevami so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: Razredi odpornosti sanacijskih materialov

Lastnost	Standard	Konstrukcijska popravila		Nekonstrukcijska popravila	
		Razred R4	Razred R3	Razred R2	Razred R1
Tlačna trdnost	EN 12129	≥ 45 MPa	≥ 25 Mpa	≥ 15 Mpa	≥ 10 Mpa
Održna trdnost	EN 1542	$\geq 2,0$ Mpa	$\geq 1,5$ Mpa	$\geq 0,7$ Mpa	
Modul elastičnosti	EN 13412	≥ 20 Gpa	≥ 15 Gpa	≥ 10 Gpa	

(povzeto po SIST EN 1504-3)

Pomembni zahtevi, ki jima bo potrebno zadostiti pri laboratorijskih preiskavah, sta predvsem zahteva glede vrednosti odtržne trdnosti, ki za nekonstrukcijska popravila znaša vsaj 0,7 MPa in vrednosti tlačnih trdnosti malt za razred R3 in R4. Malti, ki sta bili uporabljeni spadata v razreda R3 in R4 (povzeto po SIST EN 1504-3).

Standard obravnava tudi področja aplikacije, ki so skladna s standardom SIST EN 1504-9:2008 in so prikazana v preglednici 4.

Preglednica 4: Področja aplikacij in metode dela

Načelo	Metoda
3 obnova betona	3.1 ročni nanos malte 3.2 ponovno vgrajevanje betona 3.3 brizganje malte ali betona
4 konstruktivno ojačanje	4.4 dodajanje malte ali betona
7 ohranjanje ali obnova pasiviziranosti	7.1 povečanje zaščitnega sloja z malto ali betonom 7.2 zamenjava kontaminiranega ali karbonatiziranega betona

(povzeto po SIST EN 1504-9)

Zaščita armature proti koroziji

Standard SIST EN 1504-7:2006 obravnava proizvode ter sisteme, ki se uporabljajo za zaščito vgrajene jeklene armature pred korozijo, pri čemer so:

- aktivni premazi so premazi, ki vsebujejo elektrokemične aktivne pigmente; (delujejo kot inhibitorji/zaviralci ali zagotavljajo lokalizirano katodno zaščito). Inhibitorji so snovi, ki se dodajo mešanici betona za zaviranje korozije jekla. Poznamo anodne, katodne in mešane inhibitorje. Katodni inhibitorji zmanjšajo hitrost reakcije katodne redukcije kisika.
- zaščitni premazi so premazi, ki izolirajo armaturo pred vodo v porah obdajajoče cementne matrice. Zmanjšajo vpliv agresivnih medijev iz okolice (povzeto po SIST EN 1504-7).

Kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti

Standard SIST EN 1504-8:2005 obravnava postopke kontrole kakovosti in ovrednotenje skladnosti, vključno z označevanjem in etiketiranjem proizvodov in sistemov za zaščito in popravilo betona glede na standarde SIST EN 1504-2 do 7 (povzeto po SIST EN 1504-8).

Splošna načela za uporabo proizvodov in sistemov

Standard SIST EN 1504-9:2008 podrobno obravnava specifikacijo zaščite ter popravila armiranih in nearmiranih betonskih konstrukcij (kot na primer: vozišča, vzletne in pristajalne steze za letala, talne plošče in prednapete konstrukcije) z uporabo proizvodov in sistemov, ki so opisani v ostalih delih iz serije standardov SIST EN 1504 oziroma iz drugega primerne evropskega standarda ali evropskega tehničnega priporočila. Standard pokriva zunanje, podzemne in podvodne konstrukcije (povzeto po SIST EN 1504-9).

Uporaba proizvodov in sistemov na terenu in kontrola kakovosti del

Standard SIST EN 1504-10:2004 podaja zahteve za stanje podlage pred in med aplikacijo, zahteve za stabilnost sestave, način shranjevanja, pripravo in aplikacijo proizvodov ter sistemov za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij, kakor tudi zahteve za kontrolo kakovosti, za vzdrževanje, zdravje, varnost in okolje.

Podrobno so predstavljene metode in postopki, s katerimi zadostimo zahtevam glede na vzroke poškodb. V preglednici 5 so navedeni vzroki poškodb, za katere standard predpisuje potrebne postopke in metoda preverjanja, za zagotovitev kakovosti del.

Preglednica 5: Principi zaščite in popravil betona podani v standardu SIST EN 1504-10

Principi in postopki glede na poškodbe v betonu	
Princip 1 (IP)*	Zaščita proti vdiranju snovi
Princip 2 (MC)	Obvladovanje vsebnosti vlage v betonu
Princip 3 (CR)	Obnovitev betona
Princip 4 (SS)	Ojačitev konstrukcije
Princip 5 (PR)	Fizikalna odpornost
Princip 6 (RC)	Odpornost proti kemikalijam
Principi in postopki v zvezi s korozijo armature	
Princip 7 (RP)	Ohranjanje in ponovna vzpostavitev pasiviziranosti
Princip 8 (IR)	Povečevanje električne upornosti
Princip 9 (CC)	Obvladovanje katodnih območij
Princip 10 (CP)	Katodna zaščita
Princip 11 (CA)	Nadzor anodnih in katodnih področij

*Kratice v oklepajih so prve črke angleškega poimenovanja principa, npr.: Ingress Protection (povzeto po SIST EN 1504-10)

Standard SIST EN 1504-10:2004/AC:2005 pa podaja samo popravke slovničnih napak v tekstu standarda SIST EN 1504-10:2004.

Za serijo standardov SIST EN 1504 velja, da v zadostni meri podajajo in obravnavajo vse proizvode ter sisteme za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij. Priprava teh standardov temelji na dolgoletnih izkušnjah evropskih strokovnjakov, ki so bile že predhodno podane v različnih priporočilih in smernicah posameznih držav. Vsekakor pa bo šele dolgoletna uporaba v praksi pokazala njihovo pravo vrednost. Pokazale se bodo tudi morebitne pomanjkljivosti, ki se bodo morale upoštevati pri naslednjih izdajah ali dopolnitvah teh standardov, v katerih bodo upoštevana tudi nova spoznanja iz področja zaščite in popravil betonskih konstrukcij.

Dosedanje izkušnje pri uporabi teh standardov v naši praksi pa med drugim kažejo na še eno dodatno pomanjkljivost. Vsi standardi so sprejeti v angleškem jeziku, kar bi sicer naj ne predstavljalo velike oziroma nepremostljive ovire. Za večino uporabnikov ne predstavlja problem splošno razumevanje vsebine posameznih standardov, problem nastopi pri natančnejšem razumevanju posameznih izrazov, kar lahko pripelje do napačne uporabe posameznih določil.

S prevodom celotne serije standardov SIST EN 1504 bi se poenotili slovenski izrazi za določene pojme, s čimer bi postala uporaba standardov lažja in predvsem pravilna, kar je eden od osnovnih pogojev za doseganje kakovostne izvedbe zaščite in popravila betonskih konstrukcij (povzeto po Šušteršič, 2010).

3.4.3 Postopek sanacije armiranobetonskih objektov

Projektiranje, gradnja in vzdrževanje zgrajenih armiranobetonskih objektov je kompleksen in drag proces. Zato je kakovost zgrajenih objektov pomemben element izvedbe gradnje. Pri tem sta odločilnega pomena kakovost materialov in trajnost konstrukcijskih delov. Vendar imajo tudi gradbeni materiali – kot vse ostale stvari na svetu – svojo življenjsko dobo. To velja tudi za beton, čeprav je vrsto let veljal za »trajen« material, s katerim lahko gradimo večne objekte, ki med svojo uporabo zahtevajo malo vzdrževalnih del ali drugih dodatnih posegov. Beton je v okviru svoje eksploatacijske dobe izpostavljen vrsti negativnih vplivov, je pa tudi

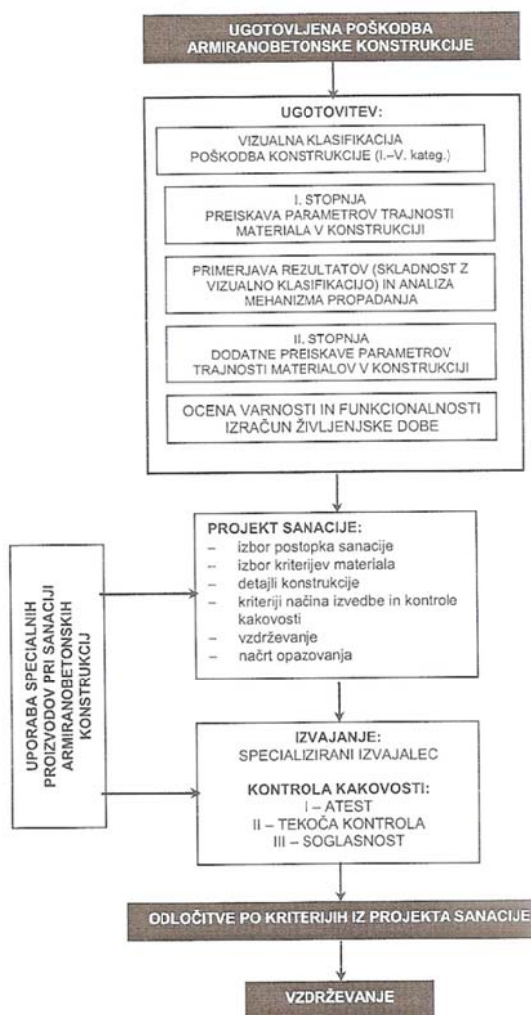
zelo kompleksen material, ki v svoji strukturi zajema več elementov tveganja, ki ustvarjajo potencialne vzroke za pojav degradacije betonske konstrukcije.

Temeljno razumevanje osnovnih vzrokov, ki povzročajo propadanje betona, je pomembno za izvajanje smiselnih vrednotenj nastalih težav in uspešnost sanacije. Če razumemo vzroke propadanja betona, lahko ustrezneje izberemo primeren sistem sanacije, tako da bo dosežena maksimalna življenjska doba saniranega objekta.

Pri obravnavanju poškodovanega betona moramo ločiti simptome oziroma pokazatelje poškodovanosti betona od dejanskih vzrokov propadanja. Zelo je pomembno, da se pri nadaljnjem razmišljanju osredotočimo na vzroke, ne pa na simptome poškodovanega betona, (na primer pojavljanje razpok v betonu, ki so simptom prekoračenih napetosti v betonu, za kar obstaja več vzrokov). Izbira pravilnega sanacijskega sistema oz tehnike je v največji meri odvisna od vzrokov, ki povzročajo poškodovanost betona. Šele ko poznamo vzrok ali vzroke, ki povzročajo propadanje betona, se lahko racionalno odločimo za sanacijski postopek, s katerim bomo sanirali poškodovani objekt. Zato situacije oziroma težave, v katerih se znajdejo lastniki in upravljalci armiranobetonskih konstrukcij, ko opazijo prve poškodbe na objektih in se odločajo o ustreznih ukrepih, niso več redke in neznane. Vse več armiranobetonskih objektov je dandanes treba tako ali drugače revitalizirati (sanirati, obnoviti, rekonstruirati, ojačiti,...)

Pravilen način za reševanje te problematike mora obsegati sledeče elemente:

- ocena stanja obstoječega objekta
- diagnoza stanja konstrukcije in zasnova koncepta sanacije
- izbira sanacijskih metod in postopkov
- priprava projektnih načrtov in specifikacij
- izbira izvajalca
- izvedba sanacijskih del
- kontrola kakovosti



Slika 14: Postopek sanacije betonskih objektov

Vir: Grum Bojan, 2004, Sanacije betonskih objektov,

Ocena stanja obstoječega objekta

Ocena trenutne zanesljivosti obstoječe konstrukcije temelji na ugotovljenem stanju konstrukcije na podlagi pregleda in meritev konstrukcije ter preizkusov vgrajenih materialov. Pri tem se lahko zgodi, da tako pridobljene informacije niso celovite in popolnoma zanesljive, zato je potrebno takšne praznine zapolniti z inženirsko presojo. Skoraj vse preiskave, ki se za ta namen uporabljajo, so namreč indirektno oziroma neporušne ter običajno zahtevajo ustrezno inženirsko tolmačenje. Stanje obstoječih konstrukcij naj zato ocenjujejo

strokovnjaki, ki imajo dovolj izkušenj s področja tehnologije betona in postopkov grajenja ter široko znanje o mehanizmih propadanja betona.

Ko začnemo razmišljati o sanaciji objekta, je prvi korak ugotovitev stanja obstoječe konstrukcije. Pod tem pojmom smatramo pregled obstoječe tehnične in projektne dokumentacije, analize propadajočih delov konstrukcije, pregled dokumentov predhodno končanih sanacij ali popravil, pregled dokumentacije vzdrževalnih del, vizualni pregled konstrukcije, porušni in neporušni testi materiala ter laboratorijski testi vzorcev betona.

V preglednici 6 so navedene bistvene poškodbe ter pomanjkljivosti betona in armature, ki jim je med pregledom treba nameniti pozornost, ter podatki, ki jih je treba pridobiti s preprostimi meritvami in osnovnimi preizkusi.

Preglednica 6: Bistvene poškodbe in pomanjkljivosti betona

Simptomi poškodb	Vrsta in oblika poškodbe	Osnovne preiskave
Razpoke	Nastale pred strditvijo betonain zaradi napak pri betoniranju	Dolžina, širina in odprtina razpoke
	Zaradi preobtežbe, vsiljenih ali oviranih deformacij	
	Zaradi kemijskih procesov	
	Zaradi korozije jekla vzdolž armaturnih palic ali kablov	
Mehanske poškodbe betona	Odlom zaradi udarca	Velikost, površina
	Erozijske ali kavitacijske zajede	Globina
	Abrazija površine	
Napake betoniranja	Gnezda, votlavost, manjkajoče vezivo	Velikost, površina
	Slojevitost	
	Razkrita armatura	Dolžina
Vlažna mesta, zamakanje	Na površini-skozi beton	Velikost, površina

	Skozi stike	
Razpadanje betona	Zaradi zmrzovanja ali kemičnih vplivov: krušenje, drobljenje, lomljenje	
	Zaradi zmrzovanja in talilnih soli: luščenje	
	Zaradi korozije armature: Odpadanje zaščitnega sloja	
Kakovost zaščitnega sloja	Odstopanje od podlage	Pretrkavanje
	Debelina	Profometer
	Globina karbonatizacije, poroznost	Fenolftalein
	Vsebnost in razpored kloridov	Kemična analiza
Jeklo za armiranje	Korodiranost	Obseg
	Zmanjšanje prereza oz pretrg palic	Preostali premer

(povzeto po Concrete repair manual, 2007)

Pravilne ugotovitve o stanju konstrukcije, predvsem stopnja in vrsta poškodovanosti, so osnova za nadaljnje projektiranje sanacijskih postopkov oziroma prenehanja ali spremembe načina rabe objekta.

Diagnoza stanja konstrukcije in zasnova koncepta sanacije

Rezultati opazovanj in podatki s terenskih in laboratorijskih raziskav podajo materialno-tehnično stanje objekta z vsemi evidentiranimi poškodbami na konstrukciji. S pomočjo dobljenih podatkov se ocenita trenutna eksploatacijska sposobnost objekta in tveganje za nadaljnjo uporabo konstrukcije glede na ugotovljeno stanje le te.

Nato je potrebno glede na vse razpoložljive podatke določiti mehanizem oziroma mehanizme, ki povzročajo propadanje betona. Ker se veliko poškodb na konstrukciji pojavi zaradi večih

mehanizmov propadanja, je nujno poznavanje osnovnih vzrokov propadanja betona, da lahko dejansko ugotovimo, kaj se dogaja z določenim delom betonske konstrukcije. Zelo pomembno je dejstvo, ki ga moramo pri sanacijah vedno upoštevati: brez znanih vzrokov nastanka poškodb in njihovih posledic za objekt se le-teh ne da uspešno odpraviti.

Ključnega pomena je pravilna ocena problema, saj je pogosto odločujoči faktor, ki pove ali bo sanacija uspešna ali ne. Zlasti je pomembna pri ocenjevanju stroškovne učinkovitosti projekta sanacije. Preden nadaljujemo s sanacijskimi prizadevanji, se moramo prepričati, da so bile poškodbe na konstrukciji, ki so bile ugotovljene v prejšnjem koraku in ki jih moramo sanirati, pravilno in dovolj strokovno ocenjene. Predvsem se to nanaša na vzroke nastanka, učinke na konstrukciji, ki jih povzročajo in stopnjo vpliva, ki ga imajo na sedanje in dolgoročno vzdrževanje konstrukcije oziroma celotnega objekta.

Obseg sanacijskih del, za katerega se bo lastnik oziroma upravljalec odločil, je odvisen od želenega stanja objekta po sanaciji, ki pa običajno ni identično stanju objekta po zgraditvi. Željeno stanje objekta je odvisno od trenutnega stanja in dejanskih možnosti za ekonomsko smiselno sanacijo, od načrtovane tehnološke potrebnosti objekta, od obsega razpoložljivih sredstev in številnih drugih, manj pomembnih vzrokov. Željeno stanje pa je vsekakor stanje objekta, v katerem so zagotovljene njegove za načrtovano uporabo potrebne funkcije.

Šele, ko je v celoti zaključena ocena stanja objekta, lahko inženir razvije oziroma predlaga primeren projekt sanacije, predlaga primerne materiale ter pripravi potrebne načrte in dokumentacijo.

Izbira sanacijskih metod in postopkov

Potem ko smo že določili osnovne vzroke poškodb na konstrukciji, sledi odločitev o izbiri primernih sanacijskih materialov in metod.

Pri tem moramo upoštevati:

- a) prilagoditve ali popravke/spremembe, ki so potrebne, da omejimo vzroke poškodb oz propadanja betona, če je to mogoče. Na primer sprememba vzorca vodne drenaže,

- korekcija diferencialnih posedkov temeljev, izločiti vire, ki povzročajo kavitacijo, omejiti izpostavljenost škodljivim snovem.
- b) omejitve, kot so dostop do objekta, obratovalni čas objekta, projektno življenjsko dobo saniranega objekta in vreme.
 - c) okoliščine, na katere ne moremo vplivati, kot so neprestana izpostavljenost kloridom, solem in škodljivim kemikalijam.
 - d) okoljske omejitve, ki igrajo pomembno vlogo pri izbiri materialov in tehnologij sanacije. Skrbi nam lahko na primer povzročajo vodni hlapi v zraku, ki diktirajo uporabo različnih neprepustnih membran, premazov, ... Okoljske omejitve so urejene s strani zakonodajnih organov, priporočljivo pa je upoštevati tudi zdrav razum.
 - e) prednosti in slabosti trajnih sanacij v primerjavi z začasnimi sanacijami. Izbrati moramo take materiale in tehnike sanacije, ki bodo zagotovili življenjsko dobo, ki je namenjena saniranemu objektu.
 - f) varnost konstrukcije pred, med in po sanaciji. Sanacijska dela pogosto vključujejo odstranjevanje betona in armature, kar vpliva na strižne, upogibne, natezne in tlačne nosilnosti konstrukcije. Priporočljivo je opraviti statični izračun, ki mora upoštevati tudi učinke odstranjenega materiala ter volumske spremembe zaradi temperaturnih sprememb. Pozornost moramo nameniti tudi stikom, negativnim momentom v ploščah, nosilcih, konzolah in vozliščih, stebrom... Če je potrebno, moramo zahtevati začasne podpore in/ali ojačitve konstrukcije.
 - g) materiale in metode, ki so na voljo, predvsem pa tehnično izvedljivost izbranega sanacijskega sistema. Pri izbiri materialov moramo upoštevati, da tehnični podatki o materialih s strani proizvajalca niso vedno dovolj za optimalno odločitev. Pogosto se dogaja, da je material uporabljen v drugačnih pogojih, ponavadi slabših, kot pa je to predvidel proizvajalec.
 - h) zmogljivost in strokovno usposobljenost potencialnega izvajalca za uporabo posebnih materialov in specialnih tehnologij.

Na podlagi zgoraj omenjenih priporočil, se odločimo za najbolj ekonomično kombinacijo materialov in tehnologij sanacije ob upoštevanju, da je izvedljiva glede na okoliščine, v katerih se nahaja objekt.

Priprava projektnih načrtov in specifikacij

Prehod iz dejanskega stanja objekta v želeno stanje definira projekt sanacije, ki ne poda samo najboljše možne variante sanacije, ampak predpiše tudi način zagotavljanja kakovosti uporabljenih materialov in izvedenih del. Zasnova koncepta sanacije, ki je oblikovan v skladu z zahtevami glede uporabnosti gradbenega objekta, pomeni podlago za izdelavo projekta sanacije konstrukcije. Pri tem se morajo vnaprej poznati realne možnosti izvedbe sanacije, da se uporabijo ustrezni sanacijski materiali in delovni postopki. Z namenom uporabe najprimernejše tehnologije je torej potrebno sodelovanje s strokovnjaki več strok, s pomočjo katerih se izdelata načrt za celosten, kvaliteten in racionalen poseg v konstrukcijo.

Da bo izvedba sanacije pravilna in učinkovita, mora biti projekt sanacije jasno zasnovan in opredeljen v skladu s tehničnimi pogoji in priporočili, ki veljajo za izvedbo sanacijskih del na armiranobetonskih konstrukcijah.

Ker celotnega obsega poškodovanega betona na konstrukciji ne poznamo natančno, dokler ne začnemo z odstranjevanjem le tega, moramo načrte pripraviti tako, da so možni kasnejši popravki. Točne količine odstranjenega materiala, priprava površine, zamenjava poškodovane armature in količine sanacijskih materialov lahko določimo šele po točni določitvi obsega poškodovanosti betona. Natančno spremljanje sanacijskih del nam omogoči zmanjšati odstopanja dejanskih količin od predhodno ocenjenih. V primeru, ko je poškodovanost konstrukcije velika oziroma ko pričakujemo odstranjevanje betona v velikem obsegu, je zelo priporočljivo vključiti določbe o začasnih konstrukcijskih podporah v sanacijsko dokumentacijo.

Zaščita delov objekta, kjer poteka sanacija, kakor tudi bližnjih območij objekta lahko predstavlja edinstven problem med izvedbo sanacije. Posebno pozornost je potrebno nameniti podpiranju in utrjevanju, zlasti pri sanacijah plošč in nosilcev.

Izvedbena projektna dokumentacija sanacije mora biti razumljiva in jedrnata. Projekt sanacije naj bo definiran natančno, da bodo jasno vidne meje, kje je poškodovani beton potrebno odstraniti in ga nadomestiti z novim. Prav tako morajo biti jasno navedene posebne zahteve sanacijskega sistema, ki bo uporabljen, če je to potrebno. Posebno pozornost je potrebno

nameniti detajlom popravila oziroma zamenjave armature in pripravi obstoječe betonske površine pred nanosi sistemov za njeno zaščito.

Pogodbena dokumentacija naj vsebuje tudi nasvete bodočim izvajalcem, kje lahko pridobijo informacije o betonu, dobljene med preiskavami konstrukcije, ter kako lahko dobijo še več potrebnih informacij, da bo sanacija čim bolj uspešna.

Izbira izvajalca

Eden izmed najbolj pomembnih vidikov projekta sanacije je izbira ustreznega izvajalca oziroma priprava seznama ponudnikov, ki izpolnjujejo postavljene zahteve. Problem je namreč v tem, da niso vsi izvajalci oziroma ponudniki dovolj strokovno podkovani za vse faze sanacije. Cilj je izbrati izvajalce, ki so že predhodno, (na podlagi referenc), pokazali zadostno strokovno znanje in kvaliteto izvedbe v vsaki fazi, ki je potrebna v projektu sanacije. Kakovost sanacijskih del bo dosežena, če bodo v okviru zagotavljanja kakovosti izvajanja del upoštevana naslednja pravila:

- izvajalci del morajo imeti primerno izšolane strokovne delavce z izkušnjami pri sanacijskih delih, kar dokazujejo z referencami,
- izvajalci sanacij morajo vzpostaviti lastno kontrolo izvajanja sanacijskih del, ki mora biti preverjena in odobrena s strani lastnika ali upravljalca objekta. V okviru tega je priporočljivo način izvajanja določenih del in seveda tudi uporabnost sanacijskih materialov preverjati s predhodno izvedbo poskusnih polj.

Izvedba sanacijskih del

Uspeh sanacije je odvisen od stopnje ujemanja izvedenih del s projektnimi načrti in dokumentacijo. Na podlagi številnih izvedenih projektov skozi leta se je izkazalo, da betonska dela pri sanacijah zahtevajo posvečanje veliko večje pozornosti konstrukcijskim detajlom ter izkušnost vseh vpletenih v projekt, kot pa je to potrebno pri gradnji novih objektov.

Med vsemi faktorji, ki vplivajo na uspešnost izvedbe sanacije, ne moremo nikoli preveč pozornosti nameniti pripravi površine. V primerih, ko se napake po izvedeni sanaciji pojavijo zelo kmalu, je največkrat vzrok nepravilna priprava betonske površine pred nanosi zaščitnih plasti. Vzrok za to gre iskati pri odgovornem inženirju, ki ni pravilno navedel zahtev, ali pri izvajalcu, ki mu ni uspelo natančno slediti navodilom v specifikacijah ali pa ni uporabljal pravih tehnologij oziroma tehnik za doseg želenega rezultata. Za uspešnost projekta sanacije je prav tako zelo pomembna kvaliteta odstranjevanja poškodovanega betona.

Kontrola kakovosti

Kontrola kakovosti izvedbe med samo sanacijo je zelo pomembna. Natančno opazovanje sanacijskih del je izrednega pomena, kot tudi izvajanje ustreznega testnega programa, ki naj obsega odvzem vzorcev za tlačne preizkuse, petrografske preiskave, odtrže teste, določanje vsebnosti kloridov, ipd.

Izvajalec najpreprosteje obvladuje kakovost izvedbe del tako, da dela izvaja po programu zagotavljanja kakovosti, ki ga pripravi pred sanacijo. Osnova za izdelavo programa zagotavljanja kakovosti je tehnološki projekt sanacije, ki določa glavne zahteve glede uporabljenih materialov in tehnoloških postopkov za izvedbo sanacije.

Načrt izvajanja tekoče notranje kontrole zajema opis, kako bo izvajalec kontroliral kakovost izvajanja sanacijskih del po posameznih fazah. Kontrolne postopke izvajalec običajno natančneje opredeli na kontrolnih listih.

Pri pripravi programa zagotavljanja kakovosti sodeluje tudi neodvisna strokovna institucija, predvsem s svetovanjem glede vsebine in oblike dokumenta, predlogi glede uvedbe kontrolnih postopkov ter predlogi oziroma določitvijo kriterijev kakovosti pri posameznih kontrolnih postopkih. Kakovost vgrajenih materialov zagotovi z nadzorom izvajanja postopkov za zagotavljanje kakovosti vgrajenih materialov, nadzorom izvajalčeve notranje kontrole ter z lastnim izvajanjem preiskav. Po končani posamezni fazi sanacije na podlagi informacij s strani izvajalcev, nadzora investitorja, rezultatov notranje kontrole izvajalca ter rezultatov lastnih kontrolnih pregledov in preiskav potrdi ustreznost vgrajenih materialov in uporabljenih postopkov.

V splošnem velja, da lahko uspešnost izvedbe sanacije ocenjujemo s primerjavo doseženih (izmerjenih) parametrov kakovosti z načrtovanimi parametri–kriteriji kakovosti, predpisanimi v projektih (Concrete repair manual, 2007).

3.4.4 Izbor materialov za sanacije

Vsak sanacijski material ima vrsto lastnosti, ki so tako pozitivne kot negativne. Ena izmed najpomembnejših lastnosti za uspeh sanacije armiranobetonskih konstrukcij je čim večja skladnost fizikalnih karakteristik sanacijskega materiala (modul elastičnosti, koeficient temperaturnega raztezka, trdnost) in osnovnega betona. Večina teh materialov v fazi strjevanja po vgradnji spremeni svojo prostornino predvsem zaradi sušenja, krčenja in temperaturnih sprememb. Če sta si stari beton in novi material podobna, zagotovimo ter vzdržujemo dober oprijem med njima z doseganjem ustrezno visokih odtržnih trdnosti. Če dobrega oprijema ni, se v na novo nanesenem materialu ustvarijo strižne in natezne napetosti, ki ustvarjajo tendenco ločevanja oziroma ustvarjanja nekontroliranih razpok, pravokotnih na kontaktno površino. Da bi ta pojav preprečili, se pred končno izbiro materiala ta vidik možnega obnašanja računsko in eksperimentalno preišče.

Pri izboru materialov za sanacije armiranobetonskih objektov je v veliko pomoč standard SIST EN 1504- Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij.

Vrste materialov, ki se uporabljajo pri sanacijah so:

- materiali s cementnim vezivom ,
- polimerni materiali,
- materiali s polimerno-cementnim vezivom,
- materiali z mešanim cementno/pucolanskim vezivom ali drugo vrsto aktivnega veziva
- ostali materiali kot so: kovine, lamele iz karbonskih vlaken, vlakna ali mrežice iz najlona, polipropilena, steklenih (alkalno odpornih) , karbonskih, celuloznih in aramidnih (kevlar) vlaken, keramika, bitumensko vezani materiali, itd.

Materiali za popravila ali obnovo armiranobetonskih objektov morajo izkazovati:

- dober oprijem s podlago in armaturo,
- združljivost (kompatibilnost) s podlago (podoben, nizek ali srednji modul elastičnosti, srednje visoka mehanska trdnost); pri obnovi je potrebno doseči srednje visoko mehansko trdnost,
- omejeno ali popolnoma preprečeno krčenje (strjevanje brez razpok),
- neprepustnost za škodljive snovi,
- majhna vpojnost in
- enostavno vgrajevanje/nanašanje.

Materiali s cementnim vezivom

Ob množici in raznolikosti cementov, samo običajnih cementov je 27 (SIST EN 197-1), se leti lahko uporabijo za izdelavo zalivnih oziroma injekcijskih malt/mas za zapolnitve razpok. Ko jih zmešamo s peskom, lahko proizvajamo sanacijske malte. Pri njihovi pripravi je pomembno, da so agregati čim bolj podobni tistim, ki so bili uporabljeni pri pripravi osnovnega betona in da se sanirani del skrbno neguje, da bi preprečili njegovo krčenje zaradi sušenja. Kakovost sanacijske malte je možno izboljšati z uporabo kemijskih in/ali mineralnih dodatkov, ki se najpogosteje uporabljajo zaradi:

- povečanja zgoščenosti oz. prostorninske mase in/ali obdelanosti mešanice (plastifikatorji)
- povečanja hitrosti vezanja in strjevanja (pospeševalci)
- zelo povečane obdelovalnosti mešanice za tanjše prereze pomembnejših sanacijskih del (superplastifikatorji).

Poleg tekočih kemijskih dodatkov so pri sanacijskih injekcijskih masah, zalivnih maltah in betonih, preplastitvenih maltah in betonih ter samih betonih izrednega pomena mineralni dodatki, ki povzročajo nabrekanje cementnih malt in betonov oziroma zmanjšujejo ali preprečujejo plastično krčenje betona zaradi sušenja, ki je najmočnejše in nastopa že v fazi vezanja materialov s cementnim vezivom, ko vgrajena armatura in material s cementnim

vezivom še ne sodelujeta. Od teh dodatkov najbolj pogosto uporabljamo plinotvorne dodatke iz aluminijevega prahu in dodatke ali ekspanzivne cemente, ki so izdelani na osnovi kalcijevega sulfoaluminata. S temi dodatki lahko pripravljamo malo skrčljive ali t.i. omejeno skrčljive in predvsem neskrčljive malte in betone, s katerimi dosegamo monolitnost oz. zveznost ali zlepljenost saniranega dela z osnovnim betonom. Tako zagotovimo kakovost izvedbe s povečano nosilnostjo ter trajnost saniranega dela ali celotne konstrukcije. V novejšem času uporabljamo tudi tekoče kemijske dodatke za manjše krčenje, s katerimi lahko krčenje betonov in malt zmanjšamo do približno 50% po 28 dneh in do približno 40% po 90 dneh.

Epoksidne malte in betoni

Epoksidne smole pokrivajo celo območje materialov in to od nizko viskoznih malt (za zapiranje finih konstrukcijskih razpok) do malt z različnimi polnili (kremenčev pesek) in zaščitnih premazov. Na žalost pa imajo v splošnem večje koeficiente ekspanzije in nizke vrednosti modula elastičnosti kot beton. Te razlike lahko pri sanaciji povzročijo velike strižne napetosti na stiku obnovljenega in osnovnega betona ali malte. Če te strižne napetosti prekoračijo sile natezne trdnosti osnovnega betona ali malte, pride do kasnejšega odlepljanja ali odtrganja. V takem primeru je monolitnost zveze problematična.

V gradbeništvu običajno uporabljamo hladno strjujoče epoksidne malte in betone. Reakcija polimerizacije je eksotermna (kot pri poliestrih). Zato je glede na temperaturne pogoje zelo pomemben pravilen izbor tako epoksidne kot aminske komponente (trdilca), ki odločujoče vpliva na sproščanje toplote med reakcijo, dinamiko strjevanja, na viskoznost, plastično krčenje malte ali betona ter kasneje tudi na končne mehanske lastnosti malte ali betona.

Pri stalni izpostavitvi strjene malte ali betona povišani temperaturi ($>60^{\circ}\text{C}$) se trdnosti malte ali betona znižajo, kar moramo pri uporabi upoštevati. Ker so epoksidne malte in betoni paroneprepustni, je potrebno obvezno poznati vsebnost vlage v podlagi, na katero se nanaša epoksidni sloj. Količina vlage v paroprepustnih podložnih materialih običajno ne sme presežati 3 oziroma v skrajnem primeru 4%. Ta odstotek je lahko večji le, v kolikor je

omogočeno, da se lahko s pomočjo difuzije vlaga izloča skozi drugo površino materiala, ki ni prekrita z epoksidno smolo.

Na splošno epoksidne malte odlikujejo:

- zelo visoke upogibne, natezne, strižne in tlačne trdnosti,
- visok oprijem na beton, jeklo, steklo,
- dobra odpornost na kemikalije,
- dobra vodo in paro neprepustnost,
- nižji modul elastičnosti kot pri betonu,
- visok koeficient termične ekspanzije v primerjavi z betonom,
- hitro strjevanje,
- zanemarljive napetosti zaradi krčenja v plastičnem stanju in
- visoka obdelanost, samorazlivnost in sposobnost penetracije v fine razpoke.

Zaradi prej naštetih lastnosti epoksidne malte in betone uporabljamo za naslednja dela:

- zaščito, ojačitve in hitra popravila premostitvenih objektov, silosov, energetskih objektov...
- izdelavo nosilnih plošč in ležišč prefabriciranih elementov,
- sanacije in zaščito pretočnih polj, odtočnih kanalov ter tesnjenje proti vodi pod pritiskom.

Polimerne disperzije

S polimeri modificirane malte so kompozitna gradiva, pri katerih je del cementnega veziva nadomeščen s polimernim vezivom. Delež polimernega veziva znaša od 3% do 25% mase cementnega veziva in v odvisnosti od količine vpliva na lastnosti malte. Polimeri se lahko dodajajo v obliki praškov, disperzij, vodotopnih polimerov, tekočih smol ali tekočih monomerov. Med najbolj uporabljanimi sta polivinilacetat in 100% akrilni polimer.

Z dodajanjem polimernih disperzij cementnim maltam vplivamo na njihovo obdelanost, zadrževanje vode, upočasnitev vezanja, trdnost, sprejemnost s podlago, vodotesnost, odpornost na kemikalije in odpornost na atmosferske vplive. Naštete lastnosti so posledica oblikovanja polimernega filma, ki v času hidratacije cementa ustvari monolitno matrico mrežaste strukture.

V prihodnosti lahko pričakujemo povečano uporabo polimerno modificiranih malt in betonov, in sicer za:

- povezavo starih in novih betonov/malt,
- ojačitev konstrukcij,
- sanacije obstoječih konstrukcij,
- zaščito površin,
- injiciranje razpok in prednapetih kablov.

Sanacije z materiali s cementnim vezivom

Betonske konstrukcije se najpogosteje sanirajo z materiali s cementnim vezivom. To so: betoni, malte, injekcijske mase in premazi. Stroški materiala so v teh primerih relativno majhni. Pogosto se uporabljajo kemijski in mineralni dodatki, katerih namen je:

- izboljšati obdelanost sveže mešanice,
- regulirati čas vezanja in strjevanja,
- omejiti ali celo preprečiti tehnološke deformacije (krčenje zaradi sušenja),
- izboljšati oprijem s podlago.

Za sanacijska dela je primerna uporaba brizganega (torkret) betona, ki se uporablja za zamenjavo oz. preplastitev velikih površin poškodovanega betona, za ojačitve betonskih konstrukcij, naknadno izvedbo zaščitnega sloja nad armaturo, izboljšanje požarne odpornosti

betonske konstrukcije. Brizgani beton ali malta se nanašata v slojih od 0,5 do 10 in več cm in to v enem ali več slojih. Zanesljivo je možno doseči trdnostni razred C25/30. Končna površina se pusti hrapava ali se obdela z bolj finim brizganim betonom ali malto.

Namesto postopka brizganja se pripravljena mešanica sveže malte ali betona lahko nanaša z eno od ročnih zidarskih tehnik, z ometavanjem, nanašanjem z zidarsko žlico, direktnim vlivanjem...

V kolikor se nekakovosten in poškodovan beton razprostira v večjo globino in po celi debelini preseka konstrukcije, je potrebno tak beton izdolbsti in ga zamenjati z novim betonom ustrezne sestave in plastične konsistence.

Če so poškodbe in nekakovostna mesta površine velikosti do 300 cm² se uporablja reparaturna (sanacijska) malta, ki je običajno zemeljsko vlažne ali trdo plastične konsistence, kar je odvisno od lege in dostopa do elementa, ki se sanira. Ko se izdolbe nekakovostni beton, se zemeljsko vlažna malta nanaša v slojih po nekaj centimetrov in se nabija preko lesenega podstavka z ustrezno velikim in težkim kladivom. Končna površina se posuje s suho mešanico cementa in peska in se zgladi. Če se sanirajo posamezni prodori vode, se uporabljajo hitro strjujoče malte. V teh slučajih je z raznimi dodatki možno skrajšati čas vezanja na polovico (do nekaj minut) in z njim zapolniti luknje oz. porozna mesta, skozi katera izteka voda.

Cementne malte tekoče konsistence oziroma debeloslojni cementni premazi

Pripravljene so iz izbranega drobnega čistega peska ali mivke (kremenčeva), cementa in dodatkov za povečanje sprijenosti s podlago ter tesnjenja. Nanašajo se lahko v tankih slojih debeline med 1,5mm in 3 mm, s krtačo, brizgalko ali z zidarsko gladilko. Ugodni so za povečanje vodotesnosti, izdelavo zaščitnega sloja armature ali za zamenjavo poškodovane površine betona (povzeto po Jamšek, 2010).

Pri raziskovalnem delu v okviru diplomskega dela sta bili uporabljeni malti :

- Emaco S 80 in
- Emaco NanoCrete R3.

Emaco S 80

Je tiksotropna sanacijska malta z zaščito proti krčenju in modificirana z polimernimi vlakni. Sulfatno in vremensko obstojna izravnalna malta, ki se uporablja za večje površine. Primerna je za sanacijo mostov, zgradb, vseh betonskih površin, saj sta dve izmed njenih lastnosti tudi odličen oprijem in visoka trdnost. Po sestavi je eno komponentna malta, pri strjevanju ni krčenja in razpokanosti, je visoko karbonizacijsko odporna ter odporna proti zmrzovanju. Proizvajalec zagotavlja da, je odporna na zmrzovanje/tajanje v prisotnosti talilnih soli (razred XF4), vodo in paro neprepustna, bitumensko in sulfatno odporna, ter brez kloridov.

Priporočena področja uporabe so sanacije in predelave betonskih površin, preventivne in naknadne zaščite betonskih površin na mostovih in podobnih konstrukcijah ter za popravila betonskih gradbenih elementov.

Priprava podlage

Podlaga mora biti čista, trda, porozna in vpojna. Globina hrapavosti mora znašati vsaj 5mm. Minimalna tlačna trdnost podložnega betona mora ustrezati razredu tlačne trdnosti C20/25. Ekstremno neprepustne, gladke podlage, podlage s slabo nosilnostjo in poškodovane betonske površine je potrebno na primeren način odstraniti. Luknje je potrebno zapolniti, pri čemer morajo biti robovi obdelani pod kotom 30° - 60°. Predhodno pripravljeno podlago moramo 24 ur ali vsaj 6 ur pred nanosom debeloslojnega cementnega premaza ustrezno namočiti oziroma ohranjati vlažno. Pred nanosom sanacijske malte mora biti površina motno vlažna, brez stoječe vode.

Obdelava

Potrebno količino vode vlijemo v čisto vedro, dodamo Emaco S80 in mešamo 4 minute, da nastane masa brez grudastih delcev. Malto naneseemo na kontaktni sloj s pomočjo lopatice ali z brizganjem, mokro na mokro, in zgladimo z leseno desko.

Tehnični podatki:

Materialna baza: cement po DIN 1164 in DIN EN 197

Gostota sveže malte: 2,1 kg/l

Velikost zrna: do 1,5 mm

Oblika: prašek

Normativ: EN 1504-3, razred R4

Poraba suhe malte: približno 1,8 kg/m² in mm debeline

Debelina nanosa: od 5 do 40 mm

Količina vode za 25 kg vrečo: nanos z lopatico - 3,8 l do 4,2 l

Nanos z brizganjem – 3,8 l do 4,6 l

Čas mešanja: približno 4 minute

Čas obdelave pri +20°C: približno 60 minut

Tlačna trdnost po 28 dneh: vsaj 45N/mm²

E modul po 28 dneh: vsaj 30 GPa

Krčenje po 90 dneh: maksimalno 1,2 mm/m

Odtržna trdnost po 28 dneh: vsaj 2,0 MPa

Delovna temperatura: od +5°C do +30°C

Emaco NanoCrete R3

Je lahka malta, tiksotropna, modificirana z polimernimi vlakni, uporabna za konstrukcijske sanacije. Uporabljena nanotehnologija pomaga močno zmanjšati krčenje pri strjevanju malte. Malta je bila razvita z namenom, da zadosti pogojem, ki so zahtevani za razred R3 v standardu EN 1504-3. Malta izkaže posebno dobre lastnosti pri uporabi na vertikalnih površinah in pri delu nad glavo. Proizvajalec zagotavlja naslednje lastnosti: odlično sprijemnost z betonom, dobro obdelanost, odpornost proti razpokam, trajnost in vremensko odpornost, dobro vodoneprepusnost ter neprepustnost kloridov. Sama malta ne vsebuje klorida.

Priprava površine

Betonska površina na katero se nanaša malta mora biti trda, čista z minimalno natezno trdnostjo 1N/mm². S površine morajo biti odstranjeni vsi ostanki betona, prahu, olj oziroma

drugih nečistoč. Po končani pripravi površine mora biti agregat jasno viden v strukturi betona. Predhodno pripravljeno podlago moramo 24 ur ali vsaj 6 ur pred nanosom debeloslojnega cementnega premaza ustrezno namočiti oziroma ohranjati vlažno. Pred nanosom sanacijske malte mora biti površina motno vlažna, brez stoječe vode.

Obdelava

Potrebno količino vode vlijemo v čisto vedro, dodamo Emaco Nanocrete R3 in mešamo 3 minute, da nastane masa brez grudastih delcev. Malto naneseemo na podlago s pomočjo lopatice ali z brizganjem, mokro na mokro, in zgladimo z leseno desko.

Tehnični podatki

Gostota sveže malte: 1,8 kg/l

Velikost zrna: do 1,2 mm

Oblika: prašek

Normativ: EN 1504-3, razred R3

Poraba suhe malte: približno 1,5 kg/m² in mm debeline

Debelina nanosa: od 5 do 75 mm

Količina vode za 20 kg vrečo: 4,2 l do 4,6 l

Čas mešanja: približno 3 minute

Čas obdelave pri +20°C: 45 do 60 minut

Tlačna trdnost po 28 dneh: vsaj 35N/mm²

E modul po 28 dneh: vsaj 15 GPa

Krčenje po 180 dneh: brez krčenja

Održna trdnost po 28 dneh: vsaj 1,5 MPa

Delovna temperatura: od +5°C do +30°C (www.have.si).



Slika 15: Sanacijski malti Emaco S80 in Emaco NanoCrete R3

Vir:

http://www.have.si/sl/popravila_betonov_reparaturne_malte_izravnalne_malte/118/emaco_s_80.html

http://www.have.si/sl/popravila_betonov_reparaturne_malte_izravnalne_malte/76/emaco_nanocrete_r3.html (12.5.2011).

Karakteristike malt so podane samo okvirno, saj proizvajalec zagotavlja, da posamezne vrednosti zadostijo pogojem standardov, ki obravnavajo določeno področje, ne podaja pa točnih vrednosti. Z namenom ugotoviti dejansko tlačno in upogibno trdnost ter odtržno trdnost sanacijske malte z betonske površine pod dinamičnimi obremenitvami so bili opravljeni testi z opisanimi maltama. Opravljeni preizkusi ter dobljeni rezultati so predstavljeni v naslednjem poglavju.

4 LABORATORIJSKE PREISKAVE

4.1 Namen laboratorijskih preiskav

Namen laboratorijskih preiskav je bil ugotoviti, kateri parametri vplivajo na odtržno trdnost sanacijske malte, če sanacija betonskega elementa oziroma objekta poteka pod dolgotrajno dinamično obremenitvijo (prometno obremenitvijo). Testiran je bil odziv sanacijske malte, ki je bila nanešena na spodnjo stran armiranobetonskih gred, na dolgotrajne dinamične obremenitve, glede na različne robne pogoje. Ker je vsaka sanacija armiranobetonskih objektov zelo kompleksen postopek, na uspešnost le-te vpliva mnogo parametrov, zato se pri samem preizkusu vso pozornost usmeri v odtržno trdnost sanacijske malte po končani sanaciji. Cilj preiskav je bil ugotoviti, kateri izmed spremenljivih parametrov, ki so bili preizkušeni, omogoča razvoj večje vrednosti odtržne trdnosti, ki se jo določi po končanem dinamičnem obremenjevanju s »pull-off« testom. »Pull-off« je namreč metoda, s katero se določi odtržna oziroma odtržna trdnost sanacijskih materialov. Zanimala nas je dejanska odtržna trdnost sanacijske malte 28 dni po nanosu, če je le-ta izpostavljena dolgotrajni dinamični obtežbi. Proizvajalec sanacijskih materialov namreč zagotavlja, da izbrana malta ustreza zahtevam, ki so podane v standardu EN 1504-3, ne podaja pa dejanske vrednosti odtržne trdnosti, ki naj bi jo sanacijski material dosegel po 28 dneh.

Parametri, ki so bili testirani:

- priprava površine : - ročno odstranjevanje betona
- odstranjevanje betona z vodnim curkom pod pritiskom
- vrsta malte : - Emaco S80 (razred dinamične odpornosti R4)
- Emaco NanoCrete R3 (razred dinamične odpornosti R3)

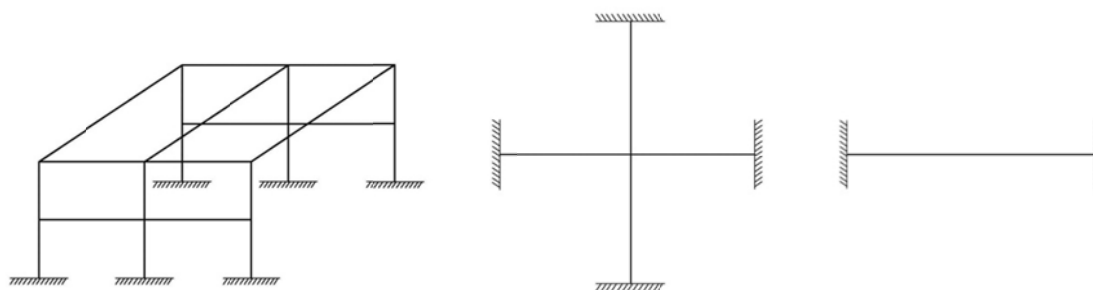
Kot je že zapisano v uvodu bom z rezultati poskušal potrditi oziroma ovreči hipoteze o sprijemnosti sanacijske malte z obstoječim betonom, po tem ko je bila betonska greda z nanešeno malto na spodnji strani izpostavljena dinamičnemu obremenjevanju.

4.2 Splošno o eksperimentalni analizi

Ime eksperimentalna analiza samo po sebi pomeni postopek, s katerim se o lastnostih konstrukcije oziroma konstrukcijskega elementa prepričamo s poskusom. Pri tem dejansko konstrukcijo ali njen fizikalni model izpostavimo vplivu poznane obtežbe in opazujemo posledice, ki jih ta obtežba povzroča na konstrukciji in njenih sestavnih elementih. Eksperimenti se uporabljajo za dokazovanje in potrditev hipotez in teorij o vzrokih za nastanek pojavov in njihovih posledicah v vseh področjih znanosti. Ker je pojem eksperimentalna analiza gradbenih konstrukcij zelo širok, je v tem diplomskem delu govora predvsem o ugotavljanju nosilnosti in preverjanju kakovosti gradbenih elementov.

V odvisnosti od namena preiskave in zmogljivosti preskuševalne opreme lahko preiskujemo:

- celotno konstrukcijo
- konstrukcijski sklop
- konstrukcijski element.



Slika 16: Celotna konstrukcija, konstrukcijski sklop in konstrukcijski element

Rezultati preiskave se bodo najbolj približali dejanskemu stanju, če opravimo preizkuse na celotni konstrukciji. Žal preiskava celotne konstrukcije povzroča nemalo težav. Največjo predstavlja velikost konstrukcije, ki navadno presega zmogljivosti laboratorija, tako glede razpoložljivega prostora kakor tudi glede zmogljivosti laboratorijske opreme za simulacijo obtežbe. Obtežba predstavlja problem tudi takrat, kadar preiskujemo konstrukcijo na terenu, medtem ko z meritvami navadno ni težav niti na terenu niti v laboratoriju. Poleg tehničnih pa predstavlja oviro tudi cena konstrukcije, ki jo zgradimo samo za namen preiskave, posebno v primeru, ko izvajamo preiskavo do porušitve.

Razen v izjemnih primerih se v laboratoriju preiskuje izrez konstrukcije oziroma konstrukcijski element. Taka preiskava zahteva manjše zmogljivosti opreme za nanos obtežbe, je pa bolj zahtevna glede priprave preizkušanca na preiskavo. Da bi s preiskavo konstrukcijskega elementa dobili zanesljive rezultate, moramo sklop preiskati pri podobnih pogojih vpetja kot v konstrukciji, v nasprotnem primeru pa moramo pri vrednotenju meritev upoštevati nastale razlike. To seveda pomeni, da se je treba na preiskavo temeljito pripraviti. Če preiskujemo preizkušance, ki imajo enake dimenzije in so izdelani iz enakih materialov kot dejanska konstrukcija, pravimo, da preiskujemo konstrukcijo v naravni velikosti. Izkaže pa se, da marsikatero lastnost konstrukcije lahko ugotovimo tudi tako, da konstrukcijo ali njen del izdelamo v pomanjšanem merilu. Pomanjšano konstrukcijo imenujemo model, preiskavo modela pa modelno preiskavo. Kljub temu, da so modelne preiskave izredno praktično orodje v eksperimentalni analizi gradbenih konstrukcij, pa je njihova uporaba večkrat omejena na raziskave globalnega obnašanja konstrukcij.

V odvisnosti od vrste obtežbe, s katero preiskujemo preizkušane, ločimo statične in dinamične preiskave konstrukcij. Statične preiskave so razmeroma enostavne, saj kot obtežbo, poleg laboratorijske hidravlične opreme (bati za nanos sile) lahko uporabimo tudi balast, t.j. težo različnih ustreznih materialov, ki jih namestimo na ustreznih delih konstrukcije, včasih pa obtežbo na konstrukcijo povzročimo tudi z napenjanjem. Za dinamične preiskave uporabljamo opremo, s katero lahko vzbujamo dinamične obremenitve. Za vzbujanje enostavnih harmoničnih obremenitev uporabljamo hidravlične bate ali pa elektro - mehanske naprave z vrtečimi se deli. Zahtevnejše nepravilne dinamične obtežbe vzbujamo s posebno opremo, s katero poljubno programiramo časovni potek obtežbe.

V odvisnosti od namena preiskave obtežbo na konstrukcijo nanašamo tako, da programiramo silo ali pomike. Obtežbo na preizkušane nanašamo po posebnem programu, pri čemer predvidimo tako hitrost povečevanja obtežbe, kakor tudi spremembe velikosti obtežbe. Pri nanašanju obtežbe se poskušamo približati dejanskim razmeram, ki vladajo na konstrukcijskem elementu. Program nanašanja obtežbe je za določene vrste preiskav predpisan v standardih.



Slika 17: Preizkuševalna naprava Roell-Amsler HA100, s katero so bile opravljene preiskave na betonskih gredah/nosilcih

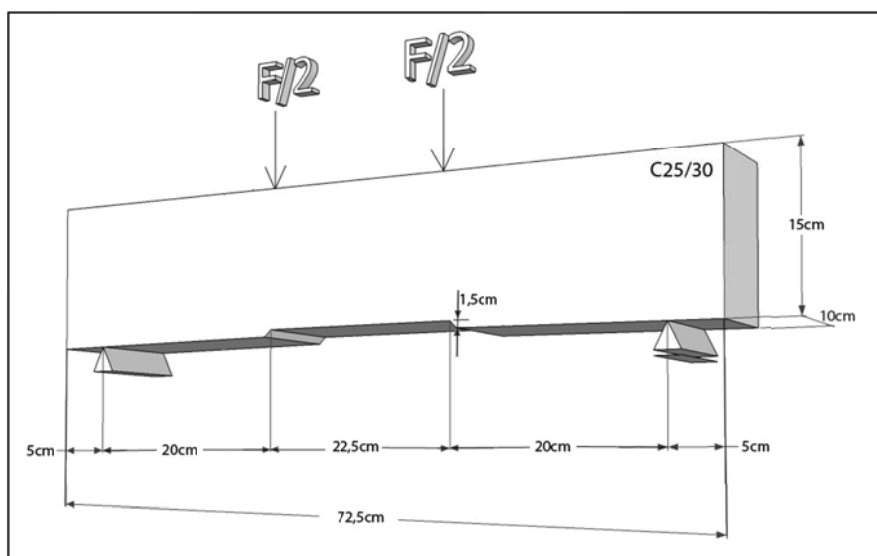
Meritve pri dinamičnih preiskavah izvajamo kontinuirano, saj je odziv konstrukcije na dinamično obtežbo tudi kontinuiran proces. Zato uporabljamo elektronsko merilno opremo, ki lahko izmeri in registrira nekaj sto ali tisoč podatkov vsako sekundo. Seveda niso vsi podatki, ki naj odgovarjajo odzivu v določenem času, zabeleženi v istem trenutku. Razlika v času med enim in drugim podatkom pa je tako majhna (celo manj od stotinke sekunde), da to pri gradbenih konstrukcijah, katerih lastne frekvence odziva niso pretirano visoke, predstavlja zanemarljivo napako. Bodisi da meritve izvajamo v korakih ali kontinuirano, moramo izmerjene vrednosti odziva preizkušanca vedno povezati z vzbujanjem v danem trenutku ali fazi preiskave (s silo ali pomikom), (Tomažević, 1991).

4.3 Priprava betonskih vzorcev za dinamično obremenjevanje

4.3.1 Izbira dimenzij in kvalitete betona

Dimenzije betonskih vzorcev so bile določene na podlagi nemških smernic za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij, ki jih je izdal nemški odbor za armiran beton – Deutscher Ausschuss fuer Stahlbeton (v nadaljevanju DAfStb smernice ali nemške smernice). Prilagoditi je bilo potrebno dimenzije betonskih vzorcev kapacitetam in zmožnostim konstrukcijsko-prometnega laboratorija FGG. Dimenzije so bile zmanjšane, ohranjeno pa je bilo modelno razmerje. Pri določitvi primernih dimenzij je bila najbolj kritična dolžina vzorcev, zato je bila prilagojena tako, da ustreza dimenzijam preizkuševalne naprave. Določene so bile naslednje dimenzije:

- dolžina: 72,5 cm
- širina: 10 cm
- višina: 15 cm



Slika 18: Dimenzije betonskega vzorca, podpore in obtežba (izdelano s programom AllPlan).

Dejstvo je, da je večina premostitvenih AB objektov, ki so v današnjem času potrebni obnove, torej so bili zgrajeni pred okoli 25 leti, zgrajenih iz betona kvalitete C25/30. To je tudi glavni

razlog, da so betonski vzorci, ki smo uporabili pri preiskavah narejeni iz betona enake kvalitete, torej C25/30.

4.3.2 Armatura betonskih vzorcev

Potrebno je bilo določiti tudi armaturo betonskih vzorcev, saj so bili izpostavljeni dinamični obtežbi. DAfStb smernice določajo frekvenco dinamičnega obremenjevanja (10 Hz) ter dovoljene deformacije, med 0 in 0,004%, na mestu največjega upogibnega momenta. Ker je statični model znan že iz geometrije betonskega vzorca, smo s pomočjo merilnih lističev »strain gauge« in pogoja dovoljenih deformacij, določili začetno silo obremenjevanja, kar je bila tudi osnova za izračun potrebne armature vzorca. Betonski vzorec je bil obravnavan kot prostoležeč nosilec. Podpori sta nameščeni 5 cm od vsakega robu. Obtežba bo v vzorec vnesena preko jeklenega elementa kot koncentrirana sila, v dveh točkah, simetrično glede na težišče vzorca.

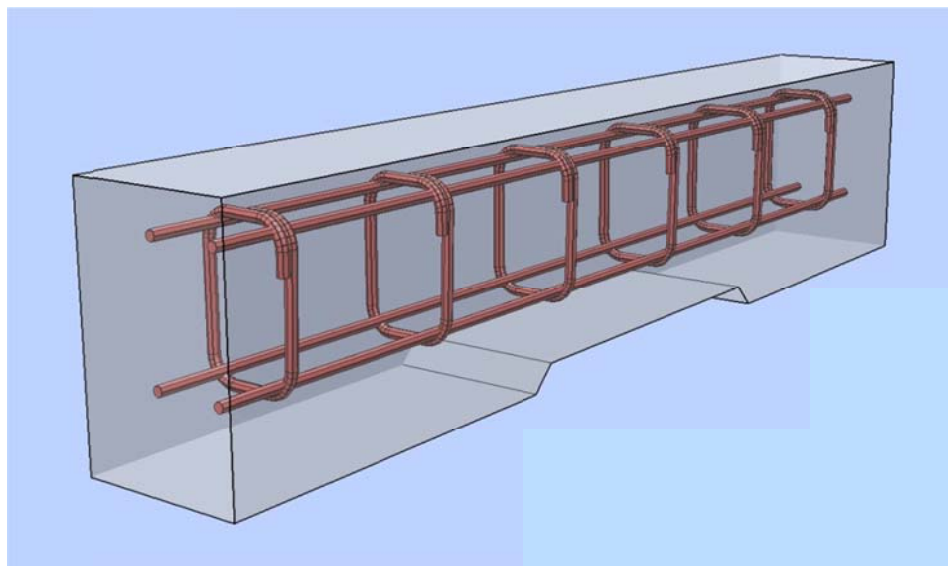
Podrobnejši statični izračun je prikazan v prilogi A .



Slika 19: Določanje začetne sile obremenjevanja z uporabo lističev »strain gauge«. Iz slike je razvidno, da so lističi nameščeni ob straneh oslabiljenega dela prereza, na mestu največjega upogibnega momenta, torej na sredini razpona

V betonske vzorce smo vgradili naslednje armaturne elemente:

- 4 vzdolžne palice premera 6 mm
- 6 zaprtih stremen premera 6mm na medsebojni razdalji 12 cm



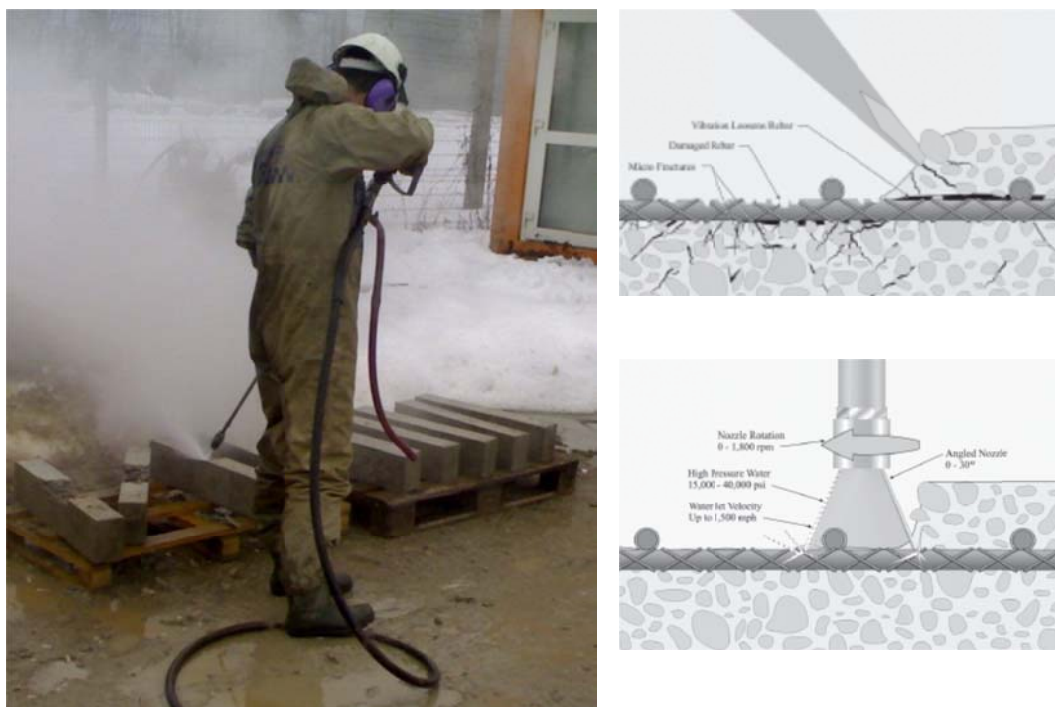
Slika 20: Prostorski prikaz dejanske vgrajene armature (modeliranje s programom AllPlan).

4.3.3 Priprava površine za nanos sanacijske malte

Odstranjevanje betona pri sanacijskih posegih je praviloma osredotočeno na poškodovan in propadel material. Velikokrat pa je potrebno odstraniti tudi nekaj zdravega betona, da se omogoči konstrukcijska modifikacija in zagotovi, da je odstranjen ves propadel ali poškodovan material. Izbrana metoda odstranjevanja betona mora biti učinkovita, varna, ekonomična, prijazna do okolja in mora minimizirati poškodovanost preostalega betona.

Način odbijanja betona je eden izmed parametrov, ki smo jih spreminjali med testi. Beton je bil odbit na spodnji strani vzorcev, na sredini razpona, kakor je to razvidno iz slike 20. Pri prvi polovici vseh vzorcev je bil beton odbit ročno, pri drugi polovici pa z vodnim curkom pod velikim pritiskom.

Pri ročnem odbijanju betona se je najprej s kotno brusilko malo zarezalo v beton, za določitev meje, kjer je potrebno odbiti beton. Nato se je z uporabo pnevmatskega kladiva odbilo večino betona, na koncu pa se je še z dletom in kladivom odbilo preostanek betona, da je ostala rahlo hrapava površina. Opisana metoda odstranjevanja betona temelji na principu delovanja udarne obtežbe, ki zdrobi(zmelje) površino, zlomi in razcepi groba agregatna zrna in oblikuje mikrorazpoke v podlagi. Rezultat tega je, da je sposobnost poškodovane površine zagotoviti obstojen stik s sanacijskim materialom ogrožena in zahteva še dodatno pripravo površine, pri kateri odstranimo poškodovane dele podlage. Udarne metode lahko poškodujejo vgrajeno armaturo in druge vgrajene kovinske elemente. Poleg tega se vibracije nastale pri uporabi teh metod prenašajo po armaturnih palicah in lahko povzročijo dodatne razpoke, delaminacijo in izgubo stika med armaturnimi palicami in obstoječim betonom.



Slika 21: Odbijanje betona z vodnim curkom pod velikim pritiskom in prikaz odstranjevanja betona z udarno tehniko ter z vodnim curkom

Ko se je odstranjeval beton z vodnim curkom, je bilo zelo pomembno pravilno nastaviti šobo, ki regulira pretok in hitrost vode. Nato je odstranjevanje betona potekalo relativno hitro, potrebno je bilo le še poskrbeti za varnost, saj pri tem postopku delci betona z veliko hitrostjo nekontrolirano letijo naokoli. Pojavila se je težava pri natančnosti odstranjevanja, saj so betonski vzorci relativno majhni, zato je bilo kar nekaj odstopanj pri odstranjeni površini. Največji problem pri celotnem postopku je globina odstranjenega betona, ki je pri vseh vzorcih večja kot predvidenih 1,5 cm, kar pomeni da je po odstranjevanju postala vidna tudi armatura. Razlog je iskati v dejstvu, da ta metoda odstranjevanja betona ni namenjena tako majhnim površinam. Vzrok, zakaj je bila ena od metod odstranjevanja betona metoda z vodnim curkom, je bil željen izgled oziroma hrapavost površine, katera je veliko bolj hrapava kot površina pripravljena z metodo ročnega odstranjevanja.

Rezultat metode odstranjevanja betona z vodo pod visokim pritiskom je grob in nepravilen profil površine, ki zagotavlja odličen mehanski stik za sanacijski material. Beton, ki ima slabšo trdnost ali je poškodovan, se odstrani, izpostavljena agregatna zrna pa niso razpokana ali razcepljena. Vibracije pri omenjeni metodi so minimalne, očisti se tudi izpostavljena vgrajena armatura, ki pa se med postopkom odstranjevanja betona ne poškoduje. Zelo pomembno dejstvo je, da ne pride do oblikovanja mikrorazpok v podlagi.



Slika 22: Betonski površini pripravljene z različnimi postopki, zgoraj površina pripravljena z ročnim odstranjevanjem betona in spodaj, kjer je bil beton odstranjen z vodnim curkom

4.3.4 Dinamična obtežba betonskih vzorcev

Karakteristike dinamičnega obremenjevanja betonskih vzorcev so bile povzete po DAfStb smernicah, del 4 z naslovom »Prüfverfahren«, poglavje 2.7.8. Dinamična obtežba, ki so ji podvrženi armiranobetonski vzorci v postopku, ki ga priporočajo DAfStb smernice, ima naslednje karakteristike:

- deformacije so v mejah med 0 in 0,004%
- frekvenca obremenjevanja je 10 Hz
- pomiki in sile se spreminjajo po sinusni krivulji
- trajanje obtežbe je 24 ur nepretrgano
- preiskave pull-off se opravijo pri starosti sanacijske malte 28 dni (povzeto po Deutscher ausschuss fur stahlbeton, Teil 4).

Dinamična obtežba in njene karakteristike za potrebe tega diplomskega dela je bila povzeta po nemških smernicah, ob upoštevanju omejitev, ki so pogojene s kapacitetami izbranega preskuševalnega stroja za dinamično obremenjevanje preskušancev. Prilagoditve glede dimenzij so bile že omenjene v enem izmed prejšnjih poglavij.

Prilagoditve glede časa trajanja so bile potrebne, saj bi bilo nepretrgano dinamično obremenjevanje v času 24 ur zelo težko izvedljivo, saj je bil stalen nadzor nad potekom preiskav nujen, torej prisotnost vsaj enega za to usposobljenega človeka. Čas obremenjevanja je bil zato skrajšan na 6,5 ur, saj je bilo to edino izvedljivo v roku normalnega delavnika. V osmih urah je bilo potrebno pripraviti malto in jo nanesti na vzorec, ter počakati 1 uro, preden smo začeli z dinamičnim obremenjevanjem, tako da nam je za obremenjevanje ostalo 6,5 ure. Po informacijah proizvajalca, kakor tudi po opažanjih med potekom preiskav, je je malta v časovnem obdobju obremenjevanja že začela vezati in strjevati, tako da bi nadaljnje obremenjevanje verjetno le malo vplivalo na dobljene rezultate odtržne trdnosti. Ocenjujemo, da je izbran čas obremenjevanja enak 6,5 ur ustrezen za okvire tega diplomskega dela.

Pri preiskavah je bila ohranjena frekvenca obremenjevanja, podana v nemških smernicah, kakor tudi dovoljen interval deformacij. Časovno odvisno spreminjanje pomikov in sil je potekalo po sinusni krivulji.

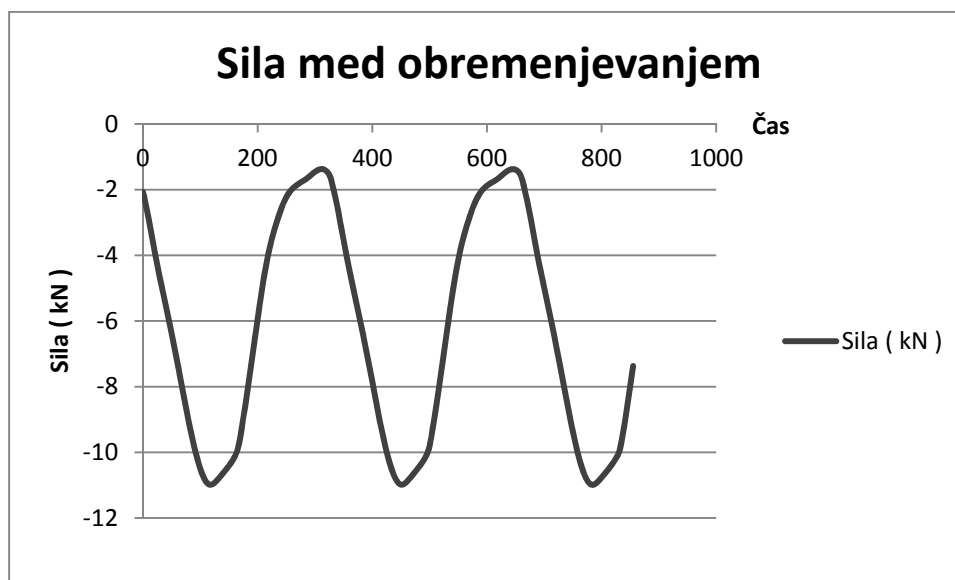
Karakteristike dinamičnega obremenjevanja betonskih vzorcev v okviru diplomskega dela:

- deformacije so bile v mejah med 0 in 0,004%
- frekvenca obremenjevanja je bila 10 Hz
- trajanje dinamičnega obremenjevanja 6,5 ur
- amplituda pomikov hidravličnega bata: $\pm 0,1$ mm
- začetni vsiljeni pomik: 0,3 mm – 0,58 mm
- območje vrednosti sile obremenjevanja: 1,5 kN – 13 kN
- način dinamičnega obremenjevanja: sinusno nihanje

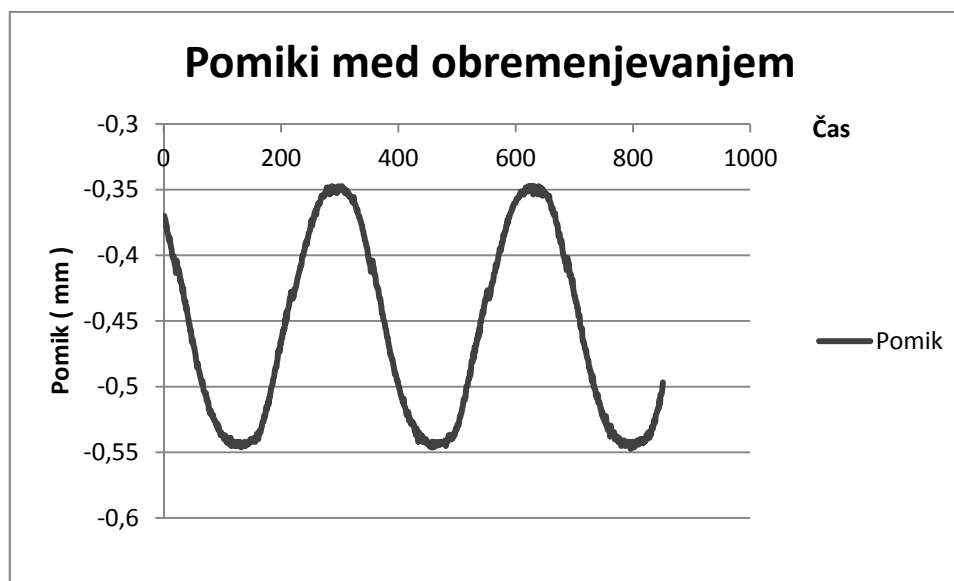


Slika 23: Prikaz dejanske situacije med dinamičnim obremenjevanjem

Kratek opis postopka dinamičnega obremenjevanja: obtežni model obremenjevanja je prikazan na sliki 23. Na mestu podpor, kar smo nadomestili z jeklenim dvotočkovnim elementom so bili v betonski vzorec vsiljeni pomiki na spodnji strani, na zgornji strani pa je bil sistem za nanos sile na 1/3 in 2/3 razpona fiksiran. Merili smo silo – reakcijo, ki je bila posledica predpisanega pomika bata preskuševalnega stroja in s tem podpor preskušanca. Vsak betonski vzorec je bil najprej postavljen na jeklen element s podporama, nanj pa smo položili sistem za nanos sile. Nato smo vzorcu vsilili začetni pomik – v bistvu smo ga za spoznanje predobremenili in tako stabilizirali. Vrednost začetnih pomikov se je razlikovala med vzorci, ker je posledica majhnih razlik v geometriji betonskih vzorcev, torej nepopolnosti izdelave le teh. Nato je bil vsak vzorec obremenjen z začetno silo, ki je bila določena na podlagi pogoja deformacij iz nemških smernic. Sledil je kratek 10 sekundni test, s katerim je bila preverjena stabilnost betonskega vzorca med podporami. Po uspešno zaključenem testnem preizkusu je sledilo neprekinjeno 6,5 urno dinamično obremenjevanje betonskega vzorca. Spodaj na slikah 24 in 25 sta prikazana diagrama sile in pomikov med obremenjevanjem pri betonskem vzorcu 8. Iz slik je razvidno sinusno spreminjanje sile in pomikov med obremenjevanjem.



Slika 24: Vrednosti vnesene sile med dinamičnim obremenjevanjem betonskega vzorca



Slika 25: Pomiki med dinamičnim obremenjevanjem betonskega vzorca

4.3.5 Jeklena elementa za vnos obremenitev v betonske vzorce

Za ustrezen vnos obremenitev v betonske vzorce je bilo potrebno izdelati dva jeklena elementa. Ta elementa služita kot nadomestka podpor, prav tako pa predstavljata vmesni člen, ki omogoča vnos zelenih obremenitev v betonski vzorec. Pogoji pri izdelavi jeklenih elementov je bil, da morata biti jeklena elementa bolj toga kot je betonski vzorec. Še posebej je to pomembno za spodnji jekleni element, ki je opremljen tudi s podporama, preko katerih vnašamo obremenitev v vzorec z vsiljevanjem pomikov podpor. Parametra, ki sta vplivali na izbor ustreznega jeklenega profila, sta odpornostni moment okoli močne osi (W_x) in vztrajnostni moment okoli močne osi (I_x). Oba parametra sta morala biti pri jeklenem profilu večja kot pri betonskem prerezu. Izbran je bil jekleni profil U220 iz jekla kvalitete S235. Ker en sam profil U220 ne bi zadostil pogojem togosti, sta bila jeklena elementa izdelana iz dveh enakih profilov U220, ki sta bila zvarjena skupaj s polno nosilnim zvarom. Razlog za varjenje dveh enakih profilov namesto izbire večjega profila je predvsem v dimenzijskih omejitvah preizkuševalnega stroja. Če bi namreč izbrali večji profil z večjo višino, bi bilo skoraj nemogoče namestiti betonski vzorec skupaj z jeklenima elementoma na obeh straneh v preizkuševalni stroj. Na mestih podpor oziroma na mestih, kjer sta bili mesti za vnos sil, so bili na jeklen profil navarjeni polkrožni elementi, tako da je bil stik jeklenega elementa in

betonskega vzorca linijski. Izdelana sta bila dva jeklena elementa. Spodnji element dolžine 72,5cm, z polkrožnima podporama na oddaljenosti 5cm od krajnih robov in z navojem za vpetje v preizkuševalni stroj na sredini razpona. Zgornji element dolžine 32,5cm, z polkrožnima podporama na oddaljenosti 5cm od krajnih robov z navojem za vpetje v preizkuševalni stroj na sredini razpona.

Delavniški načrt jeklenih elementov je prikazan v prilogi B.

Preglednica 7: Karakteristike prereza jeklenega elementa in betonskega vzorca

	Spodnji jekleni element	Betonski vzorec
Oblika prereza	Zvarjena profila U220	Pravokotni prerez
Površina prereza (A_x)	74,8cm ²	150cm ²
Odpornostni moment (W_x)	490cm ³	375cm ³
Vztrajnostni moment (I_x)	5380cm ⁴	2812,5cm ⁴
Masa elementa (m)	42,6kg	27,2kg

(povzeto po Beg, 1999)



Slika 26: Jeklena elementa za vnos obremenitev v armiranobetonske preskušance

4.4 Spremljajoče preiskave

Da lahko ovrednotimo rezultate meritev, ki jih izvedemo med in po obremenjevanju preizkušanca, moramo poznati tudi mehanske lastnosti uporabljenih materialov. Te lastnosti določimo s posebnimi preiskavami, spremljajočimi preiskavami. Te so standardizirane, kar pomeni, da je predpisana tako velikost in oblika preizkušanca, kakor tudi preizkuševalna oprema in postopek preiskave in meritev.

V okviru tega diplomskega dela sta bili opravljeni naslednji spremljajoči preiskavi:

- tlačna trdnost sanacijskih malt
- upogibna trdnost sanacijskih malt

Izvedbo omenjenih preiskav malt obravnava standard SIST EN 196-1; Metode preskušanja cementa – Določanje trdnosti. V standardu so predpisane zahteve, ki jih je potrebno upoštevati, če želimo dobiti merodajne rezultate. Standard predpisuje pogoje v laboratoriju, kjer potekajo preiskave, preskuševalno opremo, zahteve glede preskušancev ter postopke preiskav.

4.4.1 Laboratorij in oprema

V laboratoriju, kjer se pripravljajo in hrani vzorce, ter kasneje opravlja teste, je potrebno vzdrževati temperaturo (20 ± 2) °C in relativno vlažnost vsaj 50%.

Mešalec, s katerim pripravljamo malte mora biti sestavljen iz dveh delov:

- sklede iz nerjavečega jekla, kapacitete približno 5 l. Splošna oblika in dimenzije so predpisane v standardu. Skledo je potrebno dobro pričvrstiti v okvir mešalca med mešanjem. Višina sklede mora biti prilagodljiva, saj je predpisan tudi razmik med skledo in mešalno lopatico.
- mešalne lopatice iz nerjavečega jekla, ki ima predpisano obliko in dimenzije. Mešalna lopatica se vrti okrog svoje osi, kakor tudi planetarno okrog središča sklede.

Pri mešalcu sta predpisani dve hitrosti mešanja, nizka in visoka hitrost, ki sta v razmerju, ki ni celo število.

Kalupi za izdelavo vzorcev imajo tudi predpisano obliko in dimenzije. Izdelani so tako, da se lahko naenkrat izdelata 3 podobne kvadraste vzorce dimenzij 40 mm x 40 mm x 160 mm. Kalupi naj bodo izdelani iz jekla s stenami debeline vsaj 10 mm tako, da je mogoče vzorce razkalupiti brez poškodb (povzeto po SIST EN 196-1).



Slika 27: Standardizirani mešalec in kalup za izdelavo vzorcev

4.4.2 Priprava vzorcev malte

Malto pripravimo po navodilih proizvajalca v ustreznem mešalcu, ter z njo napolnimo kalupe, ter jih postavimo na vibracijsko mizo, kjer jih dobro zvibriramo, da se malta primerno zgosti. Nato obrišemo odvečno malto na kalupu in nato kalupe z vgrajeno malto pokrijemo s PVC folijo, pod katero smo namestili še posode z vodo (zahtevana relativna vlaga vsaj 90%). Po 24 urah vzorce razkalupimo in jih praviloma položimo v posodo s pitno vodo temperature $20 \pm 2^\circ\text{C}$, kjer odležijo do starosti 28 dni. Zaradi ustrezne primerjave z rezultati pull-of preiskav sanacijskih malt, ki niso bile negovane v mokrem okolju ampak od nanosa malte naprej izpostavljene relativno suhemu okolju v laboratoriju, smo polovico vseh izdelanih

prizem po razkalupljenju pustili odležavati na zraku, polovico pa v vodi. Skupaj je bilo izdelanih 12 prizem, 6 iz sanacijske malte Emaco S80 in 6 iz sanacijske malte Emaco NanoCrete R3. Po trije vzorci iz vsake malte so odležavali na zraku v laboratoriju, po trije pa v vodi.



Slika 28: Vibriranje kalupov na vibracijski mizi (levo) in pripravljene vzorce (desno)

4.4.3 Dimenzije in masa vzorcev

Pri starosti prizem 28 dni, kolikor je v standardu predviden čas za staranje vzorčnih prizem, je potrebno natančno izmeriti in tehtati vse vzorce, ter jih označiti zaradi sledljivosti rezultatov. Tehtanje je bilo opravljeno z laboratorijsko tehtnico, meritve dimenzij pa z digitalnim kljunastim merilom.



Slika 29: Označeni vzorci pripravljene za meritve in teste



Slika 30: Tehtanje in meritve vzorce

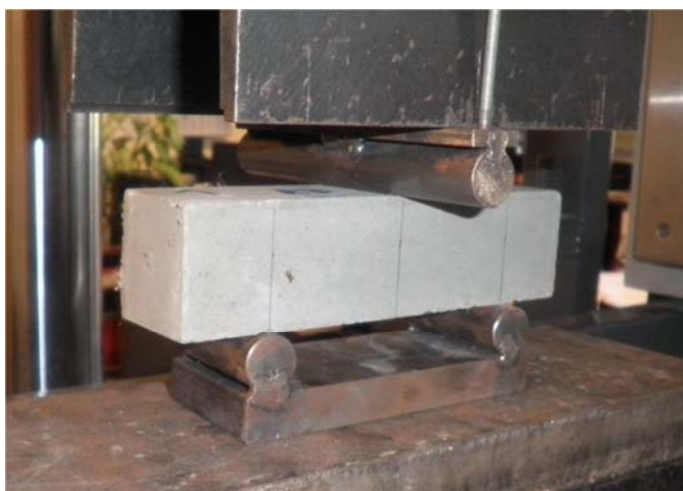
Preglednica 8: Dimenzije vzorcev, masa, volumska gostota, tip malte in pogoji staranja

N	h (mm)	š (mm)	d (mm)	V (cm ³)	Masa (g)	Volumska gostota (g/cm ³)	Malta, staranje
1	40,72	40,1	160,15	261,50	442	1,69	R3, na zraku
2	40,75	40,01	159,86	260,64	446	1,71	R3, na zraku
3	40,31	40	159,85	257,74	444	1,72	R3, na zraku
4	40,31	40,12	159,84	258,50	534	2,07	S80, na zraku
5	40,83	40,23	159,97	262,77	538	2,05	S80, na zraku
6	40,8	40,61	160,15	265,35	540	2,04	S80, na zraku
7	40,08	40,05	159,76	256,45	546	2,13	S80, v vodi
8	39,98	40,14	159,59	256,11	542	2,12	S80, v vodi
9	39,94	39,62	159,72	252,74	538	2,13	S80, v vodi
10	40,25	40,07	159,78	257,70	470	1,82	R3, v vodi
11	40,71	40,03	159,81	260,43	472	1,81	R3, v vodi
12	40,78	40,18	159,83	261,89	474	1,81	R3, v vodi

Iz podatkov v preglednici 8 je razvidno povečanje volumske gostote pri vzorcih, ki so odležavali v vodi, glede na vzorce starane na zraku, kar je posledica vpijanja vode. Volumska gostota se je malenkost bolj povečala pri vzorcih pripravljenih z malto Emaco NanocreteR3 in sicer za 5,8%, medtem ko se je pri vzorcih iz malte Emaco S80 le za 3,9%. Opaziti je tudi, da volumska gostota vzorcev znotraj skupin zelo malo odstopa od povprečja skupine

4.4.4 Upogibna trdnost

Testi upogibne trdnosti so bili opravljeni po določilih standarda SIST EN 196-1. Standard predpisuje način obremenjevanja, obliko in razpon med podporami ter hitrost obremenjevanja. Sila se vnaša v vzorec s hitrostjo povečevanja sile (50 ± 10) N/s, do porušitve vzorca.



Slika 31: Vzorec vpet med podpore, pripravljen za test upogibne trdnosti



Slika 32:

testu upogibne trdnosti

Porušeni vzorec pri

Rezultat, dobljen pri preiskavi upogibne trdnosti je velikost sile (F_f) ob porušitvi vzorca. Z uporabo enačbe (1), ki jo podaja standard SIST EN 196-1, se naknadno izračuna upogibno trdnost vzorca, ki je izražena v N/mm^2 (povzeto po SIST EN 196-1).

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \quad \dots (1)$$

Kjer pomeni:

R_f – upogibna trdnost v N/mm^2

F_f – sila vnesena v sredino vzorca ob porušitvi v N

l – razdalja med podporami v mm (100mm)

b – stranica kvadratnega prereza prizme v mm.

Preglednica 9: Rezultati upogibne trdnosti vzorcev

Vzorec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Upogibna trdnost (N/mm^2)	6,7	7,07	8,48	7,55	6,98	7,55	10,39	10,18	12,66	6,46	7,3	7,17
Povprečna up. trdnost (N/mm^2)		7,42 R3Z			7,36 S80Z			11,08 S80V			6,97 R3V	

V zgornji preglednici so rezultati upogibne trdnosti vzorcev, ki so bili razdeljeni v štiri skupine. V vsaki skupini so trije vzorci pripravljene iz enake malte in starani na enak način. Skupine so označene z delovnimi oznakami zaradi boljše preglednosti. Vzorci (1, 2, 3), so pripravljene iz malte Emaco NanoCrete R3 in sušeni na zraku. Označimo jih z delovno oznako R3Z. Vzorci (4, 5, 6) so pripravljene iz malte Emaco S80 in prav tako sušeni na zraku, njihova delovna oznaka je S80Z. Oznako S80V imajo vzorci (7, 8, 9), pripravljene iz malte Emaco S80 ter starani v vodi. Zadnja skupina vzorcev (10, 11, 12) ima oznako R3V, pripravljene pa so iz malte Emaco NanoCrete R3 in starani v vodi.

Iz rezultatov preiskav je razvidno, da znotraj skupine R3Z, vzorec 3 izstopa, saj je njegova vrednost upogibne trdnosti skoraj za 20% večja kot pri ostalih dveh vzorcih z enakimi karakteristikami. Podobno je tudi v skupini vzorcev R3V, kjer pa vzorec 10 izstopa zaradi manjše vrednosti upogibne trdnosti od ostalih dveh vzorcev. To lahko pripišemo poram, ki so vidne na površini preloma pri vzorcu 10, saj jih je občutno več kot pri vzorcih 11 in 12.

Opaziti je, da so vrednosti upogibne trdnosti pri vzorcih, ki so odležali na zraku in so bili pripravljene iz različnih malt, zelo podobne. Ta ugotovitev bi lahko pomenila, da v primerih, ko ni mogoča mokra nega nanešene sanacijske malte, lahko pri obeh maltah pričakujemo podobno upogibno trdnost in s tem tudi odpornost na oblikovanje razpok. Seveda je treba tu omeniti da sta bili testirani podobni malti.

Če primerjamo med sabo vzorce pripravljene iz enake malte, ki so enkrat odležavali na zraku, drugič pa v vodi, je opaziti, da pri malti Emaco NanoCrete R3, dobimo večje vrednosti upogibne trdnosti pri vzorcih, ki so odležavali na zraku. Razlika je sicer samo 6,5%. Drugače je pri vzorcih, pripravljenih z malto Emaco S80, saj je pri tistih, ki so odležali v vodi, upogibna trdnost občutno večja kot pri tistih, ki so odležali v vodi. Razlika je kar 50,5%.

S primerjavo vzorcev, ki so odležavali v vodi in so pripravljene iz različnih malt je opaziti, da so mnogo večjo upogibno trdnost dosegli vzorci pripravljene iz malte Emaco S80, kar za 59%.

Dejstvo je, da pogoji hidratacije močno vplivajo na doseženo upogibno trdnost, kar je predvsem razvidno iz razlik vrednosti upogibnih trdnosti pri delovnih skupinah S80Z in S80V. Torej vzorci, ki so odležali v vodi in so imeli posledično idealne pogoje za hidratacijo cementa v malti, so dosegli bistveno večjo upogibno trdnost. Drugače je z upogibno trdnostjo pri skupinah R3Z in R3V, kjer so večjo upogibno trdnost dosegli vzorci, starani na zraku. Vzrok bi lahko bila sestava sanacijske malte R3. Če malta vsebuje večji del polimernega veziva, potem je suha nega ugodnejša od mokre nege in zato so upogibne trdnosti dosežene na vzorcih negovanih na zraku višje. Polimer namreč rabi za oblikovanje nosilne mreže v strukturi veziva suhe pogoje okolja.

4.4.5 Tlačna trdnost

Testi tlačne trdnosti so bili tako kot testi upogibne trdnosti, opravljeni po določilih standarda SIST EN 196-1. Standard natančno predpisuje velikost vzorcev, način obremenjevanja, opremo za preskušanje ter hitrost vnašanja sile v vzorec. Vzorci velikosti 40mm/40mm/40mm, se obremenjujejo do porušitve, takrat pa se izmeri tudi porušna sila (F_c). Testi so bili opravljeni na 24-tih vzorcih, kjer sta bila po dva vzorca pripravljena iz ene prizme, porušene po preizkusu upogibne trdnosti. Obtežbo na vzorec se nanaša s konstantno hitrostjo (2400 ± 200) N/s. Vzorci so bili med preizkusom v posebnem standardiziranem jeklenem okvirju, ki omogoča vnos sile v preskušanece preko jeklenih ploščic 4x4 cm.



Slika 33: Jekleni okvir za preizkus tlačne trdnosti vzorcev

Z uporabo enačbe (2), ki jo podaja standard SIST EN 196-1, je bila izračunana vrednost tlačne trdnosti vzorcev (R_c), izražena v N/mm^2 (povzeto po SIST EN 196-1).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \dots (2)$$

Kjer pomeni:

R_f – tlačna trdnost v N/mm^2

F_c – sila ob poružitvi v N

1600 - 40mm x 40mm, površina ploskve na katero deluje sila s katero obremenjujemo vzorec



Slika 34: Rušenje vzorca med preiskavo tlačne trdnosti



Slika 35: Različni načini porušitev vzorcev pri preiskavi tlačne trdnosti

Preizkušenih je bilo 24 vzorcev, ki so bili razdeljeni v 4 skupine (S80Z, S80V, R3V in R3Z), poimenovane v poglavju o upogibni trdnosti. Ker je bilo pri preizkusu upogibne trdnosti opravljenih 12 meritev, smo iz vsake porušene prizme, dobili dva dela, levi in desni del, katera je bilo potrebno pripraviti za tlačni preizkus.

Preglednica 10: Rezultati preiskav tlačne trdnosti

N	Levi del ,R _c (N/mm ²)	Desni del, R _c (N/mm ²)	Povprečna tlačna trdnost (N/mm ²)	Povprečna tlačna trdnost skupine (N/mm ²)
1	36,69	37,63	37,16	R3Z 38,76
2	37,50	38,88	38,19	
3	39,50	42,38	40,94	
4	39,06	42,94	41,00	S80Z 39,91
5	38,44	40,56	39,50	
6	37,75	40,69	39,22	
7	79,13	88,81	83,97	S80V 81,25
8	76,75	84,56	80,66	
9	77,88	80,38	79,13	
10	48,63	53,25	50,94	R3V 50,76
11	44,69	53,13	48,91	
12	49,81	55,06	52,44	

Malta Emaco NanoCrete R3 je v standardu EN 1504-3, definirana z lastnostmi razreda R3, ki predpisuje tlačno trdnost vsaj 35N/mm². Iz preglednice 10 je razvidno, da so vsi vzorci, pripravljene iz malte Emaco NanoCrete R3 dosegli vrednosti, ki jih predpisuje ta standard in

proizvajalec. Prav tako je opaziti, da je tlačna trdnost vzorcev, ki so odležavali v vodi bistveno večja, kot pri vzorcih, ki so odležavali na zraku. Če primerjamo medsebojno skupini R3Z in R3V, je opaziti, da je povprečna vrednost skupine R3V za 31% večja, kar je bilo pričakovano. Primerjava skupin S80Z in S80V poda podobno situacijo prejšnji, saj so tudi vrednosti tlačne trdnosti, pri vzorcih, ki so bili starani v vodi, veliko večje, kar za 103,5%, od tistih, ki so bili starani na zraku. S primerjavo vzorcev različnih malt, ki so odležavali v enakih pogojih, opazimo, da je povprečna vrednost tlačne trdnosti, pri skupini S80Z le za 3% večja kot pri R3Z, medtem, ko pri vzorcih, ki so odležavali v vodi, opazimo znatno večjo razliko v tlačni trdnosti, saj je povprečna vrednost pri skupini S80V za 60% večja kot pri skupini R3V. To je bilo pričakovati, saj malta Emaco S80 spada v razred R4, ki ga podaja standard EN 1504-3, malta Emaco NanoCreteR3 pa v razred R3.

Za tlačno trdnost malte uporabljene za sanacijo, je v standardu SIST EN 1504-3:2006, točka 5.1 predpisano, da mora biti pri preverjanju tlačne trdnosti doseženo 80% vrednosti, ki jo deklarira proizvajalec malte. Proizvajalec za malto Emaco NanoCrete R3 zagotavlja tlačno trdnost vsaj 35N/mm^2 . Omenjeno vrednost presežejo čisto vsi vzorci, pripravljene iz dotične malte. Zanimivo je omeniti, da tlačna trdnost vzorcev, ki so bili starani na zraku, torej v podobnih pogojih kot so pri večini sanacij, le za malo presežejo vrednost, ki jo predpiše proizvajalec.

Za malto Emaco S80, proizvajalec zagotavlja tlačno trdnost vsaj 45N/mm^2 . To vrednost so dosegli samo vzorci, ki so odležavali v vodi, ostali vzorci, pa so presegli 80% te vrednosti, kar znaša 36N/mm^2 . Torej prav vsi vzorci pripravljene iz malte Emaco S80 zadostijo pogojem, podanim v standardu SIST EN 1504-3:2006.

Po opravljenih preizkusih tlačne trdnosti je razvidno, da na razvoj tlačne trdnosti močno vplivajo pogoji, v katerih se vzorci starajo do starosti 28 dni. Večjo tlačno trdnost dosežejo vzorci, ki so do preiskav odležavali v vodi, saj je ob tem nemoteno potekala hidratacija cementa v malti. Potrebno je tudi upoštevati, da voda, ki je v porah vzorcev, ki so odležavali v vodi, ob obremenitvi povzroča notranje pritiske, ki vplivajo na zmanjšane vrednosti tlačnih trdnosti. Če torej primerjamo glavna parametra, ki sta posledica različnih robnih pogojev, v katerih so bili vzorci malt starani, ugotovimo, da ima prevladujoči vpliv na vrednosti tlačne trdnosti stopnja hidratizacije.

Sanacije avtocestnih objektov potekajo na terenu, običajno tudi na spodnjih straneh betonskih elementov, zato je po opravljenem nanosu sanacijskega materiala težje zagotoviti dobre pogoje nege sanacijskega materiala, torej čim večjo vlažnost. Tako se sanacijski material stara v pogojih, ki so podobni pogojem, v katerih so odležavali vzorci skupin R3Z in S80Z, torej na zraku, brez mokre nege.

V takih pogojih sanacijski material doseže manjše vrednosti upogibne in tlačne trdnosti. Tako se tudi dejanske karakteristike sanacijskega materiala razlikujejo od tistih, ki jih predpisuje proizvajalec. Do razlik prihaja, ker proizvajalci določajo karakteristike materialov v idealnih pogojih, vemo pa, da so pogoji sanacij običajno vse kaj drugega, kot pa idealni. Za izboljšanje lastnosti sanacijskega materiala je zelo pomembna nega le tega, posebno zagotovitev dobrih pogojev za hidratacijo cementa v začetnem obdobju, kar pa je na terenu pogosto težko izvedljivo.

4.5 Dinamično obremenjevanje betonskih nosilcev

4.5.1 Potek dinamičnega obremenjevanja betonskih vzorcev

Betonski vzorci pripravljani po postopkih opisanih v poglavju 4.3, so bili uporabljeni pri preizkusu dinamičnega obremenjevanja. Pred začetkom dinamičnega obremenjevanja je bilo potrebno na vzorce aplicirati sanacijsko malto, na spodnjo stran vzorcev. Pripravljenih je bilo 12 betonskih vzorcev. Površina na 6 vzorcih je bila pripravljena ročno, na drugi polovici vzorcev pa z vodnim curkom. Uporabljeni sta bili dve malti, tako da so bile dobljene 4 različne skupine s po tremi vzorci, kateri so imeli enak postopek priprave površine in enako malto. Dva od treh vzorcev v skupini sta bila izpostavljena dinamični obremenitvi, tretji pa je bil testni vzorec, ki ni bil izpostavljen dinamični obremenitvi.

Preglednica 11: Seznam betonskih vzorcev z prikazanim načinom priprave površine in aplicirano malto

Vzorec	Priprava površine	Malta	Skupina
1	Ročno	S80	RS80
2	Ročno	S80	RS80
3 (T)	Ročno	S80	RS80
4	Ročno	R3	RR3
5	Ročno	R3	RR3
6 (T)	Ročno	R3	RR3
7	Z vodnim curkom	R3	VR3
8	Z vodnim curkom	R3	VR3
9 (T)	Z vodnim curkom	R3	VR3
10	Z vodnim curkom	S80	VS80
11	Z vodnim curkom	S80	VS80
12 (T)	Z vodnim curkom	S80	VS80

Proizvajalec malt, kateri sta bili uporabljeni, priporoča, navlažitev vzorcev 24 ur pred nanosom malte. Dan pred začetkom dinamičnega obremenjevanja je bil vsak betonski vzorec očiščen z vodnim curkom, s čimer je bil vzorec dobro navlažen obenem pa so bile odstranjene tudi vse nečistoče s stične ploskve. Prav tako je bila betonska površina vzorca, na mestu kjer je bila kasneje aplicirana sanacijska malta, močno navlažena tik pred nanosom malte, poskrbljeno je bilo tudi, da na betonski površini ni bilo stoječe vode, saj tako zahteva standard. Malta je bila pripravljena po navodilih proizvajalca ter po postopku mokro na mokro aplicirana na betonski vzorec.



Slika 36: Malta pripravljena za nanos na betonski vzorec



Slika 37: Nanos sanacijske malte na betonski vzorec

Po aplikaciji malte na vzorec, je le-ta odležal 1 uro preden se je začelo dinamično obremenjevanje. Namen odležanja vzorcev pred začetkom obremenjevanja je v tem, da malta vsaj malo začne vezati ter da pridobi vsaj nekaj trdnosti.

Pri prvem vzorcu, kateri je bil takoj po aplikaciji malte izpostavljen dinamični obtežbi, se je zgodilo, da je malta po 12000 ciklih odpadla iz vzorca. Vzrok temu gre iskati v intenziteti dinamičnega obremenjevanja. Model vpetja in obremenjevanja betonskega vzorca povzroča v vzorcu mnogo večje pomike in vibracije, kot bi bilo to v dejanski situaciji na terenu.

Temu botruje predvsem togost samega betonskega vzorca. Kritičen je bil predvsem čas takoj po začetku dinamičnega obremenjevanja oziroma do nekje 15000 opravljenih ciklov. Na sliki 38 vidimo malto, ki je odpadla z vzorca. Dobro so tudi vidna številna polimerna vlakna, katera v začetnem obdobju, takoj po nanosu malte, celo oslabijo odtržno trdnost, saj zmanjšajo površino stika med mineralnim vezivom in betonsko podlago.



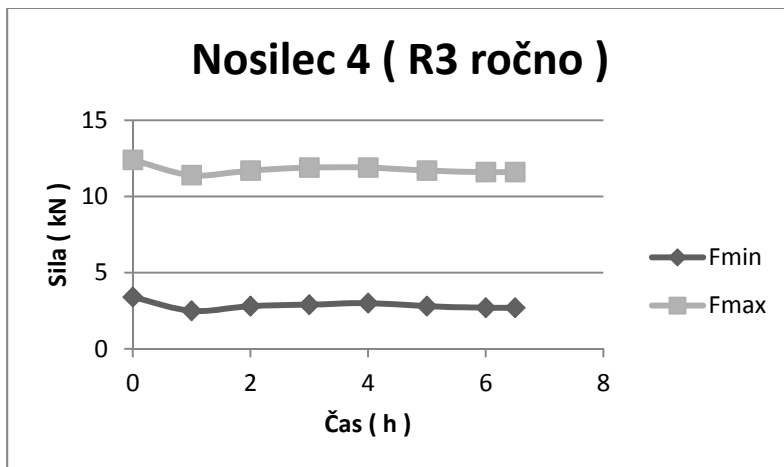
Slika 38: Sanacijska malta odpade z vzorca zaradi prevelikih pomikov in vibracij, ki so posledica togosti betonskega vzorca

Dinamično obremenjevanje vzorcev je nato potekalo nepretrgano 6,5 ur, kar pomeni, da je bilo pri frekvenci obremenjevanja 10Hz, opravljenih 242000 ciklov na vsakem vzorcu. Takoj po začetku obremenjevanja so bili zajeti podatki o pomikih in vneseni sili. Tudi med obremenjevanjem so bili podatki zajeti vsako uro, s čimer so bili kontrolirani pomiki in sila med obremenjevanjem. S sprotno analizo podatkov zajetih med potekom preizkusa je bila tudi dobljena predstava, kaj se dogaja z vzorce med preiskavo.

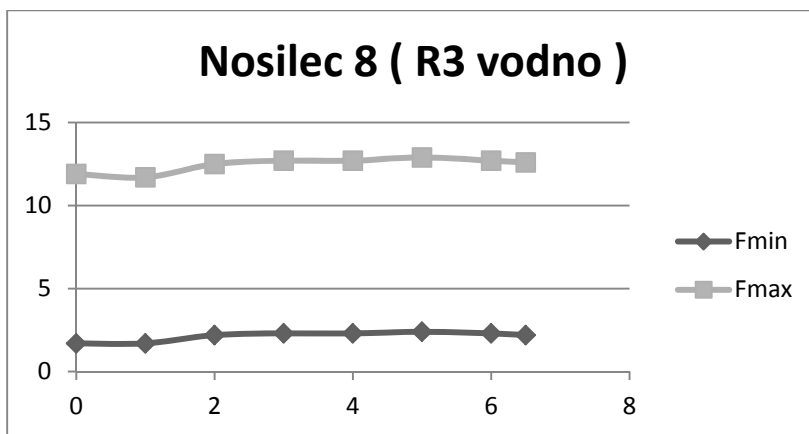
Kmalu po začetku cikličnega obremenjevanja je sila malenkost padla, kar je posledica trenutnih deformacij zaradi obtežbe in lezenja ter prilagajanja betonskega vzorca jeklenim podporam. Naslednjih nekaj ur je sila konstantno naraščala, pomiki pa so bili ves čas konstantni.

Na sredini razpona betonskega vzorca je njegov prerez najmanjši, saj je bil oslabljen, ko je bil odbit del betona. Na to mesto pred začetkom cikličnega obremenjevanja nanese sanacijsko malto. Malta v začetku nič ne pripomore k nosilnosti betonskega prereza. Po nekaj urah, ko malta že pridobi nekaj na trdosti ter se sprime z betonskim vzorcem, le to pripomore k povečani togosti najbolj obremenjenega prereza betonskega nosilca. Prav povečana togost pa povzroči, da se vrednost sile, ki učinkuje na nosilec ob konstantnih pomikih, začne povečevati. S povečano trdnostjo sanacijske malte se je obenem povečala tudi togost nosilca. Zaradi povečane togosti se posledično tudi poveča obtežba na betonski vzorec, saj pomiki ostajajo nespremenjeni skozi celotni čas preizkusa. Ko se je obremenjevanje bližalo koncu je

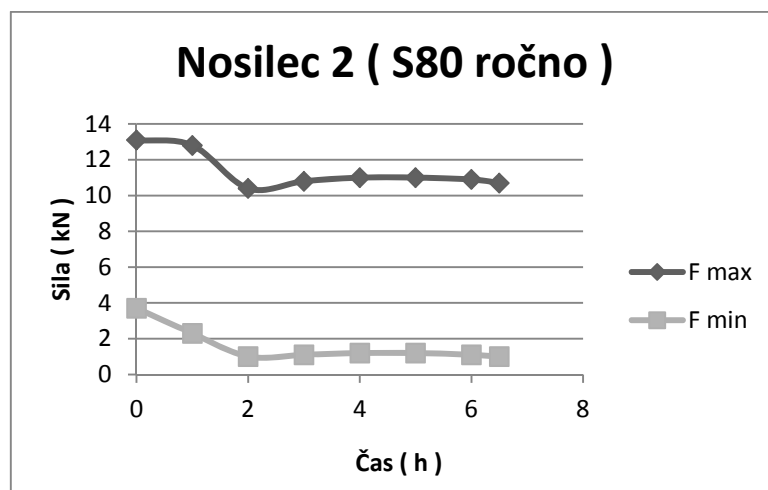
bilo zopet opaziti mali padec sile pri vseh betonskih vzorcih, kar je posledica utrujanja materiala. Na spodnjih diagramih so prikazane vrednosti maksimalne in minimalne sile skozi celotno obremenjevanje za betonska vzorca 8 in 12.



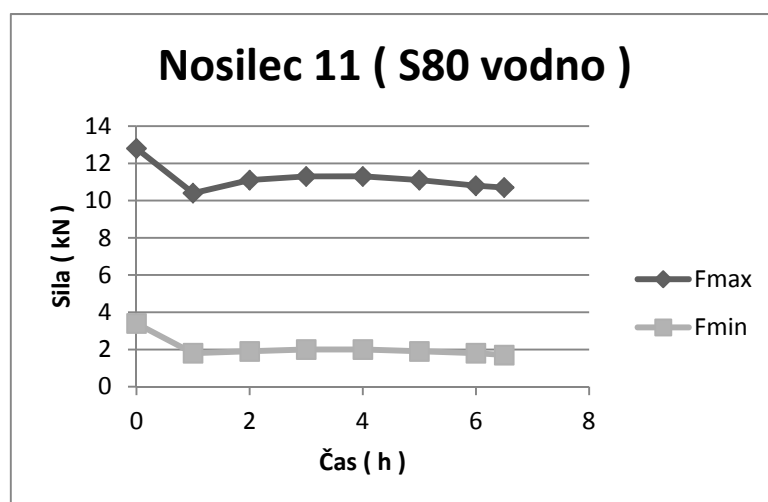
Slika 39: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 8. Na vzorcu je bilo odbijanje betona opravljeno ročno, aplicirana je bila malta Emaco NanoCrete R3.



Slika 40: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 8. Na vzorcu je bilo odbijanje betona opravljeno z vodnim curkom, aplicirana je bila malta Emaco NanoCrete R3.



Slika 41: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 2. Na vzorcu je bilo odbijanje betona opravljeno ročno, aplicirana je bila malta Emaco S80.



Slika 42: Vrednosti sil med dinamično preiskavo betonskega vzorca 11. Na vzorcu je bilo odbijanje betona opravljeno z vodnim curkom, aplicirana je bila malta Emaco S80.

Po koncu obremenjevanja so vzorci odležali 28 dni. Pogoji, v katerih so se starali betonski vzorci, so bili podobni pogojem, katerim so najpogosteje izpostavljeni sanacijski materiali na dejanskih sanacijah. Betonski vzorci so bili hranjeni na suhem mestu, pri temperaturi okrog 20°C, ter pri relativni vlažnosti okrog 50%. Pri teh pogojih je bila hidratacija cementa v malti otežena, kar vpliva na lastnosti strjene malte.

4.5.2 Pull-off testi

Pull-off testi oziroma preizkusi odtržne trdnosti so bili opravljani v skladu s predpisi standarda SIST EN 1542:2000–Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Preskusne metode – Merjenje odtržne trdnosti. Standard predpisuje postopek priprave vzorcev, opremo, pripomočke ter sam postopek meritev.

Vzorci je bilo potrebno predhodno zažagati skozi malto, ter še 5mm v betonsko površino. To je bilo opravljeno z diamantno krožno žago premera $(50\pm 0,5)$ mm, saj je tako zapisano v standardu EN 24624: 1992, ki pokriva področje merilne opreme.



Slika 43: Vrtanje z diamantno žago skozi malto do betona

Standard tudi predpisuje, da mora biti kapaciteta naprave, s katero se bo opravljalo teste, vsaj 10 kN, mora imeti ekran za prikaz rezultatov (maksimalne sile), natančnost naprave pa naj bo 2%.



Slika 44: Merilna naprava, s katero so bili opravljeni testi odtržne trdnosti

Vir: <http://www.abmbv.nl/pageid/nl/proceq-dyna>

Zaradi močnega pregrevanja jeklenega svedra pri vrtanju je bilo potrebno vzorec na mestu vrtanja zalivati z vodo. Posledica tega je bila, da so bili vzorci po končanem vrtanju mokri. Počakati je bilo potrebno da se dodobra posušijo, šele nato se je pričel postopek lepljenja jeklenih čepov na za to pripravljeno mesto. Jekleni čepi so okrogli, premera 5cm in debeline 2cm. Lepljenje je potekalo z dvokomponentnim lepilom, katero je bilo naneseo na čep in betonsko površino.



Slika 45: Betonski vzorec z izvrtano luknjo, jekleni čep in obe komponenti lepila

Pri lepljenju je bilo posebno pozornost posvetiti nanosu lepila na obe površini, saj je po tem, ko je bil čep pritisnjen na betonsko površino odvečno lepilo spolzelo proti krožni zarezi v betonu. Tu je bilo potrebno obrisati vse odvečno lepilo iz zareze, saj bi to v nasprotnem primeru vplivalo na dobljene rezultate. Po končanem lepljenju jeklenih čepov na betonske vzorce je bilo potrebno počakati 12 ur, da se lepilo posuši in da dobi zadostno trdnost.

Sledil je test odtržne trdnosti po metodi Pull-off. Ker so betonski vzorci široki le 10cm, je bila za podporo merilnega inštrumenta pri testih uporabljena jeklena plošča debeline 5mm in dimenzij 20/20cm, z odprtino na mestu jeklenega čepa. Pri meritvah je bila izmerjena izvlečna sila pri poružitvi vzorca. Takoj po poružitvi vzorca sta bili obe površini, površina na čepu in površina na betonskem vzorcu, slikani, zaradi kasnejše podrobnejše analize porušenega stika. Odtržna trdnost je bila izračunana po enačbi (3). Postopek meritve odtržne trdnosti je prikazan na sliki 46.



Slika 46: Postopek meritve odtržne trdnosti po metodi Pull-off. Vidna je jeklena plošča, ki je služila za podporo nogic preizkuševalne naprave.

Podatki o preiskavah odtržnih trdnosti:

- datum preiskav: 5. Februar, 2011
- začetek preiskave: 9:05
- konec preiskave: 11:15
- temperatura med preiskavo: 2°C
- relativna vlažnost: 51%
- Vreme: sončno brez vetra
- Hitrost nanašanja sile: 0,1 kN/s, konstantno
- Premer jeklenega čepa: 50mm , ($A_x=1963,49\text{mm}^2$)

Iz dobljene sile (F_h) pri meritvah je bila odtržna trdnost (f_h) izračunana po enačbi (3).

$$f_h = \frac{4 \cdot F_h}{\Pi \cdot D^2} \quad \dots(3)$$

Kjer pomenijo oznake:

F_h – velikost izvlečne sile, dobljene pri meritvi (N)

D – premer jeklenega čepa (mm)

f_h – odtržna trdnost (N/mm^2), povzeto po SIST EN 1542).



Slika 47: Betonski vzorci po končanih Pull-off testih s pripadajočimi jeklenimi čepi

Preglednica 12: Rezultati odtržnih trdnosti

VZOREC	ODTRŽNA TRDNOST (N/mm ²)	PORUŠITEV
1	0,793	100 % v malti, do armature, slaba vgrajenost malte, praznine
2	1,036	100 % v malti v sloju tik pod lepilom
3 (T)	1,254	100 % v malti
4	0,625	10 % po betonu, 90 % po malti, do armature
5	0,902	60 % po betonu, 40 % po malti
6 (T)	0,588	50 % po betonu, 50 % po malti
7	1,105	10 % po betonu, 90 % po malti, do armature
8	0,971	100 % po malti,
9 (T)	0,177*	100 % po malti v sloju tik pod lepilom
10	0,580*	vzorec poškodovan pri vrtnanju, pretrg po stiku lepilo-površina
11	0,574	100 % po malti, do armature, ob armaturi kaverna, tudi špranja
12 (T)	1,179	100 % v malti v sloju tik pod lepilom

Opomba: *vrednost ni merodajna, zaradi poškodb vzorca, z rdečo barvo so označeni rezultati, ki ustrezajo pogojem standarda SIST EN 1504-10, ki predpisuje vrednost 0,7 N/mm² za nekonstrukcijska popravila (povzeto po ZAG, Poročilo o zunanji kontroli).

Iz preglednice 12 je razvidno, da so rezultati precej nepričakovani. Takoj je opazno, da je pri večini vzorcev porušitev nastopila v sloju malte. V primerih, ko je porušitev nastopila v malti, so vrednosti odtržne trdnosti večje, kot v primerih, ko je porušitev nastopila na stiku med malto in betonom. Pri vzorcu 10, se je poškodba zgodila že med vrtanjem, tako da je ta vzorec izločen iz nadaljnje obravnave, kakor tudi vzorec 9, kjer se je pojavila napaka pri lepljenju. Vzroke manjših vrednosti odtržnih trdnosti gre iskati pri pogojih dinamičnega obremenjevanja. Med dinamičnim obremenjevanjem so se v stiku med malto in betonom pojavile vibracije, katere so v veliki meri vplivale predvsem na oprijem mineralnega veziva na beton. Zaradi vibracij in pomikov je oprijem slabši, kot bi bil če bi vzorec miroval, kar je razvidno iz primerjav vzorcev, ki so mirovali in vzorcev, ki so bili podvrženi dinamičnim obremenitvam. Če primerjamo vzorec 1 in 3, katera sta bila pripravljena povsem enako, s tem da je vzorec 3 miroval, vzorec 1 pa je bil podvržen dinamični obremenitvi, opazimo, da je odtržna trdnost pri vzorcu 3 za kar 58,1% večja. Doseženi vrednosti sta prikazani v preglednici 12. Porušitev je pri obeh vzorcih potekala v malti, tako da v tem primeru dejansko lahko potrdimo negativne vplive dinamičnega obremenjevanja. Vzorca 1 in 3 spadata v delovno skupino RS80, kakor tudi vzorec 2, pri katerem je bila izmerjena odtržna trdnost $1,036 \text{ N/mm}^2$, kar je pa le 21% manj od vrednosti pri vzorcu 3, kateri je bil testni. Izmerjena vrednost odtržne trdnosti pri vseh treh vzorcih v tej skupini je večja od vrednosti $0,7 \text{ N/mm}^2$. Vrednost $0,7 \text{ N/mm}^2$ je minimalna vrednost, katero predpisuje standard SIST EN 1504-10, za nekonstrukcijska popravila.



Slika 48: Prikaz porušenih površin Pull-off testa pri vzorcu 2 (malta Emaco S80 in ročno obdelana betonska površina). Dobro je vidno da se je porušitev zgodila v sloju takoj pod lepilom



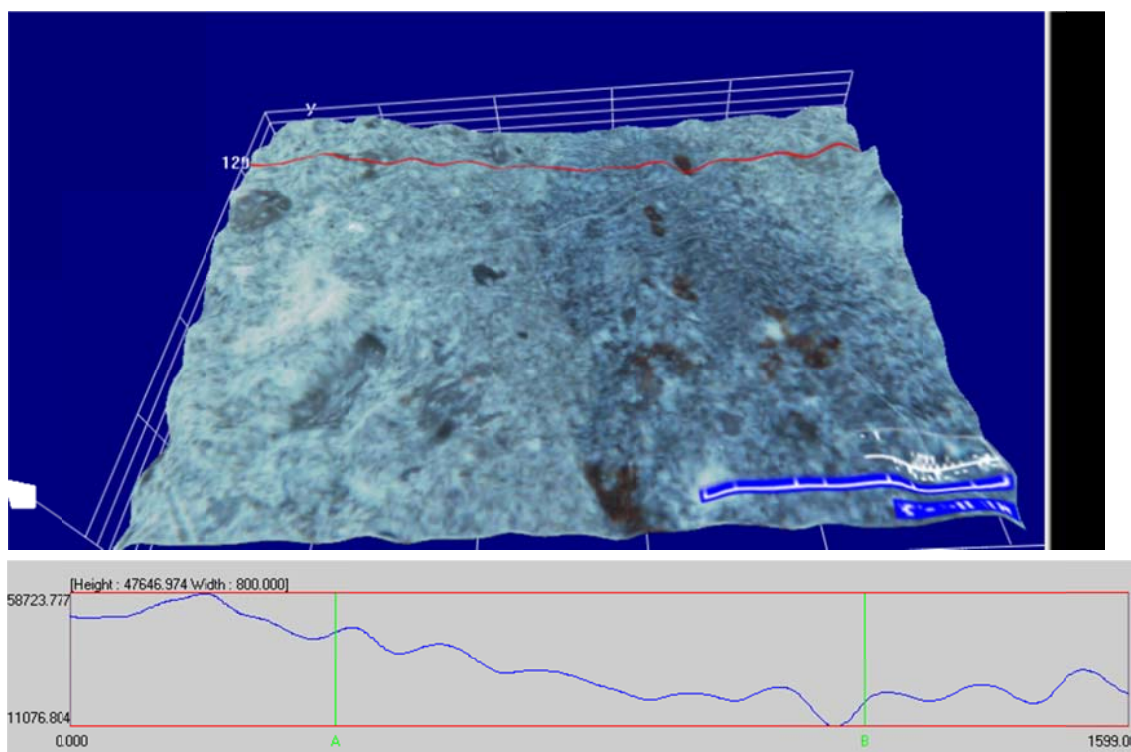
Slika 49: Prikaz porušениh površin Pull-off testa pri vzorcu 1 (malta Emaco S80 in ročno obdelana betonska površina). Vidne so praznine, ki so posledice slabše vgrajenosti malte

Pri pregledu rezultatov vzorcev skupine VS80 (vzorci 10, 11 in 12) je razvidno, da sta merodajna samo dva, rezultata vzorcev 11 in 12, saj je bil vzorec 10 poškodovan pri vrtanju. Odtržna trdnost je večja pri vzorcu 12, kateri ni bil izpostavljen dinamičnem obremenjevanju. Razlika je bila kar $0,605 \text{ N/mm}^2$ oziroma 105%. Tukaj zopet lahko potrdim hipotezo iz uvoda diplomskega dela, ki napoveduje negativne vplive dinamičnega obremenjevanja na vrednosti odtržne trdnosti, zaradi oslabitve stika med malto in betonom v fazi strjevanja sanacijske malte. Pozornost je treba posvetiti vzorcu 11, kjer je bila izmerjena odtržna vrednost le $0,574 \text{ N/mm}^2$, kar ne zadosti pogoju $0,7 \text{ N/mm}^2$. Vzroki so dobro vidni na sliki 50, torej kaverna in špranja ob armaturi, ki sta posledici vgrajevanja malte oziroma vibracij, ki se preko armature, ki je togo vpeta v nosilec prenašajo v sanacijski material.



Slika 50: Prikaz porušene površine Pull-off testa pri vzorcu 11 (malta Emaco S80 in obdelava betonske površine z vodnim curkom)

Opraviti je potrebno tudi primerjavo delovnih skupin RS80 in VS80, torej vzorcev z aplicirano enako malto, vendar z drugačnim načinom priprave betonske površine. Odtržne trdnosti so večje pri vzorcih, kjer je bila betonska površina pripravljena ročno, torej pri skupini RS80. S to ugotovitvijo se lahko ovrže hipoteza 2, podana v uvodu diplomskega dela, po kateri je za pričakovati da bodo večje odtržne trdnosti dosežene pri vzorcih z vodno obdelano betonsko površino. Pri tem je vseeno potrebno omeniti, da velikostni razred vibracij le ni bil pri vseh vzorcih enak, na kar je vplivala geometrija vzorcev, predvsem nepopolnost izdelave. Geometrijska odstopanja med vzorci je bilo med dinamičnim obremenjevanjem opaziti z prostim očesom.



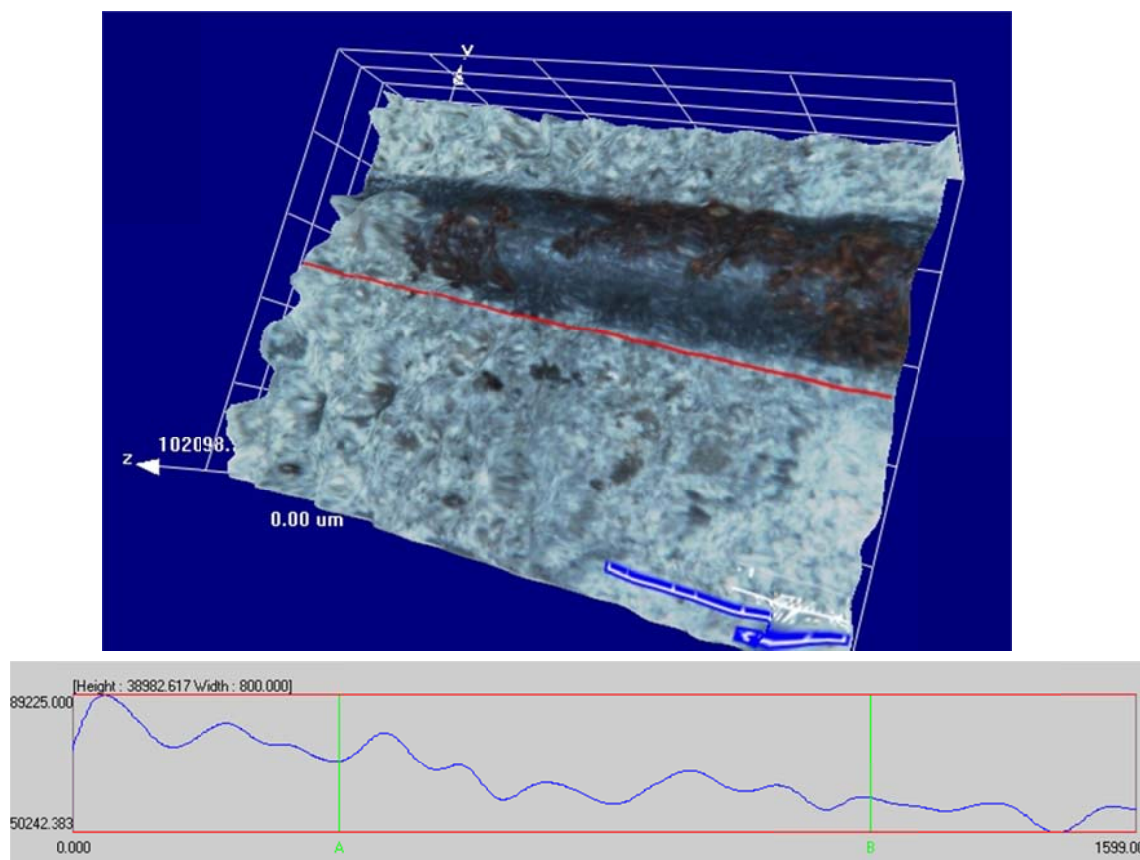
Slika 51: Mikroskopski posnetek porušene površine vzorca 12. Posnetek je opravljen s 50-kratno povečavo. Spodaj je viden tudi relief površine, ki je na zgornjem delu slike označena z rdečo črto (posneto z digitalnim mikroskopom, 2011).

V nadaljevanju bodo podrobneje opisani rezultati odtržnih trdnosti delovnih skupin RR3 (priprava površine z vodnim curkom in aplicirana malta Emaco NanoCrete R3) in VR3 (ročna priprava površine in aplicirana malta Emaco NanoCrete R3). Pri skupini RR3, kamor spadajo vzorci 4, 5 in 6, samo vzorec 5 dosega zahtevano vrednost odtržne trdnosti. Presenetljivo je tudi, da primerjalni vzorec 6, ki ni bil izpostavljen dinamičnem obremenjevanju, ni dosegel predpisane vrednosti $0,7 \text{ N/mm}^2$, ampak le $0,588 \text{ N/mm}^2$. Porušitve vseh treh vzorcev v tej skupini so potekale kot kombinacija porušitve po betonu in v malti, z različnimi odstotki omenjenih vrednosti.

Povprečne vrednosti odtržnih trdnosti v obravnavani skupini so tudi najmanjše izmed vseh štirih skupin, kar je bilo za pričakovati že pred začetkom preiskav, saj se z ročno obdelavo betonske površine doseže manjša hrapavost le-te, kar vpliva na oprijem sanacijskega materiala z betonom. Na sliki 52, predvsem pa na sliki 54 so dobro vidni ostanki betona na malti, ki so bele barve.



Slika 52: Prikaz porušenih površin Pull-off testa pri vzorcu 4 (malta Emaco NanoCrete R3 in ročna obdelava betonske površine)

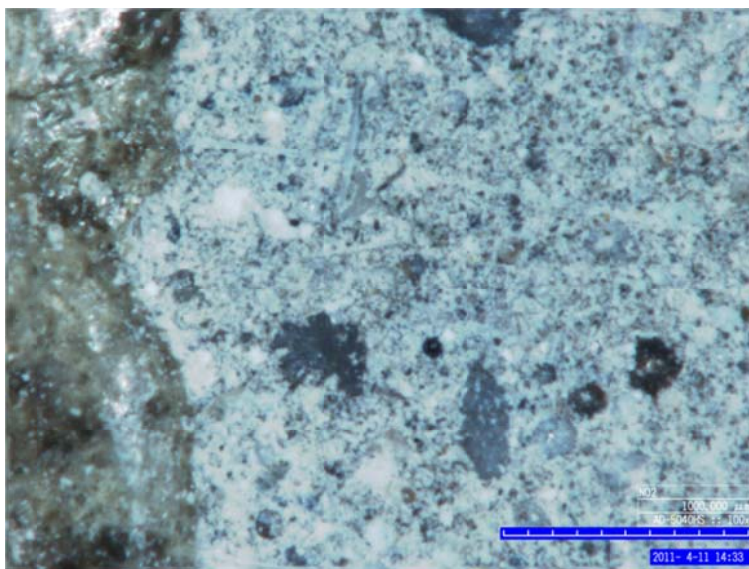


Slika 53: Mikroskopska slika porušene površine pri vzorcu 4. Zgornji del slike je 3D model površine, ki ga je ustvari mikroskop pri 50-kratni povečavi, spodaj pa je grafični prikaz posnetih višin na betonski površini. Dobro je vidno, kje se malta oprime armature (posneto z digitalnim mikroskopom, 2011).



Slika 54: Prikaz porušenih površin Pull-off testa pri vzorcu 6 (malta Emaco NanoCrete R3 in ročna obdelava betonske površine)

Pri zadnji delovni skupini VR3, je potrebno najprej omeniti da je bil izločen rezultat vzorca 9, saj je prišlo do napake pri lepljenju, tako da dobljeni rezultat ni merodajen. Izločeni vzorec je bil tudi primerjalni vzorec, tako da ne bo možno ugotoviti, kakšne bi bile vrednosti, ko vzorec ni izpostavljen dinamičnem obremenjevanju. Preostala vzorca v tej skupini sta dosegla visoke vrednosti odtržnih vrednosti in zadoščata pogojem standarda. Pri vzorcu 7, ki je dosegel višjo vrednost odtržne trdnosti, je porušitev potekal 10% po betonu in 90% v malti, vidna je bila tudi armatura, medtem ko je porušitev pri vzorcu 8 potekala izključno po malti.



Slika 55: Mikroskopski posnetek površine vzorca 9. Povečava je 100-kratna. Vidna so polimerna vlakna, različna mineralna zrna in lepilo na levem delu slike.

Po opravljeni analizi dobljenih rezultatov odtržne trdnosti po metodi Pull-off je razvidno, da so med vsemi vzorci, ki so bili izpostavljeni dinamičnem obremenjevanju, najvišje odtržne vrednosti dosegli vzorci, z aplicirano malto EmacoNanoCrete R3 in betonsko površino pripravljeno z vodnim curkom pod velikim pritiskom. S to ugotovitvijo se potrди hipoteza 2, katera napoveduje, da površina ki je bolj hrapava, omogoča boljše pogoje za razvoj odtržne trdnosti.

Z enako ugotovitvijo se obenem ovrže hipoteza 1, saj so vzorci z aplicirano malto Emaco NanoCrete R3 dosegli višje odtržne trdnosti kot pa vzorci z aplicirano malto Emaco S80, čeprav zadnja spada v višji razred dinamične odpornosti glede na standard SIST EN 1504-3. Dejstvo je tudi, da dinamično obremenjevanje in posledično povečane vibracije in pomiki,

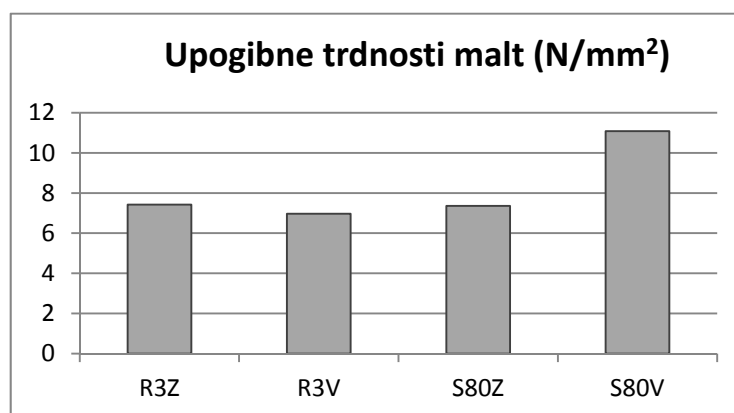
negativno vplivajo na razvoj odtržne trdnosti. Izmed 12 vzorcev sta bila dva poškodovana med pripravo na preizkus, med ostalimi desetimi vzorci, pa so trije dosegli odtržno trdnost, ki ne ustreza zahtevam trdnosti. Torej je glede odtržnih trdnosti ustreznih 70% vzorcev.

5 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK

5.1 Ugotovitve

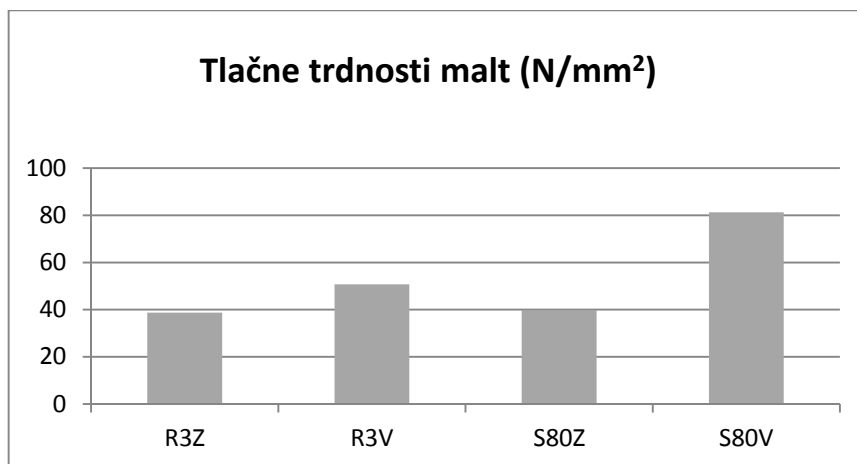
Po opravljenih preizkusih upogibne in tlačne trdnosti in Pull-off testih, ter zbranih rezultatih vseh testov, so ugotovitve naslednje:

1. Pogoji staranja sanacijske malte, ki je aplicirana na betonske vzorce, močno vplivajo na lastnosti malte, ko se le ta strdi. Ti vplivi so močno negativni, če strjevanje sanacijskega materiala poteka v okolju, kjer ni dovolj vlage za nemoten potek hidratacije cementa, kateri je prisoten v malti. Zelo velike razlike v doseženih vrednostih upogibnih in tlačnih trdnosti so se pokazale pri malti Emaco S80, saj so upogibne trdnosti pri vzorcih malte, ki so bili starani v pogojih 100% vlažnosti, za 50,5% večje kot pri vzorcih staranih v suhih pogojih. Še večje so bile razlike pri vrednostih tlačne trdnosti, katere so se razlikovale za kar 103,6% v korist vzorcem, ki so odležali v vodi. Pri sanacijski malti Emaco NanoCrete R3 so bile razlike manjše, kar pa je zanimivo, je da so vrednosti upogibne trdnosti vzorcev, ki so odležali na zraku, večje, kot pa pri vzorcih staranih v vodi. Pri tlačni trdnosti rezultati kažejo povprečno vrednost pri vzorcih staranih na zraku $38,76 \text{ N/mm}^2$, pri vzorcih ki so odležali v vodi pa $50,76 \text{ N/mm}^2$, kar pomeni 31% razliko. Za nadaljnje vrednotenje rezultatov so bolj pomembne dobljene vrednosti pri preizkusih upogibnih trdnosti, sploh pri vzorcih, ki so odležali v suhih pogojih. V teh pogojih se je bolje izkazala sanacijska malta Emaco NanoCrete R3.



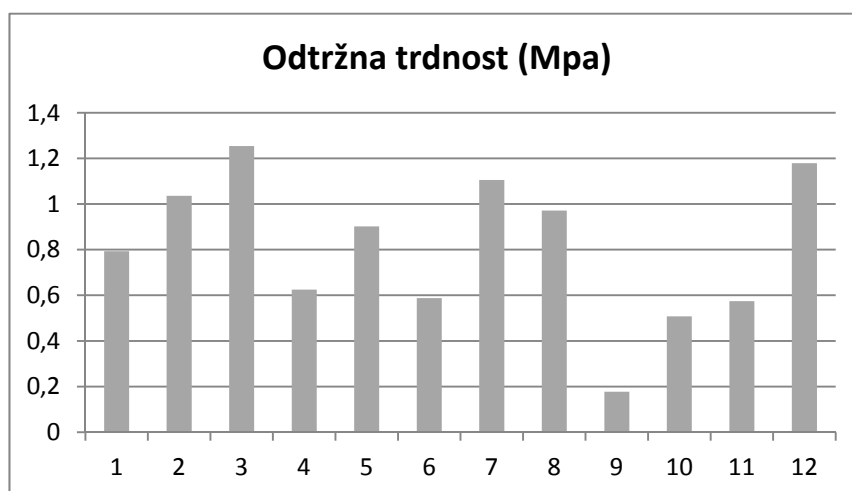
Slika 56: Rezultati povprečnih upogibnih trdnosti malt delovnih skupin

Rezultati opravljenih testov podajajo dejanske vrednosti upogibnih in tlačnih trdnosti, saj le-te, niso natančno specificirane s strani proizvajalca. Upogibne trdnosti so prikazane na sliki 56, tlačne trdnosti pa na sliki 57.



Slika 57: Rezultati povprečnih tlačnih trdnosti malt delovnih skupin

2. Po opravljenih meritvah odtržne trdnosti malte na betonsko površino so bili dobljeni naslednji rezultati, prikazani na sliki 58



Slika 58: Vrednosti odtržnih trdnosti, dobljenih pri Pull-off testu

Standard SIST EN 1504-10 predpisuje za nekonstrukcijska popravila minimalno odtržno trdnost 0,7 MPa. Iz slike 58 je razvidno, da 7 vzorcev ustreza zahtevi standarda, 5 vzorcev pa je neustreznih, izmed katerih sta bila dva poškodovana pri vrтанju (vzorca 9 in 10), tako da sta izločena iz nadaljnje obravnave. Na podlagi dobljenih rezultatov je ugotovljeno, da so bile dobljene višje vrednosti odtržnih trdnosti pri vzorcih, kjer je bila betonska površina pripravljena ročno, pri vzorcih z aplicirano malto Emaco S80. Pokazalo se je tudi, da so pri vzorcih z vodno pripravo betonske površine boljše rezultate dosegli vzorci z aplicirano malto Emaco NanoCrete R3. S to ugotovitvijo se delno potrди hipotezo 1, delno se jo pa ovrže. Iz dobljenih rezultatov je sklepati, da se malta Emaco S80 pri razvoju odtržnih trdnosti bolje obnaša na betonskih površinah, kjer je beton odbit ročno, medtem ko malta Emaco NanoCrete R3 izkazuje boljše rezultate v primerih, ko je površina pripravljena z vodnim curkom pod velikim pritiskom.

3. Vpliv priprave betonske površine na razvoj odtržnih trdnosti je potrebno obravnavati ločeno, glede na tip aplicirane malte na betonski vzorec. V primerih, ko je bila na vzorce aplicirana malta Emaco NanoCrete R3, se je izkazalo, da so vrednosti odtržnih trdnosti občutno večje pri vzorcih, kjer je bila betonska površina pripravljena z vodnim curkom. Po pripravi površine z vodnim curkom je betonska površina mnogo bolj groba kot pri ročni pripravi površine, tako da ima malta fizično več površine za oprijem, je pa tudi površina bolj hrapava. S to ugotovitvijo se potrди hipoteza dve iz uvoda, ki pravi, da je pričakovati višje vrednosti odtržnih trdnosti pri vzorcih s vodno odstranjenim betonom, vendar pa velja samo za malto Emaco NanoCrete R3. Pri malti Emaco S80 so rezultati pokazali drugačno sliko. Višje vrednosti odtržnih trdnosti so bile dosežene pri vzorcih, kjer je bila betonska površina obdelana ročno. S to ugotovitvijo se spet delno ovrže hipoteza dve, v primeru aplicirane malte Emaco S80.
4. Na podlagi primerjave dobljenih rezultatov odtržne trdnosti med vzorci kateri so bili izpostavljeni dinamičnem obremenjevanju in testnimi vzorci, torej vzorci, ki dinamičnem obremenjevanju niso bili izpostavljeni, je bilo ugotovljeno:

- Pri vzorcih z aplicirano malto Emaco S80 sta občutno večje vrednosti odtržnih trdnosti dosegla vzorca, ki nista bila izpostavljena dinamičnem obremenjevanju. To sta bila vzorca 3 in 12, dosegla pa sta odtržne vrednosti 1,254MPa in 1,179MPa. Če ju primerjamo z vzorci, ki so bili podvrženi dinamični obremenitvi ugotovimo, da so njihove vrednosti doseženih odtržnih trdnosti, vsaj za 22% manjše, kar potrjuje hipotezo 3, da dinamično obremenjevanje negativno vpliva na razvoj oprijemne trdnosti med sanacijsko malto in osnovnim betonom. Z dobljenimi rezultati se ta ugotovitev lahko potrdi samo za vzorce, kjer je bila aplicirana malta Emaco S80.
- Zgornja ugotovitev ne velja za vzorce, pri katerih je bila aplicirana sanacijska malta Emaco NanoCrete R3. Pri omenjenih vzorcih je bil eden izmed testnih vzorcev(vzorec 9) poškodovan že pri vrтанju, tako da je bil izločen iz nadaljnje obravnave, medtem ko je bila izmerjena odtržna trdnost pri drugem testnem vzorcu(vzorec 6) le 0,588 MPa, kar je najmanj izmed vseh vzorcev z aplicirano malto Emaco NanoCrete R3. Razlog tako majhne vrednosti odtržne trdnosti pri testnem vzorcu 6 gre iskati pri tipu porušitve, ki je potekala 50% po malti in 50% po betonu, medtem ko so porušitve pri drugih vzorcih z aplicirano malto Emaco NanoCrete R3 v večini potekale po malti. Za boljši pregled dejanskega vpliva dinamičnega obremenjevanja na razvoj odtržne trdnosti, bi bilo potrebno preizkusiti več vzorcev. Glede na opravljene meritve odtržnih trdnosti, se lahko poda ugotovitev, da pri vzorcih z aplicirano malto Emaco S80 dinamično obremenjevanje izrazito negativno vpliva na oprijemno trdnost, medtem ko tega ne moremo trditi za vzorce z aplicirano malto Emaco NanoCrete R3.

5.2 Zaključek

Po opravljenih vseh preizkusih, analizi rezultatov ter primerjavi rezultatov med seboj sledi zaključni del. S preiskavami je bilo ugotovljeno, da ima velik vpliv na tlačno in upogibno trdnost sanacijske malte nega malte oziroma pogoji, v katerih se malta stara. Če pogoji okolja zagotavljajo dovolj vlage za nemoten potek hidratacije cementa v sanacijskem materialu, bodo dosežene dosti večje vrednosti upogibne in tlačne trdnosti, kot pa če vlage v okolju ni dovolj. V pogojih, v katerih po navadi potekajo sanacije armiranobetonskih premostitvenih objektov, so bile višje vrednosti upogibne trdnosti dosežene pri malti Emaco NanoCrete R3, medtem, ko so tlačne trdnosti višje pri malti Emaco S80. Ker so bile razlike med doseženimi vrednostmi zelo majhne, je na mestu zaključek, da v pogojih, ko v okolju ni dovolj vlage za nemoten potek hidratacije, skoraj ni razlik v lastnostih uporabljenih strjenih malt.

Pri odtržni trdnosti so bili ugotovljeni naslednji zaključki. Za betonske površine, kjer je bil beton odstranjen z ročnimi postopki je bolj primerna sanacijska malta Emaco S80, saj omenjena kombinacija priprave površine in uporabljene malte omogoči razvoj najvišjih odtržnih trdnosti. Pomemben dejavnik, ki negativno vpliva na odtržno trdnost so tudi vibracije in pomiki, ki so posledica dinamičnega obremenjevanja betonskega vzorca. Pri vzorcih, kjer je bila betonska površina pred nanosom sanacijskega material obdelana z vodnim curkom pod velikim pritiskom, je bolj priporočljivo uporabiti sanacijsko malto Emaco NanoCrete R3, saj bodo odtržne trdnosti v teh primerih višje, kot če bi bila uporabljena malta Emaco S80.

Pri nekonstrukcijskem popravilu armiranobetonskih elementov, morajo biti odtržne vrednosti vsaj 0,7 MPa, kar je predpisano v standardu SIST EN 1504-10. Med vzorci na katerih je bila opravljena meritev Pull-off, je bila omenjena mejna vrednost v 7 primerih presežena, v 3 primerih pa ni bila dosežena. Razloge, zakaj niso vsi vzorci ustrezni, gre predvsem iskati v togosti betonskih vzorcev, nepopolnosti oblik in kakovosti vgrajevanja sanacijske malte. Prav vgrajevanje malte na betonski vzorec ima zelo velik vpliv na razvoj odtržne trdnosti.

Za še natančnejše zaključke, bi bilo potrebno opraviti večje število betonskih vzorcev in meritve, saj je metoda meritve odtržne trdnosti zelo kompleksna preiskava. Na dobljene rezultate vpliva veliko število dejavnikov:

- Pull-off preiskava(vrtanje, jekleni čepi, lepljenje,...)
- Geometrija vzorcev, kar se odraža v pomikih in vibracijah
- Odbijanje betona(količina odbitega betona, armatura, poškodbe armature,...)

Iz samih preiskav se je izkazalo, da je potrebno največjo pozornost nameniti izdelavi betonskih vzorcev, načinu odstranjevanja betona in nanosu sanacijskega materiala. Omenjeni dejavniki v zelo veliki meri vplivajo na doseženo vrednost odtržne trdnosti. Ker o podobnih preiskavah ni veliko napisanega je bilo premalo pozornosti posvečene sami izdelavi betonskih vzorcev. Z ugotovitvami med preiskavami so postavljeni temelji za nadaljnje podobne preiskave, saj so se pokazale pomanjkljivosti, katerih ni bilo moč predvideti pred pričetkom samih preiskav.

VIRI

Beg, D. 1999. Projektiranje jeklenih konstrukcij po evropskem predstandardu ENV 1993-1-1, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 210.

Bokan Bosiljkov, V. 2008. Razvojno raziskovalna naloga: Optimizacija načina sanacije voziščnih plošč viaduktov na avtocestah. Ljubljana, DARS: str. 88.

Concrete repair manual, Vol 1 – 2. 2007, Michigan, Farmington Hills: str. 2541.

Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji. Prometne obremenitve. 2011.

http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Prometne_obremenitve_94.aspx (pridobljeno 12.4.2011).

Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji. Obnovitvena dela. 2011.

http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Obnovitvena_dela_82.aspx (pridobljeno 12.4.2011).

Dyna – Preskuševalna naprava za Pull-Off. 2011.

<http://www.abmbv.nl/pageid/nl/proceq-dyna> (pridobljeno 11.4.2011).

Gerbec, B. Proučevanje korozijske odpornosti betona. 2011.

<http://www.gi-zrmk.si/images/TC/4%20%C4%8Dlanek.pdf> (pridobljeno 3. 2. 2011).

Grum, B. 2004. Sanacije betonskih objektov. Ljubljana, i2: str. 271.

Hanžič, L. 2005. Kapilarnost v betonih. Doktorska disertacija. Ljubljana. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 52-54.

HAVE pci. 2010. Tehnična dokumentacija za malte; Emaco S80 in Emaco NanoCrete R3, Delovno gradivo, Ljubljana: str. 25.

Jamšek, Z. 2010. Materiali in postopki popravila in prenove betonskih konstrukcij. Gradbenik 14, 1: str. 24–25.

Jamšek, Z. 2010. Materiali in postopki popravila in prenove betonskih konstrukcij. Gradbenik 14. 3: str. 54-56.

Jamšek, Z. 2010. Materiali in postopki popravila in prenove betonskih konstrukcij. Gradbenik 14, 4: str. 60–62.

Kongresna hala v Berlinu-slike. 2011.

<http://www.galinsky.com/buildings/congress/> (pridobljeno 12.4.2011).

Kongresna hala v Berlinu-zgodovina, gradnja. 2011.

<http://www.hkw.de/en/hkw/gebauede/architektur/index.php> (pridobljeno 12.4.2011).

Kongresna hala v Berlinu-porušitev. 2011.

<http://failures.wikispaces.com/West+Berlin+Congress+Hall> (pridobljeno 12.4.2011).

Košič, T. Šoba, F. 2008. Analiza prometa na slovenskih cestah. Zbornik 9. Slovenskega kongresa o cestah in prometu, 2008, Portorož, Slovenija, 22.-24. Oktober 2008. Ljubljana, Drc.si: str. 21.

Leskovar, I. 2010. Strategija izvedbe sanacij objektov: Šušteršič, Jakob (ur.). 17. slovenski kolokvij o betonih, Zbornik gradiv in referatov, 19 .maj, 2010, (IRMA): str. 6-15.

Legat, A. 2010. Spremljanje korozije armiranobetonskih objektov. ZAG. 2010, članek v časopisu Delo.

Most Reichsbruecke. 2011.

http://www.reichsbruecke.net/geschichte_e.php (pridobljeno 12.4.2011).

Opomnik nadzornim inženirjem; 2007, Dela z maltami za popravilo pri rekonstrukciji premostitvenih objektov pod prometom, DARS d.d, Delovno interno gradivo: str. 18.

Sanacijska malta Emaco S80. 2011.

http://www.have.si/sl/popravila_betonov_reparaturne_malte_izravnalne_malte/118/emaco_s_80.html (pridobljeno 12.5.2011).

Sanacijska malta Emaco NanoCrete R3. 2011.

http://www.have.si/sl/popravila_betonov_reparaturne_malte_izravnalne_malte/76/emaco_nanoconcrete_r3.html (pridobljeno 12.5.2011).

Tomažević, M. 1991. Uvod v eksperimentalno analizo, Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: str. 224.

Poročilo o zunanji kontroli odtržne trdnosti sanacijske malte, naročnik Gradis, GPL. Ljubljana, ZAG: str. 6.

Žarnić, R. 2005. Lastnosti gradiv, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 113.

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 – 4: 2005- Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij - Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 4.del: Konstrukcijsko povezovanje.

SIST EN 1504 – 5: 2005 – Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij - Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 5.del: Injektiranje betona.

SIST EN 1504 – 6: 2006- Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij - Definicije, zahteve, kontrola kakovosti in ovrednotenje skladnosti – 6.del: Sidranje armaturnih palic.

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 196 – 1: 2009 – Metode preskušanja cementa – 1. del: Določanje trdnosti

SIST EN 206 – 1: 2003 - Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost betona.

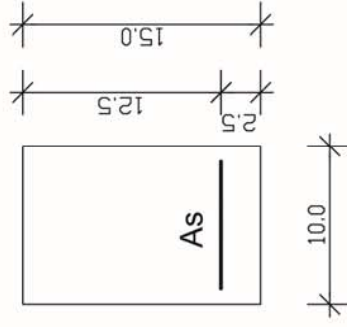
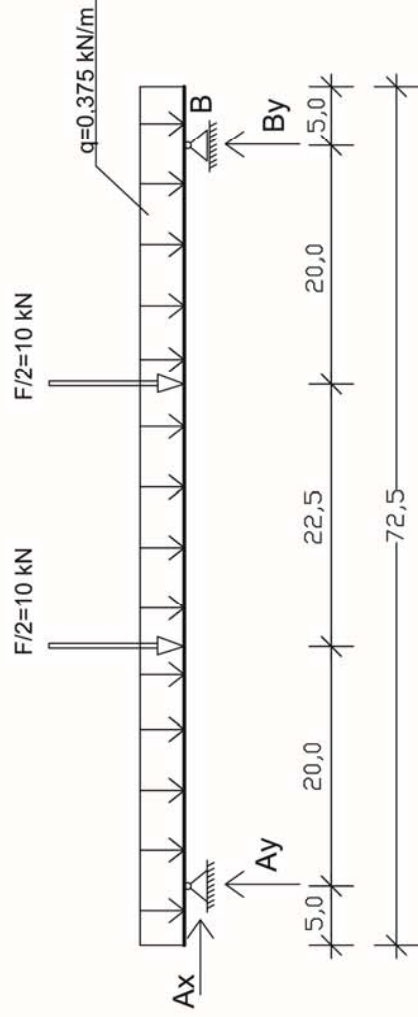
SIST EN 1542:2000 - Proizvodi in sistemi za zaščito in popravilo betonskih konstrukcij – Preskusne metode – Merjenje odtržne trdnosti.

Deutscher ausschuss für stahlbeton. 2010. Teil 4: Prüfverfahren, del 2.7.8; Haftzugfestigkeit nach Schwingbeanspruchung: str. 4-15, 4-16.

ÖNORM-B.2009 - 4706 Instandsetzung, Umbau und Verstärkung von Betonbauten, Allgemeine Regeln und nationale Umsetzung der ÖNORM EN 1504: str. 46-47.

ÖVBB. 2009 - Richtlinie :Erhaltung und Instandsetzung von Bauten auf Beton und Stahlbeton.

Priloga A - Statični izračun in dimenzioniranje armature



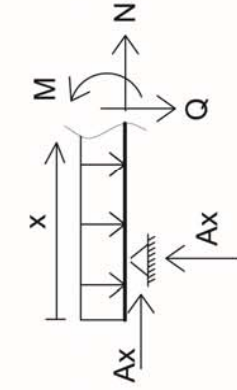
$$q = \gamma_{AB} \cdot A$$

$$\gamma_{AB} = 25 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$A = 0,1 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} = 0,015 \text{ m}^2$$

$$q = 25 \text{ kN} / \text{m}^3 \cdot 0,015 \text{ m}^2 = 0,375 \text{ kN} / \text{m}$$

$$A = B = \frac{q \cdot l + F}{2} = \frac{0,375 \text{ kN} / \text{m} \cdot 0,725 \text{ m} + 20 \text{ kN}}{2} = 10,14 \text{ kN}$$

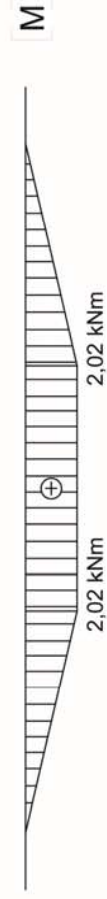


$$M(l = 0,05 \text{ m}) = -\frac{0,375 \text{ kN} / \text{m} \cdot (0,05 \text{ m})^2}{2} = -0,00047 \text{ kNm}$$

$$M(l = 0,25 \text{ m}) = 10,14 \text{ kN} \cdot 0,2 \text{ m} - \frac{0,375 \text{ kN} / \text{m} \cdot (0,25 \text{ m})^2}{2} = 2,02 \text{ kNm}$$

$$M(l/2) = 10,14 \text{ kN} \cdot 0,3125 \text{ m} - 10 \text{ kN} \cdot 0,1125 \text{ m} - \frac{0,375 \text{ kN} / \text{m} \cdot (0,3625 \text{ m})^2}{2} = 2,02 \text{ kNm}$$

Diagram upogibnih momentov



$$M_{\max} = 2,02 \text{ kNm} = 202 \text{ kNcm}$$

$$C25/30 \Rightarrow \alpha \cdot f_{cd} = 1,67 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$S400 \Rightarrow f_{yd} = 34,8 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

$$d = 12,5 \text{ cm}$$

$$k_d = \frac{M_{\max}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{cd}} = \frac{202 \text{ kNcm}}{10 \text{ cm} \cdot (12,5 \text{ cm})^2 \cdot 1,67 \text{ kN} / \text{cm}^2} = 0,077$$

$$-\epsilon_1 / \epsilon_s = 1,5\% / 10\% \Rightarrow k_s = 1,049$$

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_{\max}}{d \cdot f_{yd}} = 1,049 \cdot \frac{202 \text{ kNcm}}{12,5 \text{ cm} \cdot 34,8 \text{ kN} / \text{cm}^2} = 0,46 \text{ cm}^2$$

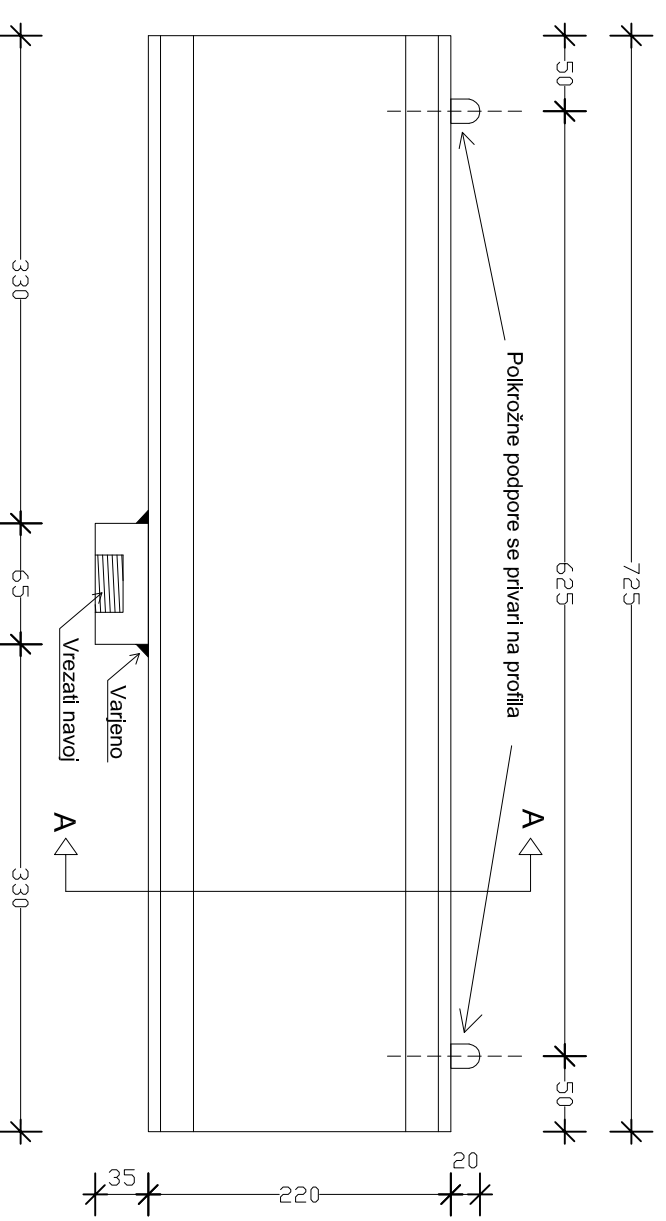
$$A_s = 2\Phi6 \Rightarrow A_{s,dej} = 0,57 \text{ cm}^2$$

$$F_{dep} = 23,6 \text{ kN}$$

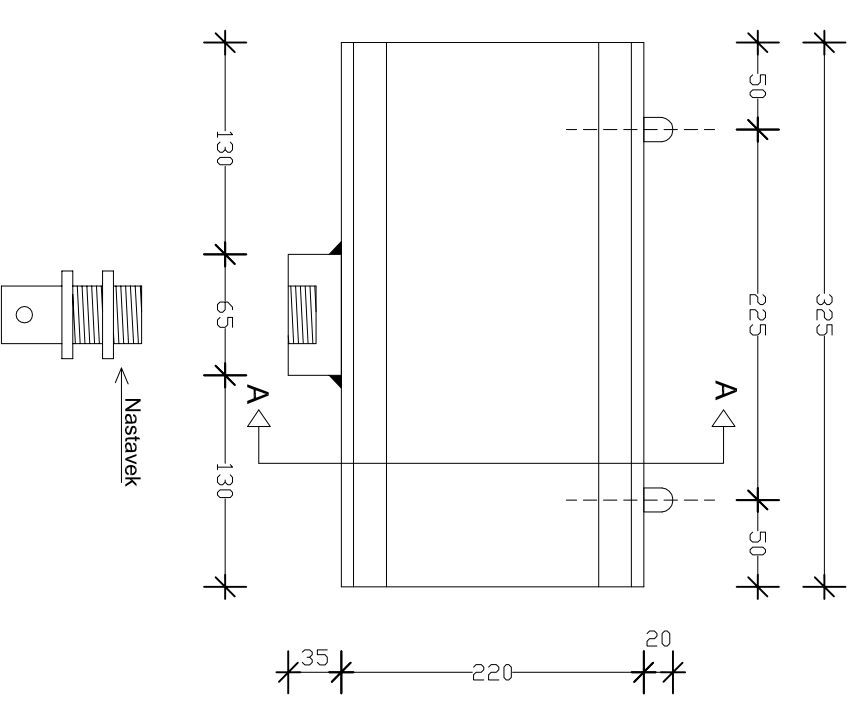
Delavniški načrt jeklenih podpornih elementov

M 1:50

SPODNJI JEKLENI ELEMENT



ZGORNJI JEKLENI ELEMENT



Prerez A-A

2 profila U220 zvarjena skupaj

