

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Car, I. 2013. Rekonstrukcija preliva na pregradi Drtijiščica. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentor Schnabl, S.): 68 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Car, I. 2013. Rekonstrukcija preliva na pregradi Drtijiščica. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Schnabl, S.): 68 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
HIDROTEHNIČNA SMER

Kandidatka:

INGRID CAR

**REKONSTRUKCIJA PRELIVA NA PREGRADI
DRTIŠČICA**

Diplomska naloga št.: 3300/HS

**RECONSTRUCTION OF THE DRTIŠČICA DAM
SPILLWAY**

Graduation thesis No.: 3300/HS

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Simon Schnabl

Ljubljana, 30. 05. 2013

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Ingrid Car izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Rekonstrukcija preliva na pregradi Drtjščica«.

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

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

Ljubljana, 01.5.2013

(podpis)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji hidrotehnične smeri:

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 627.82(043.2)
Avtor: Ingrid Car
Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
Somentor: doc. dr. Simon Schnabl
Naslov: Rekonstrukcija preлива na pregradi Drtijaščica
Obseg in oprema: 68 str., 6 pregl., 45 sl., 10 en.
Ključne besede: preliv, podslapje, valjano stisnjen beton

Izvleček

Diplomsko delo obravnava rekonstrukcijo preлива na pregradi Drtijaščica. Gre za nasuto zemeljsko pregrado s prelivom iz kamnite zložbe. Prelivanje čez zemeljsko pregrado ni v nobenem primeru ugodno, še posebej ne v primeru obstoječega stanja pregrade Drtijaščica. V ta namen se v prvem delu diplomskega dela predstavi obstoječe stanje pregrade, preлива in podslapja. Opišejo se najbolj problematični deli, ki so nujno potrebni rekonstrukcije; preliv s pripadajočim podslapljem. V drugem sklopu sledi opis valjano stisnjenih betonov, ki se bodo uporabili pri rekonstrukciji preлива. Opišejo se tri vrste valjano stisnjenih betonov: RCC, RCD in CSG. Podrobneje se predstavi tehnika gradnje, katere princip je enak za vse omenjene betone in bo uporabljena tudi pri izvedbi rekonstrukcije preлива. V tretjem sklopu je predstavljena rekonstrukcija preлива pregrade, s hidravličnim izračunom, opisom tehnologije gradnje in kalkulacijami. Na podlagi hidravličnih izračunov se določi ustrezne dimenzije preлива in pripadajočega podslapja. Da bo celotna rekonstrukcija dodelana, izračunom sledi opis tehnologije gradnje s pripravljalnimi deli, tesarskimi in betonskimi deli. Izdelan je tudi kratek popis del s pripadajočimi količinami in cenami za pridobitev okvirne ocene stroškov. Za določitev trajanja gradnje se je na podlagi popisa del izdelal tudi terminski plan.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 627.82(043.2)
Author: Ingrid Car
Supervisor : assist. prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Co-advisor: assist. prof. Simon Schnabl, Ph.D.
Title: Reconstruction of the Drtijaščica dam spillway
Notes: 68 p., 6 tab., 45 fig., 10 eq.
Key words: spillway, stilling basin, roller compacted concrete

Abstract

This diploma paper deals with the reconstruction of the spillway on Drtijaščica dam. It is an embankment dam with a rock and stone spillway overtopping protection. Grading across the embankment dam is in no way beneficial, especially in the case of current status of Drtijaščica dam. To this end, the first part of the diploma paper presents the current condition of Drtijaščica dam, spillway and stilling basin. The most problematic parts, which are in need of urgent reconstruction, are described; spillway with the adjoining stilling basin. The second section describes roller compacted concretes, which are going to be used in the reconstruction of the spillway. Three types of roller compacted concrete are outlined: RCC, RCD and CSG. Construction technique, with the principle which is the same for all of mentioned concretes, is presented in detail. This technique is going to be utilised in the reconstruction of the dam. The third section presents the reconstruction of the dam's spillway, with hydraulic calculation, description of the construction technology and calculations. On the basis of hydraulic calculations, we determine the relevant dimensions of the spillway and the associated stilling basin. In order to complete the reconstruction works, the calculations are followed by a description of the building technology with the preparatory work, carpentry and concrete work. A brief inventory of tasks, with corresponding quantities and prices to obtain the indicative cost estimates, is presented as well. To determine the duration of the construction works, construction schedule has been produced on the basis of the inventory of works.

ZAHVALA

Iskreno zahvala za pomoč pri nastajanju diplomske naloge, ter za stalno pripravljenost pomagati pri nastajanju le-te, gre mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu in somentorju doc. dr. Simonu Schnablu. Prav tako bi se zahvalila univ.dipl.inž.gradb. Jožetu Temlinu iz podjetja SGP Pomgrad d.d., za pomoč pri pisanju tehničnega dela diplomske naloge.

Na koncu bi se še posebej zahvalila svojim staršema, sestri ter fantu Goranu, za izkazano podporo in na tisoče vzpodbudnih besed skozi celotno študijsko pot. Hvala vsem še enkrat.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU.....	I
IZJAVE O PREGLEDU NALOGE	II
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD.....	1
2 OBSTOJEČE STANJE PREGRADE DRTIJAŠČICA	4
2.1 Opis zemeljske pregrade Drtijaščica.....	4
2.1.1 Opis objektov	5
2.1.2 Hidrološko – hidravlične razmere.....	7
2.2 Analiza preлива pregrade Drtijaščica.....	9
2.2.1 Preliv na pregradi.....	9
2.2.1.2 Opis opažanja po ogledu pregrade Drtijaščica	11
2.3 Analiza podslapja pregrade Drtijaščica.....	14
2.3.1 Analiza podslapja preлива.....	15
2.3.2 Analiza podslapja talnega izpusta.....	16
3 REKONSTRUKCIJA PRELIVA ZEMELJSKE PREGRADE DRTIJAŠČICA	18
3.1 Valjano stisnjeni betoni	18
3.1.1 RCC valjano stisnjen beton.....	20
3.1.1.1 Sestava RCC betona	21
3.1.1.2 Postopek vgradnje RCC valjanega betona.....	22
3.1.1.3 Učinkovitost RCC gradnje.....	25
3.1.2 RCD valjano stisnjen beton	25
3.1.2.1 Sestava RCD betona	28

3.1.2.2 Postopek vgradnje RCD-ja.....	29
3.1.2.3 Učinkovitost RCD gradbene metode.....	31
3.1.3 CSG valjano stisnjen beton	32
3.1.4 Primeri uporabe valjanih betonov v svetu	36
3.1.4.1 Pregrada Lake Tholocco, Alabama (ZDA)	37
3.1.4.2 Pregrada Ocoee, Tennessee (ZDA)	38
3.1.4.3 Pregrada Nagashima (Japonska)	39
3.2 Predlagana rešitev rekonstrukcije	40
3.2.1 Uporaba RCC valjanega betona za rekonstrukcijo prelivnega dela pregrade Drtjščica	41
3.2.2 Hidravlično dimenzioniranje preliva in podslapja	43
3.2.3 Opis tehnologije rekonstrukcije.....	50
3.2.3.1 Rekonstrukcija prelivne drče in krone preliva.....	50
3.2.3.2 Rekonstrukcija podslapja	55
3.2.4 Proizvodnja, transport in vgrajevanje RCC valjanega betona pri rekonstrukciji preliva na pregradi Drtjščica	56
3.2.5 Popis del in terminski plan	63
4 ZAKLJUČEK	65
VIRI	66

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Volumen akumulacije s pretoki čez preliv glede na koto in razmere	8
Preglednica 2: Sestava RCD betonske mešanice treh pomembnejših pregrad na Japonskem (Nagataki et al., 2008).....	29
Preglednica 3: Specifikacija vgradnje CSG betonske mešanice (Berga, Buil, 2003).....	35
Preglednica 4: Betonska mešanica RCC metode (Unzen Restoration Project Office, 2007)..	37
Preglednica 5: Rekapitulacija del za gradnjo preлива (prelivna drča in teme preлива) – vgradnja RCC valjano stisnjenega betona.....	63
Preglednica 6: Rekapitulacija gradnje podslapja preлива.....	64

KAZALO SLIK

Slika 1: Sistem Drtijaščica z dovodnimi in odvodnimi objekti (Humar, Kryžanowski, 2012)....	4
Slika 2: Prerez pregrade Drtijaščica.....	6
Slika 3: Vzdolžni prerez vtočnega in iztočnega objekta (talni izpust).....	7
Slika 4: Prerez zemeljske pregrade Drtijaščica s pomembnejšimi višinskimi kotami.....	9
Slika 5: Preliv za visoke vode pregrade Drtijaščica.....	9
Slika 6: Preliv za visoke vode pregrade Drtijaščica.....	11
Slika 7: Posledice aktivnosti živali.....	12
Slika 8: Obstoječe stanje kanalet za odvodnjavanje padavinskih voda.....	12
Slika 9: Kaskadni preliv.....	13
Slika 10: Erozijska zajeda.....	14
Slika 11: Prečni prerez podslapja prelivnega polja in podslapje prelivnega polja na terenu...	16
Slika 12: Podslapje talnega izpusta	17
Slika 13: Proces vgradnje RCC valjanega betona (Unzen Restoration Project Office, 2007)..	23
Slika 14: Vrste sistemov za transport betona: a) žerjav, b) elevator, c) tekoči trak, (State of Art id RCD dams in Japan, 2008).....	24
Slika 15: Načini formiranja čelnih delov stopenj RCC preлива (http://www.cement.org).....	25
Slika 16: Ene izmed najvišjih RCD pregrad na Japonskem (Nagataki et al., 2008).....	26
Slika 17: Povezava med RCD in RCC valjanimi betoni (Nagataki et al., 2008).....	28
Slika 18: Delovni cikel RCD gradbene metode (Nagataki et al., 2008).....	30
Slika 19: Planiranje in kompaktiranje RCD betona (Nagataki et al., 2008).....	31
Slika 20: Mobilni drobilec za drobljenje večjih zrn agregata.....	33
Slika 21: Priprava CSG mešanice z bagrom.....	33
Slika 22: Mobilna betonarna.....	34
Slika 23: Potek priprave in vgradnje CSG betona.....	35
Slika 24: Trapezna CSG pregrada (Nagayama, Jikan, 2008).....	36
Slika 25: Pregrada Lake Tholocco (Timothy, Fares, 2008).....	38
Slika 26: Pregrada Ocoee (Timothy, Fares, 2008).....	39
Slika 27: Pregrada Nagashima (Nagayama, Jikan, 2008).....	40
Slika 28: Primer RCC prelivnega polja zemeljske pregrade Salado Creek (Chanson, 2009)..	41
Slika 29: Tipičen prerez RCC zaščite prelivnega polja (Timothy, Fares, 2008).....	42

Slika 30: Skica prereza in tlorisa stopničastega prelivnega polja pregrade Drtijaščica.....	44
Slika 31: Vodni skok.....	46
Slika 32: Stabilen vodni skok ob vznožju pregrade.....	47
Slika 33: Valovit vodni skok za širokim pragom.....	50
Slika 34: Skica podslapja preлива pregrade.....	50
Slika 35: Detajl izkopa.....	52
Slika 36: Detajl bočnih zidov (modra barva).....	53
Slika 37: Opaženje stopenj preлива.....	53
Slika 38: Detajl podslapja.....	56
Slika 39: Shematski prikaz poteka gradnje novega preлива.....	56
Slika 40: Kamion prekucnik za transport betona do mesta vgradnje.....	58
Slika 41: a) Mobilni transportni trak, b) Prekladna posoda.....	58
Slika 42: Vgradnja RCC valjanega betona.....	59
Slika 43: Predvidena strojna oprema: vibracijski valjarji.....	60
Slika 44: Komprimiranje robnih in čelnih delov stopenj.....	61
Slika 45: Nega betona po vgradnji.....	62

1 UVOD

Po kriterijih Mednarodne komisije za velike pregrade (ICOLD), je v Sloveniji že okrog 40 pregrad, ki spadajo med velike pregrade. Gre za objekte, katerih posledice so v primeru porušitve lahko katastrofalne, z veliko gmotne škode in človeškimi žrtvami. Zato se lahko enako, kot avtor nedavno objavljenega članka v časopisu Delo (G.P., Znanost, 2013), preprosto vprašamo: »Kako varne so vodne pregrade v Sloveniji?«

Zelo pomemben faktor za ohranjanje varnosti pregrad je zagotavljanje stabilnosti in mehanske odpornosti objekta. V Sloveniji je veljavna zakonodaja, ki ureja področje pregradnega inženirstva, pomanjkljiva. Trenutno ne obstaja popoln register vseh pregrad. Prav tako se ne izvaja kontrola rezultatov opazovanja velikih pregrad, niti kontrola kondicijskega stanja objektov, oziroma zagotavljanje rednih vzdrževalnih del. Posledica vsega tega je, da je zatečeno stanje objektov zaskrbljujoče. Stanje je boljše tam, kjer imajo upravljavci na razpolago dovolj sredstev za njihovo redno vzdrževanje. V tem kontekstu lahko smatramo, da so pregrade namenjene izrabi vodnega potenciala, v malo boljšem kondicijskem stanju, ker se namenja več sredstev za njihovo vzdrževanje in zaradi energetske proizvodnje je zagotovljena prisotnost upravljavca na objektu. V tem oziru so vodne pregrade v podrejenem položaju, ker se kontrole izvajajo občasno, po programih iz obratovalnih pravilnikov in v kolikor se tudi te aktivnosti ne izvajajo, je večja verjetnost nastopa degradacijskih procesov na objektih in opremi ter posledično zmanjšanje obratovalne varnosti. Vodne pregrade so v glavnem nasute, zgrajene iz zemeljskih materialov ali skalometne. Ti objekti so zaradi svoje sestave toliko bolj občutljivi na degradacijske procese zaradi pomanjkljivosti pri vzdrževanju. Zato je redno vzdrževanje in ohranjanje kondicijskega stanja objektov ter opreme, za njihovo obratovalno varnost še toliko bolj pomembno. Posebno težavo predstavljajo tudi pomanjkljivosti pri projektiranju in izvedbi objektov, pri čemer bi posebej izpostavili evakuacijske objekte za visoke vode čez profil pregrade (prelivi, izpusti, ...), ki marsikje – kot je ugotovljeno v zaključkih razvojno-raziskovalnega projekta VODPREG – ne dosegajo ustreznih standardov za varno obratovanje. Rezultat prelivanja preko zemeljskih pregrad, erozija materiala na dolvodni strani in, če dodamo še nepredvidljive ekstremne vremenske razmere, ki v času načrtovanja in gradnje niso bile načrtovane, je postopno slabljenje stabilnosti, kar čez čas lahko pomeni tudi porušitev celotne pregrade. Zaključki projekta VODPREG so pokazali, da so za zagotovitev normalne obratovalne pripravljenosti, tako rekoč vseh obravnavanih

pregradah, razen na nekaterih najnovejših, potrebni dodatni sanacijski ukrepi. (G.P., Znanost, 2013).

V diplomskem delu bomo obravnavali rekonstrukcijo evakuacijskih objektov na nasuti pregradi Drtijaščica. Obravnavana pregrada spada prav v kategorijo velikih pregrad, katere obratovalna varnost postaja čedalje bolj vprašljiva. V zadnjih poplavah leta 2010 je, zaradi nefunkcionalnosti disipacijskega objekta na talnem izpustu, prišlo do večje erozijske poškodbe v nožici pregrade. Ta na globalno varnost objekta sicer ni vplivala, je pa dogodek pokazal, da je zaradi napačne zasnove evakuacijskih objektov povečano tveganje za porušitev pregrade. Sanacija nastale škode je nujni ukrep, s tem pa še niso razrešene pomanjkljivosti, ki so posledica napačnih odločitev pri sami zasnovi evakuacijskih objektov na pregradi. Problematična je zasnova prelivnega objekta preko pregrade, katere tehnična zasnova ne omogoča varnega obratovanja in je tudi pri normalnih obratovalnih razmerah tveganje za porušitev precejšnje. Tekom dogodkov v letu 2010 se je izkazalo, da je treba nujno izvesti rekonstrukcijo prelivnega objekta, da bo omogočena normalna obratovalna varnost in polna funkcionalnost evakuacijskih objektov.

Diplomska naloga je razvrščena v naslednja poglavja; v prvem delu podajamo opis problematike na pregradi Drtijaščica. V sklopu tega poglavja je podan tehnični opis pregrade in spremljajočih objektov, njihova namembnost in obratovalne karakteristike. V opisih se bomo osredotočili na problematiko evakuacije visokih voda preko pregradnega profila in tehnične ustreznosti evakuacijskih objektov.

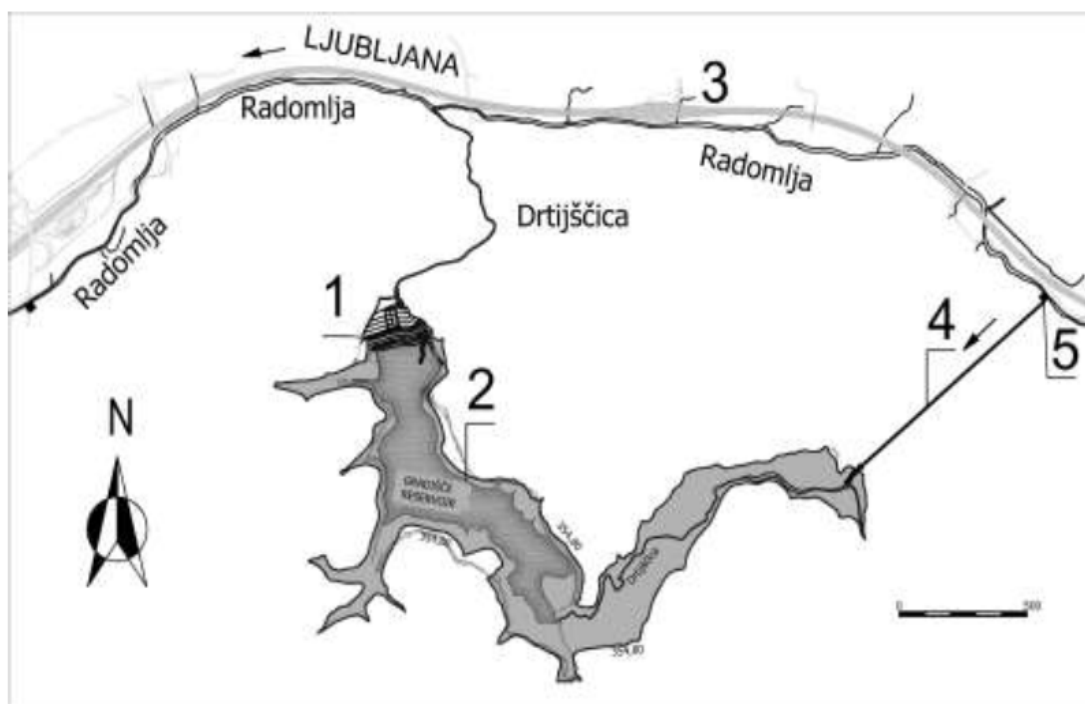
Predmet podrobnejše obdelave, je preliv preko pregrade. V nalogi bomo obravnavali možnost rekonstrukcije preлива z namenom povečanja obratovalne varnosti pregrade. Obstoječi preliv je izveden preko pregrade z drčo, v kameni zložbi s prečno postavljenimi kanaletami, ki pri prelivanju predstavljajo znatno oviro in v skrajnem slučaju tudi verjetnost porušitve. Preučili bomo možnost sanacije po tehnologijah, ki so bile uporabljene v podobnih primerih v svetu. Poseben poudarek bomo namenili uporabi valjanih betonov, ki so se v svetu na podobnih primerih že večkrat izkazali kot ustrezna rešitev pri utrditvi evakuacijskih objektov. V nalogi bomo podali predlog rešitve utrditve preлива s podslapjem in priključkom na strugo Drtijaščice pod pregrado.

V nalogi bomo tudi predstavili splošni opis, kako bi sama gradnja potekala, kakšna bi bila organizacija gradbišča, kakšne bi bile vrste uporabljene mehanizacije, predviden čas trajanja gradnje ter za konec še kratka kalkulacijo celotnega projekta.

2 OBSTOJEČE STANJE PREGRADE DRTIŠČICA

2.1 Opis zemeljske pregrade Drtiščica

Pregrada Drtiščica (točka 1 na sliki 1) je bila zgrajena leta 2002 v dolini reke Drtiščice, 2,3 km gorvodno od sotočja Drtiščice in Radomlje, za namen zagotavljanja varnosti pred poplavami za takrat novo zgrajen del štajerske avtoceste, odsek Celje - Ljubljana. Dolžina krone pregrade znaša 265 m, njena višina 20 m in širina na koti temeljev 150 m. Vse to, predvsem pa njena višina, jo uvršča po mednarodnih standardih (ICOLD), med visoke pregrade.



Slika 1: Sistem Drtiščica z dovodnimi in odvodnimi objekti (Humar, Kryžanowski, 2012)

Picture 1: Drtiščica system with inlet and outlet structures (Humar, Kryžanowski, 2012)

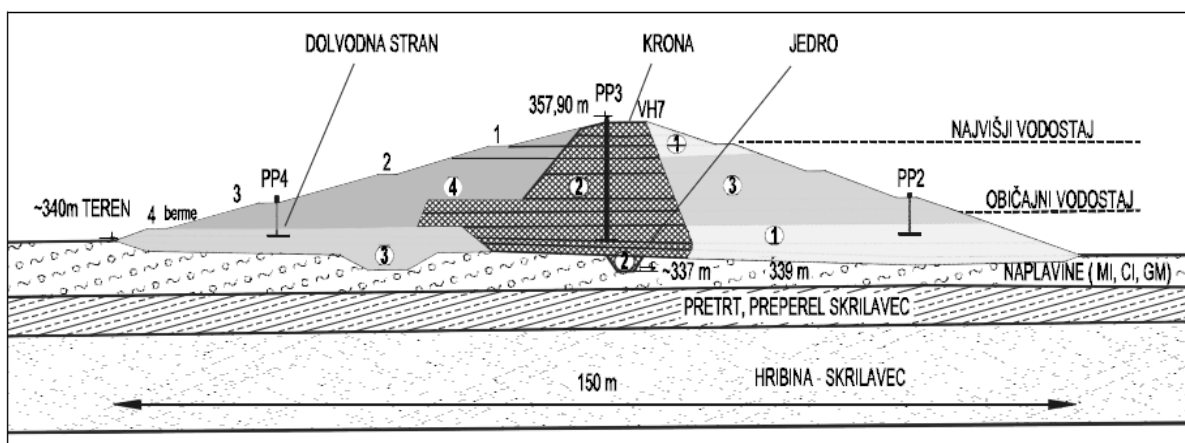
Za pregrado je nastala več namenska akumulacija, Gradiško jezero (točka 2 na sliki 1). Primarna naloga pregrade je razbremenjevanje dela visokih voda reke Radomlje v povodju reke Drtiščice, za namen zaščite že prej omenjenega avtocestnega odseka, ter zadrževanje visokih voda pritoka Drtiščice. Del visokih voda reke Radomlje, okrog 30 m³/s, se skozi

vodni rov (točka 4 na sliki 1) odvaja v zadrževalnik. Ta del predstavlja odtok visokih voda s 32,6 km² velikega prispevnega območja. Drugi del, odvodnja visokih voda reke Drtijiščice, pa predstavlja praktično odtok s celotnega prispevnega območja Drtijiščice, ki znaša 41,8 km². V celoti se tako kontrolira velik delež odtoka z omenjenih prispevnih območij. Kot sekundarna dejavnost zadrževalnika, se pojmuteta turizem in ribištvo ter druge obvodne dejavnosti rekreacijskega značaja.

Gradiško jezero predstavlja stalno ojezeritev zadrževalnika. Tako je pod vodo 29 ha zemljišč, s prostornino vode 0,8 10⁶ m³. Ob visokih vodah s povratno dobo 100 let, se gladina vode dvigne do maksimalne višine na koti 354,60 m, celotna poplavljen površina pa naraste na 71 ha, kar predstavlja 5,9 10⁶ m³ akumulirane vode. Varnostna višina krone pregrade nad koto predvidene maksimalne ojezeritve je 2,9 m. To omogoča sprejem visokih voda do povratne dobe 10.000 let.

2.1.1 Opis objektov

Pregrada Drtijiščica je slojevita zemeljska pregrada s centralnim jedrom iz neprepustnega glineno-meljastega materiala (slika 2). Na gorvodni strani je jedro zavarovano z dvojnimi filtrskim slojem iz mešanice cementa in bentonita. Z obeh strani, gorvodne in dolvodne, pa sta jedro in pregrada zavarovana s kamnolomsko jalovino. Dolvodna stran pregrade je zgrajena v naklonu 1:4, s štirimi vmesnimi bermami. Nasprotna, gorvodna stran je nekoliko strmehja z naklonom 1:3 in s tremi vmesnimi bermami. Na območju stalne ojezeritve je brežina zavarovana s kamnometom, nad pešpotjo na prvi bermi gorvodne strani pa s suho kamnito zložbo, ki sega do druge berme. Na kroni pregrade je kot dostop do nadzornega objekta speljana 4,0 m široka pot.



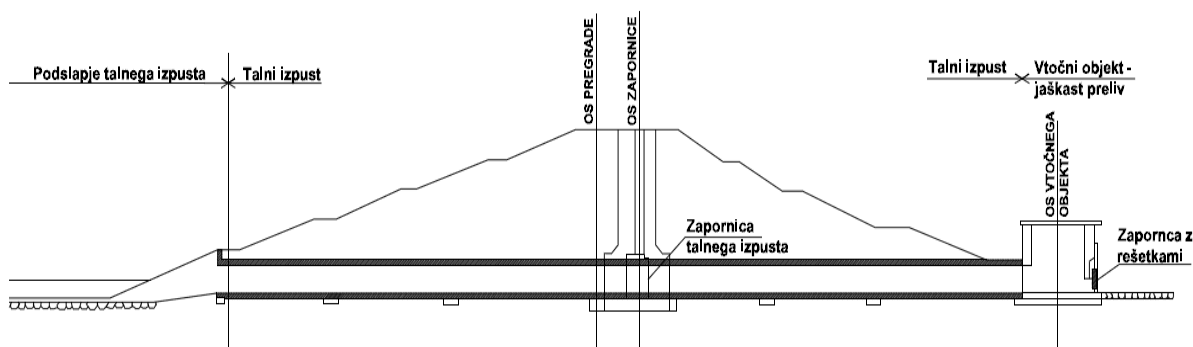
Slika 2: Prerez pregrade Drtiščica (Turk, Logar, 2004)

1,3 – drobljenec, 2 – glineno jedro, 4 – jalovina

Picture 2: Cross section of Drtiščica dam (Turk, Logar, 2004)

1,3 – quarry stone, 2 – clay core, 4 – tailing

Zajem vode iz zadrževalnika je izveden z jaškastim prelivom, sestavljenim iz osmih prelivnih polj. Ta se nadaljuje v jašek krožnega prereza, ki na koncu izliva prehaja v pravokotni prerez talnega izpusta. Vtok v jaškast preliv je zavarovan z grobimi rešetkami, ki preprečujejo zamašitev vtočnega dela jaška z naplavnim materialom. Preko mostička je vstop do jaškastega preliva mogoč z desnega brega. Na vtočnem delu je nameščen evakuacijski izpust s pomožno tablasto zapornico, ki omogoča evakuacijsko praznjenje spodnjega dela zadrževalnika. Zapornica se upravlja ročno s podesta na zajetju, kjer se iz jaška prevaja voda v talni izpust. Na objektu pregrade se nahaja še ena varnostna zapornica tablastega tipa in sicer pod osjo pregrade, na trasi talnega izpusta. Upravljanje varnostne zapornice je avtomatsko in je vezano na stalno spremljanje nivoja vode na limnigrafu pregrade. Vtočni objekt in talni izpust sta v celoti iz armiranega betona. Talni izpust poteka ob desnem robu pregrade in se z osjo prilagaja poteku temeljne hribine s padcem 1,6 odstotka. Talni izpust se pod pregrado zaključuje z razširitvijo profila, ki je s strani bočno zavarovan z armirano-betonskima zidovoma. V izteku razširitve je 23 m dolgo podslapje, s trapezno oblikovanimi brežinami v naklonu 1:1, ki so obložene s kamnom. Podslapje se zaključuje s pragom višine 1 m in zveznim prehodom ter blagim ovinkom v spodnjo strugo. Prerez skozi vtočni in iztočni sistem pregrade je prikazan na sliki 3.



Slika 3: Vdolžni prerez vtočnega in iztočnega objekta (talni izpust)

Picture 3: Longitudinal section of inflow and outflow structures (bottom outlet)

Zaradi relativno visoke varnostne višine pregrade (2,9 m oziroma do dna varnostnega preлива 0,9 m) in zaradi velike pretočne spodobnosti talnega izpusta, preliv pregrade predstavlja dodatni varnostni objekt za evakuacijo izjemno visokih voda. Ta je speljan preko pregrade in je širok 40 m ter omogoča pretok, ki je enak največ 20 m³/s. Kota preлива je na 355,30 m. Obložen je s kamnito zložbo iz lomljenca, premera od 60 do 80 cm, vtisnjena v beton.

2.1.2 Hidrološko – hidravlične razmere

Na obeh rekah, ki sta del obravnavanega sistema, t.j. rek Drtijiščice in Radomlje, sta postavljeni vodomerni postaji, ki sta dali merjene podatke, potrebne za hidrološke analize. Z metodo enotnega diagrama sta na podlagi hidrografskih karakteristik, urnih vrednosti padavin in odtočnega koeficienta, bila določena dva karakteristična visokovodna pretoka v pregradnem profilu:

- $Q_{100} = 43 \text{ m}^3/\text{s}$... pretok pri stoletni vodi,
- $Q_{10000} = 110 \text{ m}^3/\text{s}$... pretok pri deset tisočletni vodi; računski pretok za prelivni objekt.

Glede na to, da je bil celotni sistem gradnje pregrade in derivacijskega rova zasnovan zaradi zaščite pred poplavami bližnje avtoceste, je hidravlični sistem Drtijiščice zasnovan tako, da prevaja po vodnem rovu v akumulacijo do 30 m³/s pretoka Radomlje, s tem da je pričetek odvzema določen z mejo 6 m³/s, kar predstavlja naravni pretok reke Radomlje. V reki Radomlji mora tako ostati ekološko sprejemljiv pretok vode, ki predstavlja najnižji dovoljeni naravni pretok, ki ob dovoljeni rabi ne sme poslabšati stanja vode in mora tako omogočati

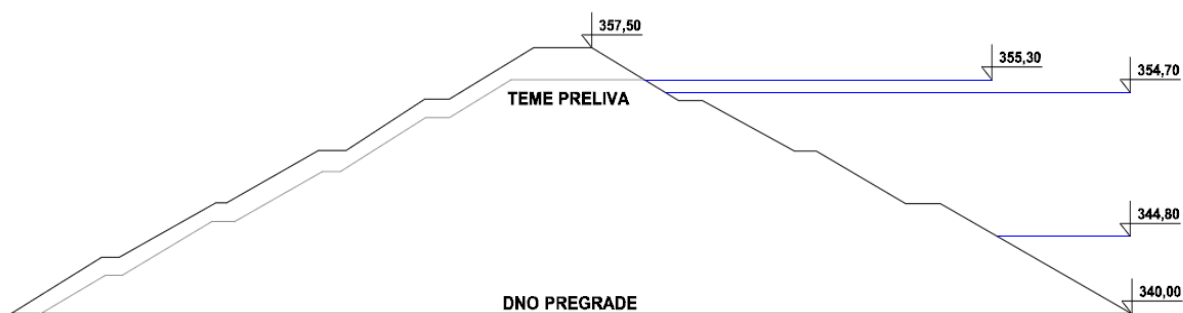
nemoteno delovanje vodnega in obvodnega ekosistema. Prav tako kot dotok, je določen tudi iztok iz akumulacije, glede na razmere dolvodno na sotočju obeh rek (Radomlje in Drtiščice).

Na koti 344,80 m se nahaja teme jaškastega preлива in na tej koti znaša volumen stalne ojezeritve $0,81 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Maksimalna obratovalna kota je na višini 354,7 m, kjer je koristni volumen akumulacije enak $5,08 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in predstavlja poplavni val 100-letne vode s 36-urnim trajanjem padavin. Akumulacija se prazni med normalnim obratovanjem skozi talni izpust pregrade s pretokom $51,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Kota varnostnega preлива je 60 cm višje od maksimalne obratovalne kote na višini 355,30 m, pri čemer znaša pred prelivanjem volumen akumulacije $6,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. V primeru, da je talni izpust blokiran ali v okvari in z upoštevanjem 100-letne visoke vode, znaša maksimalni pretok prelivanja $17,2 \text{ m}^3/\text{s}$ na najvišji koti akumulacije enaki 355,65 m. Tudi v primeru, da je talni izpust blokiran ali v okvari in ob upoštevanju 10.000-letne vode, znaša maksimalni pretok prelivanja $108 \text{ m}^3/\text{s}$ in volumen vode v akumulaciji $7,17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, pri koti 356,45 m.

Preglednica 1: Volumen akumulacije s pretoki čez preliv glede na koto in razmere

Table 1: Reservoir volume with overtopping flows according to elevation and situation

Kota	Volumen akumulacije	Pretok čez preliv	Opis stanja
344,80 m	$0,81 \cdot 10^6 \text{ m}^3$		Teme jaškastega preлива, stalna ojezeritev
354,70 m	$5,08 \cdot 10^6 \text{ m}^3$		Maksimalna obratovalna kota
355,30 m	$6,30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$		Krona varnostnega preлива
355,65 m		$17,23 \text{ m}^3/\text{s}$	100-letna voda in blokirani talni izpust
356,45 m	$7,17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$108 \text{ m}^3/\text{s}$	10.000-letna voda in blokirani talni izpust
357,50 m			Končna kota pregrade



Slika 4: Prerez zemeljske pregrade Drtijaščica s pomembnejšimi višinskimi kotami

Picture 4: Cross section of Drtijaščica dam with important elevations

2.2 Analiza preliva pregrade Drtijaščica

2.2.1 Preliv na pregradi

Preliv je lociran na vrhu pregrade in omogoča kontrolirano sproščanje, oziroma prelivanje toka preko krone preliva v območje dolvodno. Do prelivanja pride ob visokih vodah, ko voda v zadrževalniku preseže kruno preliva (dotok v zadrževalnik je večji od iztoka skozi talni izpust in jaškast preliv). S tem se prepreči prelivanje preko celotne pregrade in poškodovanje ali celo uničenje njenega telesa. Običajno, ko poplav ni, voda kontinuirano odteka preko jaškastega preliva, skozi talni izpust dolvodno v rečno strugo.

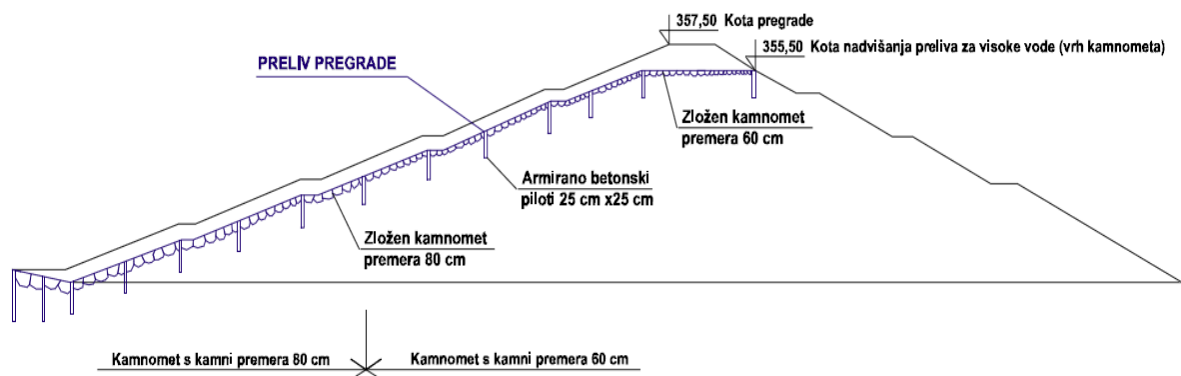


Slika 5: Preliv za visoke vode pregrade Drtijaščica

Picture 5: Spillway for high water levels of Drtijaščica dam

V splošnem obstajata dve vrsti prelivov; nenadzorovani in nadzorovani (kontrolirani) preliv. Nadzorovani preliv ima konstrukcijo imenovano zapornica, s katero se regulira pretok. Nasprotno, pri nenadzorovanem prelivu zaporničnega objekta ni. Za tak tip preлива gre na zemeljski pregradi Drtijaščica. Ko voda doseže višino, ki je višja od kote krone preлива, se le-ta prosto preлива čez prelivno polje dolvodno od nje. Stopnja prelivanja je kontrolirana samo z globino vode v rezervoarju, ki je odvisna od pritoka skozi vodni rov iz reke Radomlje. Glede na konstrukcijsko izvedbo, preliv pregrade Drtijaščica spada med prepadne prelive, ki se nahajajo v sklopu telesa pregrade. Ti prelive so zelo pogosta izbira pri projektiranju prelivov, saj je prenos prelivne vode v umirjevalni bazen dolvodno nemoten. Med prelivanjem se potencialna energija pretvarja v kinetično, zato je pomembno, da se vrši disipacija energije že med samim prelivanjem. Prelivanje se konča v umirjevalnem bazenu ali podslapju in od tam naprej je običajno voda speljana v rečno strugo.

Širina preлива znaša 40 m s koto preлива 355,30 m. Zaradi velike pretočne sposobnosti talnega izpusta in relativno velike varnostne višine pregrade 2,9 m, je preliv za visoke vode predviden le kot dodatni varnostni objekt, torej gre za varnostni preliv. Predviden je za pretok največ 20 m³/s. Preliv je trapezne oblike s širino dna 40 m in višino 2 m. V kroni pregrade ima blag nagib 1:4, ki pa vzdolž pobočja pregrade postane strmejši z nagibom 1:2. Preko krone pregrade, in posledično tudi čez krono preлива, teče makadamska pot. Preliv je utrjen z zloženim kamnometom, s kamni premera od 60 do 80 cm. Ti so sidrani z armiranobetonskimi piloti ter prečnimi armiranobetonskimi montažnimi elementi. Kot je razvidno iz slike 6, se sidra nahajajo na vsakem koncu in začetku berme ter vmes. Ob prelomih nagiba, na bermah so tudi izvedene prečne kanalete, ki so povezane z vzdolžno osrednjo kanaletom, ki poteka po osi preлива (slika 5, levo). Namen kanalet je kanaliziranje padavinskih voda in njeno odvajanje. Ob vznožju pregrade je izveden odvodni jarek z odvodom v podslapje talnega izpusta.



Slika 6: Preliv za visoke vode pregrade Drtijaščica

Picture 6: Spillway for high water levels of Drtijaščica dam

2.2.1.2 Opis opažanja po ogledu pregrade Drtijaščica

Če prelivno polje pogledamo od daleč, bodisi s slik ali na terenu s sosednjega pobočja, ne vidimo na njem nič spornega. Namreč širina preliva je dovolj velika, tudi globina in nakloni vkopa prelivnega dela so zadostni. Če pa se sprehodimo po samem prelivnem polju, pa lahko opazimo številne nepopolnosti. Opazimo, da je zemljina precej vlažna, vendar gre najverjetneje za površinsko razmočenost. Verjetnost, da glineno jedro ne bi opravljajo svoje funkcije, je skoraj nična. Pregrada je poraščena s travniškimi rastjem, na veliko mestih pa opazimo tudi razrast mahovja, ki dobro uspeva v vlažnem okolju in zemljini. Videti je tudi veliko posledic aktivnosti živali v sami brežini (slika 7), kar vsekakor ni dobro za telo pregrade. Le-te rahljajo zemljino, kar v primeru prelivanja samo še pripomore k temu, da bodo erozijski procesi intenzivnejši.

Na prelivnem polju se nahaja mreža »jarkov«, oziroma kanalet. Njihova funkcija je odvajanje padavinskih voda s pregrade. Ob večjih nalivih lahko predstavlja tako odvajanje vode problem. Voda se na pregibih razliva po brežinah in povzroča erozijske procese. To predstavlja toliko večji problem, predvsem zaradi načina stikovanja kanalet (slika 8). Če pogledamo le-te, lahko vidimo, kako lokalno prihaja do zamika stikov, predvsem na pregibih. Predpostavimo lahko, da je bila bodisi izvedba nekvalitetna, bodisi kanalete niso ustrezna rešitev za odvodnjavanje pregrad in na podlagi tega lahko povzamemo, da je funkcionalnost

kanalet v primeru intenzivnejših in dolgotrajnih padavin vsekakor vprašljiva, ter da je sanacija v prihodnosti nujno potrebna.



Slika 7: Posledice aktivnosti živali

Picture 7: The consequences of animal life



Slika 8: Obstojče stanje kanalet za odvodnjavanje padavinskih voda

Picture 8: Existing condition of the concrete channel for stormwater drainage

Preliv je sestavljen iz štirih stopenj širine 2,5 m, katerih čelna stran je nagnjena z naklonom 1:2,8 in dolžino 9,8 m. Po zasnovi stopnje spominjajo na redko uporabljen stopničast, kaskadni preliv s štirimi stopnjami, ki se konča ob vznožju pregrade (slika 9). Prelivna drča skoraj zagotovo ni bila mišljena kot kaskadni preliv, vsaj glede na vgrajeni material in način gradnje, je to logičen zaključek. Nastal je kot posledica speljave kanalet preko prelivnega dela, kar je posledično pomenilo spremembo prvotno zamišljene drče v kaskadni preliv.



Slika 9: Kaskadni preliv

Picture 9: Cascade spillway

Prelivanje preko zemeljske pregrade ni ugodno v nobenem primeru, sploh pa ne v primeru projektne zasnove preлива na Drtijščici, ki v obstoječi zasnovi predstavlja prej povečano tveganje pri obratovanju evakuacijskih objektov, kot nasprotno. Preliv je sicer utrjen s kamnometom, vendar so mestoma opazne poškodbe na oblogi preлива. Vmesne betonske fuge so ponekod izprane, podložni beton je popustil in skale ponekod izstopajo iz prvotno položenega nivoja. Kot posledica aktivnosti živali so nastale votline in luknje, ki omogočajo večjo prepustnost površinski vodi. Le-ta širi obstoječe luknje, pronica v notranjost pregrade in posledično izpira material telesa pregrade.

Vsak preliv se mora praviloma zaključiti v utrjeno podslapje z nadzorovanimi razmerami za disipacijo energije z urejenim odtokom v odvodnik pod pregrado. Ta detajl sedaj ni ustrezno

izveden. Konča se takoj ob vznožju drče preliva z manjšim širokim jarkom, ki se naprej dolvodno razširi v široko travniško površino, z nagibom proti strugi Drtijiščice. V primeru prelivanja se voda prosto razlije po dolini in ni regulirana s pomočjo podslapja (začetne poglobitve, pragov, ...) in povezave z rečno strugo. Vsekakor je sedanje stanje precej ekološka ureditev, vendar ne inženirsko pravilna, saj so posledice lahko katastrofalne. Pod pregrado ni urejenega ustreznega disipacijskega objekta in navezave na strugo Drtijiščice. Dejstvo je, da je gradnja umirjevalnega bazena, oziroma podslapja, vsekakor nujna za varnost same pregrade, ker zatečeno stanje kakršno je, predstavlja potencialno nevarnost pri prelivanju, za nastanek retrogradne erozije nožice pregrade. Ta grožnje se je že na sami pregradi pokazala kot dejstvo pri nastanku erozijske zajede zaradi neustrezno oblikovanega disipacijskega objekta na iztoku talnega izpusta (slika 10).



Slika 10: Erozijska zajeda

Picture 10: Erosion notch

2.3 Analiza podslapja pregrade Drtijiščica

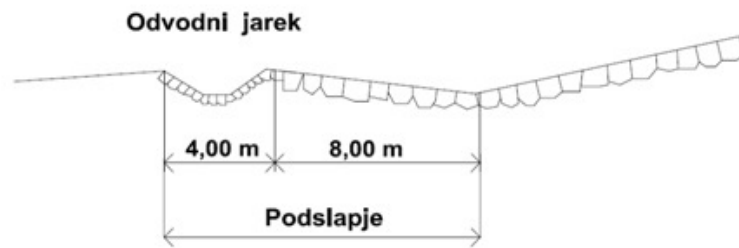
Kinetična energija, ki nastane med prelivanjem, ima zaradi svoje hitrosti erozijski učinek. Podslapje, ki je objekt z začetkom na koncu prelivnega polja in koncem v rečni strugi, služi za pretvorbo kinetične energije (nastale med prelivanjem), v potencialno energijo vodnega toka. Ker se disipacija energije izvrši v vodnem skoku območja podslapja, ga je potrebno dobro zasnovati. Tako se lahko na bolj nizkih jezovih poveča hidravlična učinkovitost podslapja s poglobitvijo dna podslapja ali z nadvišanjem krone preliva. Hidravlično ugodnejša rešitev je v tem primeru zvišanje prelivne krone, kajti s poglobitvijo dna podslapja lahko pride do potopljenega vodnega skoka. Krovni val se zaradi tega ne oblikuje, kar ima za posledico skoraj nično disipacijo, oziroma pretvorbo energije. Na pregradi Drtijiščica se nahajata dve

podslapji. Prvo je podslapje talnega izpusta, ki leži na desnem koncu pregrade (gledano dolvodno), drugo pa je podslapje preliva, ki leži v centralnem delu pregrade. Namen obeh je umiritev toka vode z neko določeno velikostjo disipacije energije in usmeritev toka vode v strugo reke Drtijiščice.

2.3.1 Analiza podslapja preliva

Podslapje preliva je glede na samo velikost pregrade in kapaciteto preliva, sorazmerno majhno. Začne se takoj ob koncu prelivnega polja na koti 340,0 m. V dolžino meri 8,00 m, širina pa je enaka širini preliva, torej 40,0 m in se konča z odvodnim jarkom (slika 11). Tako kot preliv, je tudi ta del zgrajen iz skal. Te so položene v beton, z vmesnimi sidri v obliki armiranobetonskih pilotov. Začetni del podslapja je rahlo ugreznjen (konec prelivnega polja). Na razdalji osmih metrov se ta nato dvigne nazaj na koto 340,0 m. Taki obliki podslapja pravimo kadunjasto podslapje. Glede na podslapje z vodoravnim dnom in pragom na koncu, je tako podslapje hidravlično ustrežnejša alternativa. Tudi v primeru dolžine podslapja, je kadunjasto lahko za kar do 40 odstotkov krajše v primerjavi z običajnim podslapjem, ki ima vodoravno dno. To vsekakor predstavlja prednost v primeru, ko je dolžina dolvodno od vznožja pregrade omejena in je potrebno glede na razmere izvesti najugodnejšo rešitev. Prerez skozi podslapje preliva in njegovo stanje na terenu sta prikazana na sliki 10. Kot vidimo, je dno podslapja za kadunjo v rahlem naklonu. Zaradi tega je vodni tok na koncu kadunjastega podslapja usmerjen rahlo navzgor, kar je hidravlično ugodno za dno struge (razbremenjuje dno struge). Dodatna prednost je tudi ta, da je hitrost vodnega toka ob dnu manjša in so zaradi tega manjši tudi erozijski tolmeni ter valovanje vodne gladine za podslapjem. Negativen pojav je možnost nastanka regresivne erozije - spodjedanje vznožja pregrade v območju preliva. S primernim preoblikovanjem preliva in podslapja se bomo temu pojavu izognili.

Kadunjastemu podslapju sledi omenjeni odvodni jarek širine 4,0 m (slika 11), ki je tako kot ostali del, izveden v obliki kamnometa. Razteza se vzdolž podnožja pregrade in na desnem delu konca prelivnega polja (gledano dolvodno) spremeni smer, ter se nadaljuje proti strugi reke Drtijiščice. Funkcija odvodnega jarka je zbiranje površinske vode iz ostalih jarkov prelivnega polja in speljava le-te v rečno strugo.



Slika 11: Prečni prerez podslapja prelivnega polja in podslapje prelivnega polja na terenu
Picture 11: Cross section of spillway's stilling basin and spillway's stilling basin at the field

Obstoječe stanje podslapja preлива bo potrebno spremeniti v sklopu rekonstrukcije preлива. Ker trenutno stanje ne vključuje urejenega podslapja, je ob rekonstrukciji preлива nujno potrebno izvesti tudi povezavo podslapja preлива z rečno strugo, t.j. da bo visoka voda po prelivanju speljana preko podslapja v naravno strugo. Predlagana rešitev bo predstavljena v nadaljevanju. Tako bo rekonstrukcija preлива pregrade dobila primeren zaključek z hidravlično ugodno zasnovanim podslapjem.

2.3.2 Analiza podslapja talnega izpusta

Drugo podslapje je podslapje talnega izpusta skupne dolžine 23 m (slika 12). Njegov prvi del je oblikovan v obliki trapeznega korita in se začne takoj na iztoku iz talnega izpusta. Tukaj so brežine iz armiranega betona in v naklonu 1:1. Ta del se potem nadaljuje v del, katerega prečni prerez korita nima več trapezne oblike, marveč se enakomerno nadaljuje v isti širini,

kot se je končal trapezni del vse do konca podslapja. Tam se celotna zadeva zoži na širino struge reke Drtijaščice. Razširitev v obliki trapeza na izlivu talnega izpusta bi naj bila neke vrste sonaravna rešitev. Kot pišeta v strokovnem članku Humar in Kryžanowski (2012), je trapezno korito in obloga korita s kamnito zložbo uveljavljena praksa izvajanja podobnih objektov v Sloveniji, vendar napačna. Vsekakor napačna v primeru uporabe teh objektov kot del telesa visokih pregrad, kjer gre za veliko večje količine izpustov voda, kot je to v primeru nizkih pregrad. Tudi zožitev na širino rečne struge Drtijaščice predstavlja neke vrste motnjo iztekajoči se vodi, zato se v primeru večjih količin voda zaustavlja in ovira odtekanje. Posledica je prelivanje vode iz korita v okoliško območje. Kamnometi, oziroma kamene zložbe, ki so pogosto uporabljeni za zaščito brežin, potokov in rečic, so se izkazali v primeru umirjevalnega bazena talnega izpusta kot nepravilna rešitev. Skale, kot utrditev brežin, so primerna rešitev v primeru manjših tokov in ne v tovrstne namene. Povzamem lahko, da je objekt nefunkcionalen (Humar, Kryžanowski, 2012) in da je njegova rekonstrukcija hidravlično prezahtevna ter ne bo predmet obravnave tega diplomskega dela.



Slika 12: Podslapje talnega izpusta

Picture 12: Stilling basin of bottom outlet

3 REKONSTRUKCIJA PRELIVA ZEMELJSKE PREGRADE DRTIJŠČICA

V tem poglavju se bomo osredotočili na rekonstrukcijo prelivnega polja na nasuti pregradi Drtijaščica. Na začetku bodo predstavljeni valjano stisnjeni betoni, njihove lastnosti in način vgradnje. S pomočjo enega izmed opisanih betonov se bo izvedla rekonstrukcija preлива. Tako bo sedanji skalometni preliv zamenjal valjano betonski preliv. Predstavljena bo tudi rešitev rekonstrukcije preлива, t.j. drče preлива in podslapja preлива. Poudarek v tem poglavju bo predvsem na prelivu preko pregrade, katerega celotna rekonstrukcija bo tudi podrobneje opisana. Namen rekonstrukcije prelivnega polja je doseči tako stanje, da bo prelivni objekt preko pregrade polno funkcionalen, brez nevarnosti za varnost pregrade. V sedanjem stanju prelivni objekt, ki je izveden s kameno zložbo v betonu, ne zagotavlja polne obratovalne varnosti predvsem zaradi bojazni, da bi zaradi hidrodinamičnih sil pri prelivanju prišlo do erozijskih procesov na pregradi in posledično do retrogradne erozije v nožici pregrade. Da je ta bojazen utemeljena, je pokazala erozijska zajeda nožice pregrade na iztoku iz podslapja v letu 2010 (slika 10). Rekonstrukcijo prelivnega dela pregrade bomo izvedli s preplastitvijo telesa pregrade z valjanim betonom in s tem zagotovili funkcionalnost preлива na pregradi. Predlagana tehnična in tehnološka zasnova rekonstrukcije je utemeljena na osnovi podobnih primerov v svetovni praksi.

3.1 Valjano stisnjeni betoni

Zemeljska pregrada Drtijaščica je nasuta zemeljska pregrada, zgrajena s tehniko mehanskega komprimiranja po slojih. Tudi valjano betonske pregrade so zgrajene na podoben način, z razliko, da je vgrajeni material beton. Le-ta ima zaradi svojih mehanskih lastnosti (tlačna trdnost, odpornost,...) prednost pred zemeljskim materialom. Tako lahko rečemo, da je valjani beton mešanica boljšega materiala in hitrega načina vgradnje po slojih.

Valjani beton se v svetu uporablja za gradnjo vozišč in za gradnjo betonskih pregrad. Največ tovrstnih pregrad je na Japonskem, kjer je bila leta 1980 zgrajena prva betonska pregrada iz valjanega betona. Govorimo o pregradi Shimajigawa, ki z višino 89 m in volumnom 317.000 m³ (Nagayama, Jikan) predstavlja dve petini mokrega volumna Gradiškega jezera (vodna akumulacija za pregrado Drtijaščica). Gradnja te pregrade je bila svojevrsten fenomen. Časovni

razpon gradnje se je skrajšal, kar je imelo za posledico tudi manjše stroške. Taka gradnja se je izkazala kot pozitivna tudi zaradi kljubovanja hudim vremenskim razmeram, t.j. nizkim temperaturam, zaradi katerih bi pri gradnji z običajnim betonom le-ta bila prekinjena. Zaradi manjše vsebnosti vode v valjanem betonu, se gradnja lahko kljub temu nadaljuje nemoteno. Zaradi izrazito potresnega območja, po katerem slovi Japonska, so se valjani betoni in pregrade, kot objekti zgrajeni iz tega betona, izkazali kot izrazito odporni na potresno obremenitev. Tako se je uporaba valjanega betona razširila po vsem svetu. Japonski so sledile Združene države Amerike, Kanada in Brazilija. Povsod se je izkazal kot odličen nadomestek do tedaj množično uporabljenega običajnega betona, ki se je uporabljal na področju hidrotehnike za gradnjo težnostnih betonskih pregrad, ločnih betonskih pregrad in olajšanih težnostnih pregrad.

Valjani beton se je začel uporabljati čez čas tudi za rekonstrukcijo že obstoječih nasutih pregrad, katerih stabilnost je bila oslABLJENA ali ni bilo zagotovljene ustrezne obratovalne varnost prelivnih objektov. Pri nasutih pregradah so tehnologijo valjanega betona uporabili pri utrjevanju varnostnih nasipov in opornih zidov (nadvišanju), in utrjevanju prelivov in prelivnih drč. Tehnologija gradnje valjanega betona je v zasnovi podobna gradnji nasutih pregrad, nasipov in tudi po geoloških lastnostih so si vgrajeni materiali podobni. Uporaba valjanega betona pri rekonstrukciji nasutih pregrad je vsestranska, lahko uporabimo material zgolj za utrditev z vodnim tokom izpostavljenih površin za zagotovitev večje erozijske odpornosti (nasipi, preliivi, ...), ali pa kot gradbeni material za samostojne konstrukcije v sklopu pregrade (preliivi, obrežne zgradbe, nadvišanja pregrade, ...). Zaradi podobnega načina gradnje, se konstrukcije iz valjanega betona lahko bistveno lažje povežejo z osnovno konstrukcijo nasute pregrade, kot v primeru gradnje s klasičnim betoniranjem.

Do danes so se v svetu na področju gradnje pregrad uveljavile tri vrste valjanega betona:

- RCC valjano stisnjen beton - »roller compacted concrete« (okrajšava RCC),
- RCD valjano stisnjen beton - »roller compacted dam concrete« (okrajšava RCD),
- CSG valjano stisnjen beton - »cement, sand and gravel« (okrajšava CSG).

RCC, RCD in CSG poleg tega, da so vrste betona, predstavljajo tudi posebno metodo vgradnje betona. Vsi trije spadajo v skupino betonov z nizko vrednostjo vode in sorazmerno visoko vsebnostjo vezivnih sredstev (cementa in pucolanov), so lahko in hitro vgradljivi, ekonomični in trajnostni. Tako, kot je razvidno iz literature (Kimitaka, 2005), je bilo do konca

leta 2002 na Japonskem zgrajenih že okrog 40 pregrad z RCC oz. RCD betoni, okrog 30 v Braziliji, 36 v Združenih državah Amerike, ter na Kitajskem kar 54 pregrad tovrstne sestave. V Sloveniji zaenkrat še nimamo nobene tovrstne pregrade. Upajmo, da se bo ta trend v prihodnje spremenil in bomo pridobili podoben objekt tudi pri nas. Za naš prostor bo to predstavljajo prehod k novim, hitrejšim in inovativnejšim tehnologijam gradnje.

Če se navežemo na nasute pregrade v Sloveniji, je bilo na osnovi raziskav ugotovljeno, da bo vsekakor nekaj od njih v prihodnje potrebovalo sanacijske ali rekonstrukcijske ukrepe (Kryžanowski et. al 2013). V vplivnem območju zajezev živi čedalje več ljudi, urbane površine se povečujejo, in tako je ogroženih v primeru porušitve pregrad vse več stanovanjskih in drugih objektov, infrastrukture, obdelovalnih površin in navsezadnje tudi človeških življenj. Ker so vremenske razmere v zadnjih letih nepredvidljive, s ponavljajočimi se poplavnimi obdobji, je skrb za varnost pregrad upravičena. V večini primerov so prelivi zemeljskih pregrad varnostni prelivi, kar pomeni, da se voda preko njih preliva le izjemoma, v primeru visokih voda, ko iztok skozi talni izpust ni dovolj velik. Prelivanje viškov voda preko zemeljskih pregrad pa vsekakor ni dobrodošlo, vsaj ne v kolikor se poplave ponavljajo skoraj vsako leto in predstavlja dodatno tveganje, ki ob načrtovanju pregrad praviloma ni bilo upoštevano. Ker bo najverjetneje le-teh v prihodnosti čedalje več, bo potrebno razmisliti o zavarovanju prelivov in omogočanju prelivanja, brez večjega strahu pred poškodbami delov pregrade in posledično večjimi katastrofalnimi posledicami. Valjani betoni so vsekakor ena izmed možnosti, katere se lahko poslužimo za rešitev tega problema. Gre za v svetu že zelo dobro uveljavljeno in preizkušeno metodo rekonstrukcije prelivov zemeljskih in skalometnih pregrad (v nadaljevanju sledijo tudi primeri uporabe valjanih betonov iz sveta).

3.1.1 RCC valjano stisnjen beton

RCC je valjano stisnjen beton, t.j posebna tehnika gradnje novih pregrad in rekonstrukcije obstoječih. Razvoj RCC valjanega betona je povzročil velik premik v gradbeništvu, predvsem v gradnji masivnih betonskih pregrad. Klasična metoda planiranja in komprimiranja betona se je pokazala kot precej počasna. Izboljšave tehnologije gradnje zemeljskih in skalometnih pregrad so doprinesle k hitrejši in zato bolj učinkovitejši, ter stroškovno ugodnejši gradnji. Že ena izmed prvih uporab tehnologije vgradnje RCC valjanega betona pri gradnji pregrade Tarbela, je pokazala, da je le-ta lahko zelo hitra, saj so v enem dnevu vgradili 18.000 m³ RCC

valjanega betona, kar še vedno predstavlja svetovni rekord. RCC je z valjarjem utrjeni beton, katerega še neutrjena mešanica mora podpirati sam valjar med njegovim delovanjem. Od navadnega betona se loči v prvi vrsti po konsistenci. Za učinkovito utrditev mora biti zmes v času gradnje dovolj suha, da prepreči ugrezanje valjarja. Hkrati mora biti zmes tudi dovolj vlažna, da omogoči utrjevanje z valjarji z dovolj veliko količino veziva, da zaobjame vsa zrna agregata in zapolni medpraznine v betonski strukturi. Valjani beton RCC je lahko izveden v kratkem časovnem obdobju, s katerim je omogočena kontinuirnost vgradnje materiala in posledično dosežena boljša končna kvaliteta vgrajenega materiala. Vsaka prekinitev proizvodnje in vgradnje, ali nihanja v proizvodnji, vplivajo na rok izvedbe in kvaliteto vgrajenega materiala.

3.1.1.1 Sestava RCC betona

RCC valjani beton je posebna vrsta betona, ki ima enake sestavine kot običajni beton, vendar v drugačnih razmerjih. RCC betonske mešanice morajo biti oblikovane tako, da zagotavljajo maksimalno obdelovalnost, vgradljivost, da izpolnjujejo merila glede trdnosti in da so spremembe volumna čim manjše. Za čas gradnje mora valjana betonska mešanica obdržati svojo konsistenco, s tem da podpira težo tovornjakov in buldožerjev, ter da je primerna za vgrajevanje z vibracijskim valjarjem. RCC betonsko mešanico sestavljajo tri osnovne sestavine:

- **Cement** – Delež cementa v betonu je okrog 5 odstotkov. Pri gradnji celotnih pregrad z valjanim betonom, gre za masovne betone, zato je v takih primerih ugodneje uporabiti cimente z nizko stopnjo sproščene hidratacijske toplote (energije). Poleg cementov tipa I (najpogostejša uporaba), nastopajo tudi cementi tipa II (nizka stopnja sproščene hidratacijske energije), tipa IV (pucolanski cementi) in tipa V (sulfatno odporni cementi). Pogosto se ga lahko nadomesti z elektrofilitrskim pepelom ali se ga doda namesto določenega deleža cementa, kot dodatek k izboljšanju betonske mešanice in zmanjšanju temperature masivnega betona pri hidrataciji. Njegova prednost je zmanjšanje hidratacijske toplote, ki se sprošča med strjevanjem betona. Pomemben faktor predstavlja tudi količina cementne paste. RCC betonska mešanica mora vsebovati zadostno količino cementne paste za preprečitev segregacije in za zapolnitev praznin med večjimi zrni agregata. Tako se tvori kompaktna ter gosta betonska mešanica.

- **Voda** – Vode je v betonski mešanici valjanega betona zelo malo, približno 3 do 4 odstotke. Zaradi tega je vodo-cementno razmerje zelo majhno in posledično je beton bolj suh.
- **Agregati** – Predstavljajo 90 odstotkov betonske mešanice. Zaradi tega je izbira agregata toliko bolj pomembna in vpliva na končne lastnosti betona. Običajno se zrna večja od 80 mm ne uporabljajo, saj lahko povzročijo težave pri planiranju in valjanju z vibracijskimi valjarji. V praksi je velikost največjega zrna zmanjšana na 50 mm, zaradi lažje vgradljivosti in manjše možnosti pojava segregacije (pri tanjših plasteh utrjevanja lahko pride do nastanka praznin, ki neugodno vplivajo na trajnost valjanega betona). Slaba tretjina predstavlja delež finih delcev. Ti so pomembni za zagotovitev večje kohezivnosti betonske mase, vendar je potem posledično potrebna tudi večja količina cementa in vode. V kolikor se uporablja agregat s samega gradbišča ali njegove bližine, ga je pred uporabo potrebno ustrezno pripraviti (separiranje, čiščenje organskih primesi, drobljenje nadmernih zrn, ...).

Tako kot za vsako gradnjo, je tudi za načrtovanje gradnje z RCC betonsko mešanico pomembna ocena nahajališč potencialnih naravnih virov agregata. S podražitvijo goriva in prevoza, sta lokacija virov in njihova oddaljenost od gradbišča, postala eden izmed pomembnejših faktorjev, ki vplivajo na končno ceno RCC valjanega betona. V poštev pridejo nahajališča na gradbišču, obstoječi bližnji kamnolomi in potencialni novi kamnolomi. Za gradbišča, kjer so potrebne velike količine RCC-ja (gradnja celotne pregrade z RCC valjanim betonom), je potrebno upoštevati vsa možna nahajališča virov na gradbišču ali blizu njega. Ko so ta določena, je potrebno vzorce testirati, da se na podlagi tega določijo lastnosti in njihova primernost za uporabo.

3.1.1.2 Postopek vgradnje RCC valjanega betona

Metodologija priprave in vgradnje RCC valjanega betona je zelo ekonomična, ker se dinamika gradnje v primerjavi s klasičnim betoniranjem izredno poveča in na ta način omogoča gradnje velikega količinskega obsega v sorazmerno kratkem času (Dolen, Fares, 2008). RCC betonska mešanica se lahko vgrajuje hitro in brez težav, z mehanizacijo za zemeljske gradnje. Običajno se ga transportira s prekucniki, planira z buldožerji in komprimira z vibracijskimi valjarji (slika 13). Odseki so zgrajeni v zaporednih horizontalnih slojih, ki se na dolvodni strani zaključijo stopničasto. Ko je predhodni sloj v celoti vgrajen in

utrjen, je dovolj trden, da brez škode prevzame vse obremenitve nasutja novega sloja in mehanizacije, zato je gradnja kontinuiran in sistematičen proces.



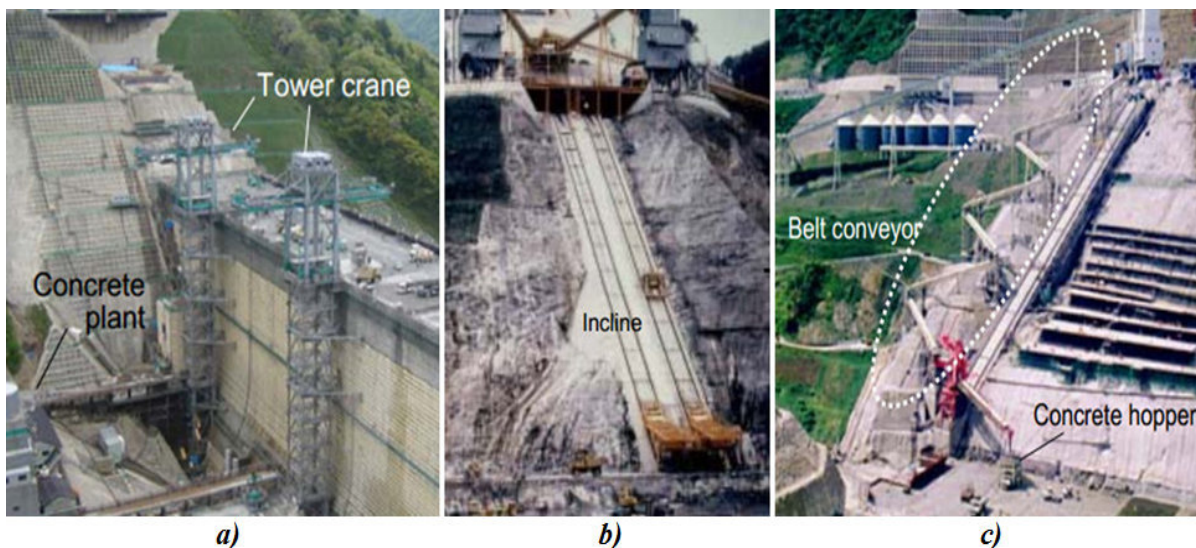
Slika 13: Proces vgradnje RCC valjanega betona (Unzen Restoration Project Office, 2007)

Picture 13: Placement process of RCC concrete (Unzen Restoration Project Office, 2007)

Priprava betonske mešanice lahko poteka na samem gradbišču ali se pripelje s cestnimi transportnimi sredstvi (kamioni prekučniki) iz bližnje betonarne, odvisno od tega katera varianta je cenejša. Na gradbišču jo kamioni raztovorijo z raztrosom, nato pa sledi razstiranje z buldožerji, ki jo razplanirajo v plast debeline okrog 30 cm. Vibracijski valjarji nato razgrnjene plasti ustrezno zvibrirajo in stisnejo (zvaljajo) v povezano strukturo. Postopek se nato večkrat ponovi, odvisno od končne višine predvidene debeline sloja. Za tovrstno gradnjo se uporabljajo veliki vibracijski valjarji z operativno težko okrog 20 ton in frekvenco od 27-35 Hz. Z vibracijskimi rezalniki (vodna žaga za beton) se vzdolžno po nanieseni površini RCC valjanega betona naredijo rezi (dilatacije). S tem se omogoči, da se lahko beton med svojim obstojem neovirano krči in razteza, ne da bi pri tem povzročil dodatne poškodbe (razpoke). Gradnja novega sloja RCC-ja se lahko prične od 24 do 36 ur po koncu gradnje predhodnega sloja. Po površini, kjer se bodo nanašali novi sloji betona, se mora le-ta ustrezno pripraviti. Pred nanosom svežega betona, se po površini razlije cementna ali polimerna suspenzija, ki služi kot lepilo ali stik med strjenim in svežim nanosom novega betona. Tako so stiki med sloji boljši in stabilnejši.

Če je topografija terena taka, da ne omogoča dostopa cestnim transportnim sredstvom, ali ko širina sloja pri vrhu pregrade ne omogoča dostopa, je potrebno vpeljati dodatno mehanizacijo, ali nov transportni sistem za prenos betonske mešanice (Nagataki et al., 2008). Ko gre za strme naklone, je ena izmed možnosti uporaba žerjavov za vertikalne Transporte (slika 14 a),

ali uporaba elevatorjev, ki po terenu navzgor in navzdol v košarah (zabojih) prevažajo beton na končno lokacijo (slika 14 b), ali pa transport betona s tekočimi trakovi (slika 14 c).



Slika 14: Vrste sistemov za transport betona: a) žerjav, b) elevator, c) tekoči trak, (State of Art id RCD dams in Japan, 2008)

Picture 14: Transport systems: a) cable crane, b) incline system, c) belt conveyor (State of Art id RCD dams in Japan, 2008)

Čelne strani stopnic so lahko oblikovane ali neoblikovane, odvisno od velikosti zelene disipacije energije in estetskega videza. Oblikujemo jih lahko z opaženjem in vibriranjem do roba opaža ali brez opažev in ročnim ali strojnim vibriranjem čelnih delov stopnic. Večinoma se za prelive stopničaste oblike uporablja neoblikovana metoda čelnih strani. Le-ta je običajno cenejša in njena izvedba traja manj časa. Kompaktnost površine stopenj se dosega s težkim vibracijskim valjarjem, ki pa do skrajnega roba ne more stisniti celotne površine, saj pride lahko do krušenja robnih delov. Tako se skrajni robovi, imenovani tudi kot »žrtveni beton«, oblikujejo, vendar ne v taki meri kot preostali del. Utrjujejo se z ročnimi vibracijskimi stroji ali s pomočjo dodatnega nastavka, ki se namesti na mesto žlice bagerja. Le-ta potem vibrira in utrjuje robni del stopnje. Tak način oblikovanja in utrjevanja čelnih delov stopnic bo uporabljen pri rekonstrukciji obravnavanega preliva. Primeri opisanih metod so prikazani na spodnji sliki (slika 15).



Slika 15: Načini formiranja čelnih delov stopenj RCC preliva (<http://www.cement.org>)

Picture 15: Different types of forming lift edges (<http://www.cement.org>)

3.1.1.3 Učinkovitost RCC gradnje

Po vsem opisanem lahko zaključimo opis RCC valjanega betona z naslednjimi ugotovitvami:

- poraba cementa je nižja, ker se lahko uporabijo zemeljsko vlažne betonske mešanice;
- stroški opaža so nižji zaradi metode gradnje v horizontalnih slojih;
- posebnih ukrepov za hlajenje masivnega betona zaradi uporabe nizkohidratijskega cementa in manjše vsebnosti deleža cementa ni potrebnih;
- stroški gradnje so nižji, ker je celotni proces priprave, transporta, vgradnje in komprimacije v celoti mehaniziran;
- hitrost gradnje je veliko večja in je pri velikih pregradah lahko v povprečju končana tudi od 1 do 2 leti prej kot gradnja običajne betonske pregrade;
- stroški gradnje so odvisni od zahtevnosti objekta. Študije so pokazale, da gradnja po metodi RCC stane 25 do 50 odstotkov manj kot gradnja z običajnim masivnim betonom.

3.1.2 RCD valjano stisnjen beton

RCD je racionalizirana gradbena metoda za gradnjo betonskih pregrad, ki jo je razvilo japonsko ministrstvo za gradbeništvo v 1970-ih, kot prvo valjano stisnjeno betonsko gradbeno metodo (Nagataki et al., 2008). Razlog za razvoj te gradbene metode ja bilo vprašanje, kako

zmanjšati ceno betona na enoto glede na podražitev stroškov dela in glede na to, da je zaradi slabih temeljnih tal bila potrebna gradnja betonskih težnostnih pregrad z velikim volumnom. S prvo zgrajeno pregrado Shimajigawa, je bila tehnologija gradnje verificirana in se je začela množično uporabljati za gradnjo novih pregrad. Z uporabo vibracijskih valjarjev, z novimi in hitrejšimi transportnimi sistemi, kontrolo sproščene hidratacijske toplote in kontrolo kvalitete, se je razvoj te metode le stopnjeval. Okrog leta 1990 so bile po tej tehnologiji zgrajene, do takrat po velikosti in volumnu, najobsežnejše pregrade: Ryumon pregrada višine 99,5 m, pregradi Miyagase in Urayama z višinama 156 m in Gassan z višino 123 m. To so le ene izmed betonskih pregrad, zgrajene z metodo RCD. Ko se je uporaba tovrstne tehnologije gradnje razširila tudi na področje srednje visokih pregrad, je bil dokončno potrjen velik napredek v tehnologiji gradnje hidrotehničnih objektov. Tako je od časa gradnje prve tovrstne pregrade minilo že 30 let in v tem času je bilo samo na Japonskem zgrajenih 50 pregrad takega tipa, ki še danes nemoteno obratujejo. S pomočjo številnih izkušenj gradenj RCD pregrad, je RCD gradbena metoda dosegla skrajšanje časa gradnje, stroškov dela, okoljevarstvenih vprašanj in varnostno tveganje za izvajalca del, kar je bil tudi glavni razlog za razvoj te metode.



Pregrada Shimajigawa
H = 89 m

Pregrada Miyagase
H = 156 m

Pregrada Origawa
H = 114 m

Slika 16: Ene izmed najvišjih RCD pregrad na Japonskem (Nagataki et al., 2008).

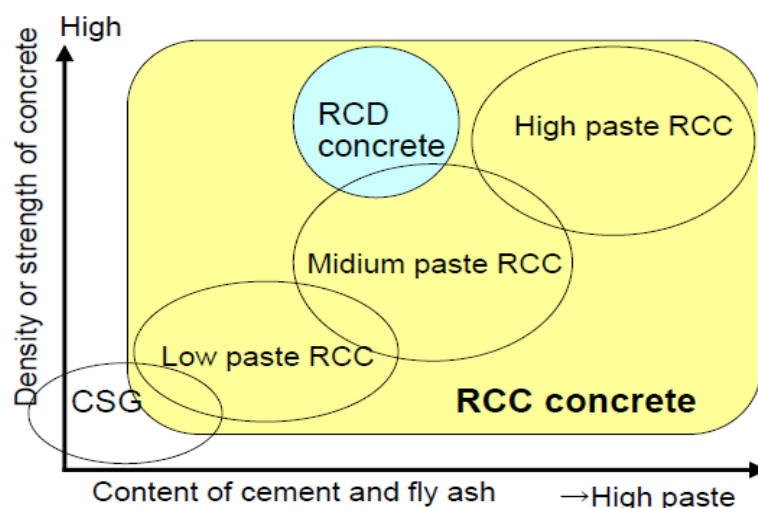
Picture 16: Few of the highest RCD dams in Japan (Nagataki et al., 2008).

Izraz RCD valjano stisnjen beton se na Japonskem uporablja za RCC valjane betone (Kimitaka, 2005). Angleški izraz za RCD valjani beton je »roller compacted dam concrete«, kar pomeni da gre za modifikacijo osnovnega RCC betona, prvenstveno namenjenega za gradnjo pregrad. Nasprotno, je angleški izraz za RCC valjani beton »roller compacted concrete«. Povzamemo lahko, da je RCD boljša različica RCC valjanega betona (slika 17).

Imata podobno razmerje sestavin, kot tudi podobne mehanske lastnosti ter osnovni princip gradnje. Razlika se pojavi v načinu komprimiranja. Pri RCD valjanih betonih se komprimira sloj v celoti, medtem ko se pri RCC valjanemu betonu komprimira vsaka plast sloja posebej. Število plasti nanosa betonske mešanice je odvisno od želene višine posameznega sloja. Pri RCD-ju se sveža betonska mešanica raztovori in razplanira po plasteh brez vibriranja do višine predvidenega sloja. Nato nastopi postopek valjanja celotnega sloja z vibracijskim valjarjem. Pri RCC-ju pa se vsaka razplanirana plast sveže betonske mešanice posebej zvibrira z valjarjem. Posledično je debelina plasti, ki se posebej komprimira pri RCC metodi, nižja in se giblje okrog 30 cm, medtem ko se pri RCD metodi komprimira celotni sloj v debelini od 75 do 100 cm. Razlog za vgrajevanje po slojih po postopku RCD, je zmanjšanje števila horizontalnih ploskev med posameznimi zaporednimi plastmi (po postopku RCC), ki lahko predstavljajo potencialna šibka mesta z vplivom na stabilnost pregrade ali precejanje vode čez telo pregrade. Zaradi tega so tudi možnosti pojava poškodb zaradi potresov in ostalih naravnih katastrof veliko manjše, kot v primeru uporabe postopka RCC.

Spodnja slika (slika 17) prikazuje zvezo med RCC in RCD valjanima betonoma glede na vsebnost cementnega veziva in gostote, oziroma trdnosti betona. Iz diagrama lahko razberemo, da je RCD valjani beton (označen z modro barvo kroga) podvrsta RCC valjanega betona. Prav tako je razvidno, da so lastnosti RCD betona, kljub manjšemu deležu veziva, primerljive lastnostim RCC betona z velikim deležem veziva. Na trdnost betona vplivata poleg količine cementa, oziroma veziva, tudi stopnja komprimiranja in kvaliteta agregata (trdnost agregata, velikost in oblika zrna). Ker je njegova količina v betonski mešanici RCC ali RCD betona sorazmerno velika, prevzame agregat večji del zunanje obremenitve v primerjavi z običajnim betonom. Zato velja, da boljše kot je komprimacija, boljše so trdnostne karakteristike. Ne smemo pa zanemariti, da mora biti kljub temu količina veziva dovolj velika, da zaobjame vsa zrna agregata in zapolni medpraznine in s tem poveže komponente v trdno strukturo.

Povzamemo lahko, da RCD valjani beton zavzema pomembno mesto med RCC valjanimi betoni in da pomeni RCD višjo razvojno stopnjo RCC valjanih betonov (Nagataki et al., 2008).



Slika 17: Povezava med RCD in RCC valjanimi betoni (Nagataki et al., 2008)

Picture 17: Connection between RCD and RCC concrete (Nagataki et al., 2008)

3.1.2.1 Sestava RCD betona

RCD beton je tako kot RCC beton izredno suh in pust, zaradi česar je vgradnja hitra in sproščanje toplote pri hidrataciji manjše. Za mešanico RCD betona velja dejstvo, da je delež vsebnosti cementne paste dosti manjši kot pri običajnih masivnih betonih za gradnjo betonskih pregrad. Zaradi tega lahko omogoči gradbeni mehanizaciji premikanje in delovanje brez ugrezanja in zmanjšanje dviga temperature med procesom strjevanja ter s tem preprečitev nastanka temperaturnih razpok. Istočasno bi naj imel RCD beton podobne lastnosti, kot klasični beton, kar pomeni, da mora tudi RCD beton zadostiti zahtevam glede trdnosti, vodoodpornosti in trajnosti.

Hidratacijska toplota, ki se sprošča med procesom strjevanja betona, vpliva na izbiro vrste cementa, primerne za pripravo RCD in ostalih vrst betona. Najbolj primeren je nizkohidratacijski cement z nizko sproščeno hidratacijsko toploto in veliko marko cementa, ki vpliva na tlačno trdnost betona po končanem strjevanju (28 dni). Agregati, uporabljeni v RCD betonih, morajo biti iste kvalitete kot pri običajnih betonih, medtem ko je edina omejitev velikost največjega zrna, ki naj ne presega 80 mm. Pomembna je tudi vsebnost finih delcev, torej delež finih frakcij agregata in veziva (cement, pucolani, mineralni dodatek, ...), ki preprečuje segregacijo in povečuje kohezivnost betonske mase. Tako bi naj kar 50 odstotkov

količine agregata imelo velikost okrog 50 mm. Kot pomemben dodatek za izboljšavo betonske mešanice, se dodajajo dodatki za povečanje vgradljivosti in pucolane. Pri RCD betonski mešanici je največkrat uporabljen elektrofilterski pepel. Količina, ki jo lahko uporabimo, je lahko med 20 in 40 odstotki in nastopa kot nadomestek za cement. Poleg tega, da zmanjšuje segrevanje betona med strjevanjem (povečanje hidratacijske toplote), ugodno vpliva na izboljšanje konsistence betona in na dolgoročno trdnost.

Preglednica 2: Sestava RCD betonske mešanice treh pomembnejših pregrad na Japonskem (Nagataki et al., 2008)

Table 2: Composition of RCD concrete mixture at three important dams in Japan (Nagataki et al., 2008)

Ime pregrade	Leto zgraditve	Višina pregrade [m]	Gmax [mm]	Vsebnost na enoto: kg/m ³		
				Voda	Cement + el.pepel	Agregati
Simajigawa	1980	89	80	105	120	752
Miyagase	1994	156	150	95	130	652
Urayama	1995	156	150	85	130	679

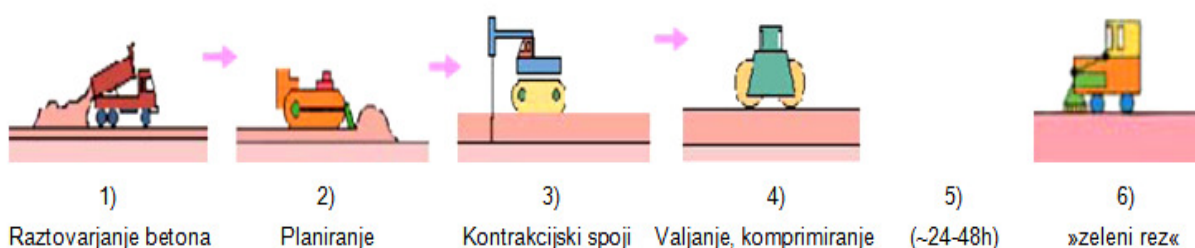
3.1.2.2 Postopek vgradnje RCD-ja

Ker je RCD gradbena metoda racionalizirana metoda običajne klasične gradnje betonskih pregrad in po tehnologiji RCC, so nekatera gradbena dela enaka. Betonska dela pri RCD gradbeni metodi so se izboljšala skozi številne izkušnje gradenj RCD pregrad na Japonskem. Nekatero izmed teh tehnologij smo že omenili pri uporabi RCC gradbeni metodi, kot je homogeniziranje mešanice, komprimiranje betona, obravnava stikov med sloji, povezovanje različnih vrst betonov, uporaba različne mehanizacije in opreme. Tehnologiji gradnje RCC in RCD sta si precej podobni, zato so tudi razlike med obema relativno majhne.

Delovni cikel RCD gradbene metode je sledeči:

- 1) zemeljsko vlažen beton je pripeljan iz betonarne do mesta gradnje, kjer se beton raztovori;
- 2) beton s pomočjo buldožerjev razstira na tanke sloje;
- 3) izvedejo se prečni kontrakcijski spoji za preprečitve nekontroliranega krčenja betona;

- 4) beton je stisnjen in zvibriran s pomočjo vibracijskih valjarjev;
- 5) beton se potem suši 24-48 ur v vlažnem in stabilnem okolju;
- 6) površine betona predhodnega sloja se obdela s t.i. »zelenim rezom«, t.j. z vodno žago se ga po površini izžlebi, za zagotovitev kvalitetnega stika z novim slojem;
- 7) preden se navozi in razstira nova plast betona, se po površini gradnje nove stopnje razlije vezni sloj, ki služi kot vezivo med že na pol strjenim betonom in novim svežim nanosom.



Slika 18: Delovni cikel RCD gradbene metode (Nagataki et al., 2008)

Picture 18: RCD concrete plant (Nagataki et al., 2008)

RCD beton enake kakovosti je pripeljan s tovornjaki na mesto odložišča. Med raztovarjanjem betona lahko pride do segregacije, zato so bile vpeljane številne modifikacije opreme za preprečitev tega pojava, kot je loputa na izpustnih vratih tovornjakov ali odlaganje RCD betona na dva kupa. Pri RCD gradbeni metodi je beton raznesen na tanko in enakomerno s pomočjo buldožerjev. Za, ali celo vzporedno z delom buldožerjev, se vključijo vibracijski valjarji. Pomembno je, da se valjanje začne čim prej, saj se drugače proces strjevanja začne in je potem ustrezno kompaktnost betona težje doseči. V primeru, ko je debelina posamezne plasti 50 cm, se valjar pelje v liniji naprej in nazaj, enkrat brez vibriranja in potem najmanj trikrat z vklopljenim vibriranjem. S povečevanjem debeline plasti se povečuje tudi število prehodov valjarja. Tako v primeru 100 cm debele plasti, naredi eno vožnjo naprej in nazaj brez vibriranja in nato najmanj šestkrat z vibriranjem. Vsak sloj sestavlja okrog tri do štiri plasti debeline od 20 do 30 cm. Čas med nanosom je omejen na 2 uri.



Slika 19: Planiranje in kompaktiranje RCD betona (Nagataki et al., 2008)

Picture 19: Spreading and compaction of RCD concrete (Nagataki et al., 2008)

Pri gorvodnih in dolvodnih robovih pregrade so vnaprej nameščene pocinkane jeklene plošče kot kontrakcijski spoji v 15-metrskih presledkih. Po nanosu RCD betona se zarežejo prečni rezi (kontrakcijski stiki) za preprečitev temperaturnih razpok. Po končani gradnji enega sloja, pustimo, da se beton strdi. H kvalitetnemu strjevanju pripomoremo z nego betona, podobno kot pri gradnji plošč z običajnim betonom, z zalivanjem ali škropljenjem površine. Pred gradnjo naslednjega sloja se predhodna površina izžlebi z že prej omenjenim »zelenim rezom«, tako da stiki med sloji ne postanejo šibke plasti. Čas za vnos »zelenega reza« s pomočjo motoriziranega rezalnega stroja je določen s časom strjevanja RCD betona. Poleti je to približno 24 do 36 ur po stiskanju, pozimi pa od 36 do 48 ur. Pred namestitvijo naslednjega dviga RCD betona je potrebno odstraniti vodo ter takoj razpršiti malto, da je dobra vez zavarovana pri horizontalnih dvižnih sklepkih. Standardna debelina malte je 15 mm.

3.1.2.3 Učinkovitost RCD gradbene metode

Ker imata RCD in RCC valjana betona zelo podobne mehanske lastnosti, enak princip gradnje in podobno razmerje sestavin betonske mešanice, lahko podobno kot pri RCC valjanemu betonu, zaključimo opis z naslednjimi ugotovitvami:

- poraba cementa in vode je nižja, zaradi potrebe po bolj zemeljsko vlažnem betonu;
- stroški opaža so nižji zaradi metode vgrajevanja v slojih;
- posebnih ukrepov za hlajenje masivnega betona zaradi uporabe nizkohidratacijskega cementa in manjše vsebnosti deleža cementa ni potrebnih,
- stroški gradnje so nižji, ker je celotni proces priprave, transporta, vgradnje in komprimacije v celoti mehaniziran;

- hitrost gradnje je veliko večja in je pri velikih pregradah lahko v povprečju končana tudi od 1 do 2 leti prej kot gradnja običajne betonske pregrade;
- stroški gradnje so odvisni od zahtevnosti objekta. Študije so pokazale, da gradnja po metodi RCC stane od 25 do 50 odstotkov manj kot gradnja z običajnim masivnim betonom.

3.1.3 CSG valjano stisnjen beton

Najnovejša vrsta valjanega betona je CSG beton. Z njim so že eksperimentirali ruski inženirji pred 40 leti, vendar njihovi poskusi uporabe niso bili uspešni. Na področju pregradnega inženirstva se je množično začel uporabljati po letu 1992 na Japonskem in od takrat se je njegova uporaba začela širiti tudi drugod po svetu (Fujisawa et al.). Njegovo ime je okrajšava treh glavnih sestavin: cement, pesek in gramoz (CSG - cement, sand, gravel). Pregrade zgrajene s CSG materialom se imenujejo CSG pregrade.

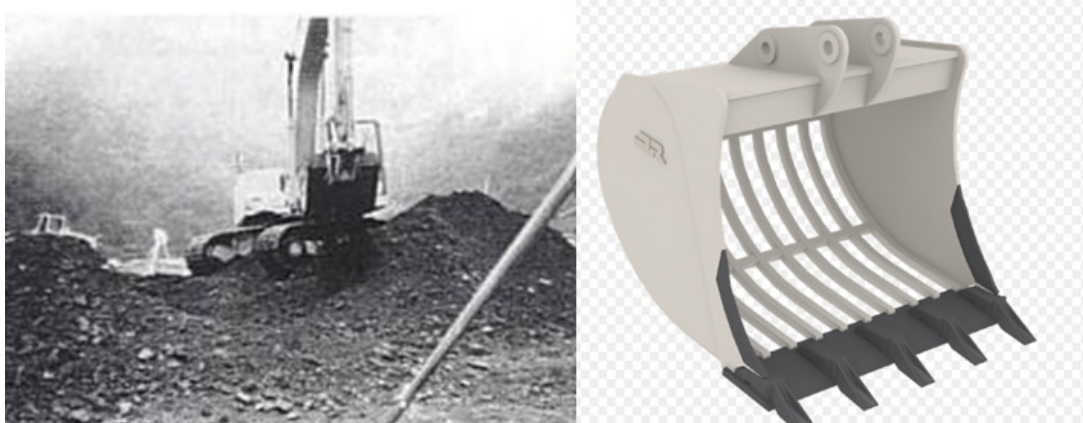
Zahteve glede vrste agregata za gradnjo CSG pregrade so zelo nizke. Večinoma se uporablja material iz lokalnih nahajališč (gramoz, rečne naplavine, ...). Zaradi takega pristopa je postal tip pregrade CSG, znan tudi pod imenom »zero emission dam« (Cai et al., 2012) ali pregrada brez onesnaževanja. Dobava materiala iz oddaljenih gramoznic zato ni potrebna, kar pripomore k znižanju stroškov dobave in transporta materiala. Izkopan material je sestavljen iz različnih dimenzij zrn, od finih zrn do grobih zrn agregata. Za drobljenje večjih zrn se na mestu začasno deponiranega materiala postavi mobilni drobilec. Ta zdrobi skale in kamne večjih dimenzij na velikost zrn do 80 mm. Po končanem drobljenju se postavi mobilna separacija, t.j. stroj za ločevanje zrn agregata. Običajno je ločevanje omejeno na dve frakciji, na zrna z dimenzijami od 0 – 20 mm in 20 – 80 mm.



Slika 20: Mobilni drobilec za drobljenje večjih zrn agregata

Picture 20: Mobile chipper for crushing major grain of aggregate

V zgodnji fazi razvoja CSG betona so za pripravo mešanic (cement, pesek, gramoz) uporabljali kar bager z mešalno žlico na mestu vgradnje (slika 21). Tak način priprave ima določene omejitve: (1) okoljski problem predstavljajo velike emisije drobnih prašnih delcev, ki se sproščajo pri predelavi materiala; (2) način predelave zahteva velik manipulacijski prostor, s čimer so tudi omejene količine možne predelave; (3) delo se izvaja na prostem, kar pomeni, da zaradi vremenskih vplivov (padavine, temperatura, osončenje, ...) ne moremo zagotavljati enakomernost kvalitete proizvodnje. Zato se ta način priprave mešanic ni obnesel.



Slika 21: Priprava CSG mešanice z bagrom

Picture 21: CSG mix preparation with backhoe

Pri gradnji CSG pregrad je potreba po količini vgrajenega materiala velika. Količina CSG mešanice, ki mora biti pripravljena v eni uri, znaša okrog 120 m³. Za pripravo mešanic so v uporabi mobilne betonarne z dovolj veliko kapaciteto priprave CSG mešanice, s čimer je zagotovljena tudi stalnost proizvodnje in enakomernost kvalitete priprave materiala ter posledično zmanjšanje stroškov in časa gradnje. Mobilna betonarna (slika 22) za pripravo CSG mešanice je podobna klasični horizontalni betonarni s podobnim načinom delovanja. Sestavljena je iz dveh gravitacijskih mešalcev, ki sta postavljena zaporedno. V prvem mešalnem bobnu se zamešajo frakcije agregata od 0 – 20 mm in cementa, ki ga doziramo iz silosa, ter dodatkom deleža vode. Polpripravljena mešanica se transportira v drugi mešalni boben, kjer se dodajo večje frakcije velikosti 20 – 80 mm. Po končanem mešanju je mešanica pripravljena na transport do mesta gradnje. Ker v obeh mešalnih bobnih poteka mešanje s pomočjo težnostne sile, je prihranek energije velik. S postavitvijo betonarne na mestu gradnje tako zagotovimo hitro in nemoteno dobavo betona, ki ni odvisna od transportov in posledično dobro kvaliteto betona zaradi hitre vgradnje (Berga, Buil, 2003).



Slika 22: Mobilna betonarna

Picture 22: Mobile concrete mixing plant

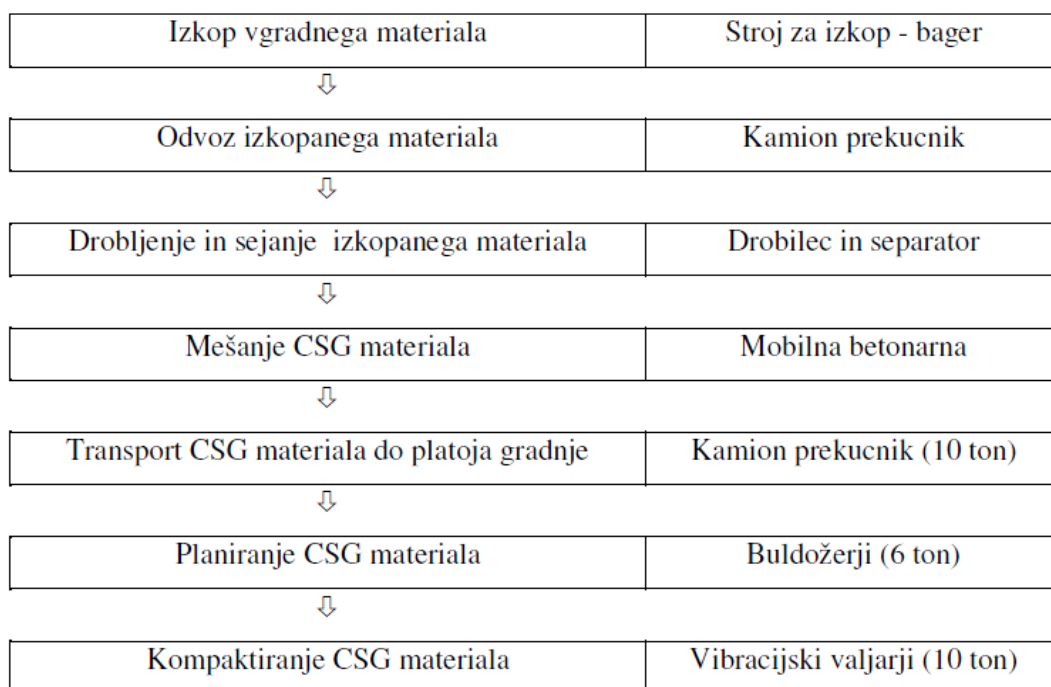
V primerjavi z RCC betoni znaša vsebnost cementa v mešanici CSG okrog 40 do 50 odstotkov količine cementa. Dodaja se zelo malo ali skoraj nič dodatkov, kar še dodatno poenostavi in poceni samo gradnjo. Vsebnost vode je 5 do 6,5 odstotkov, odvisno od tega, kolikšna je količina finih agregatov. Največje zrno agregata je omejeno na 80 mm. Debeline plasti vgradnje CSG materiala so lahko 25 cm, 50 cm ali 75 cm. Material se razstira s pomočjo grejderjev ali buldožerjev. Kompaktiranje izvajajo z vibracijski valjarji (podobno kot

pri vgradnji RCC in RCD betonske mešanice). Valja in komprimira se po posameznem sloju, ko je razstiranje vseh plasti v sloju končano. Število prehodov valjarja je odvisno od želene končne stopnje zbitosti betona. V ta namen se pred pričetkom gradnje, ob gradbišču, izvedejo testna polja na katerih se predhodno optimira tehnologija gradnje. Glede na željeno končno trdnost betona, testirajo različne variante: višino sloja kompaktiranja, število prehodov valjarja in frekvenca vibriranja.

Preglednica 3: Specifikacija vgradnje CSG betonske mešanice (Berga, Buil, 2003)

Table 3: Specifications of construction of CSG material (Berga, Buil, 2003)

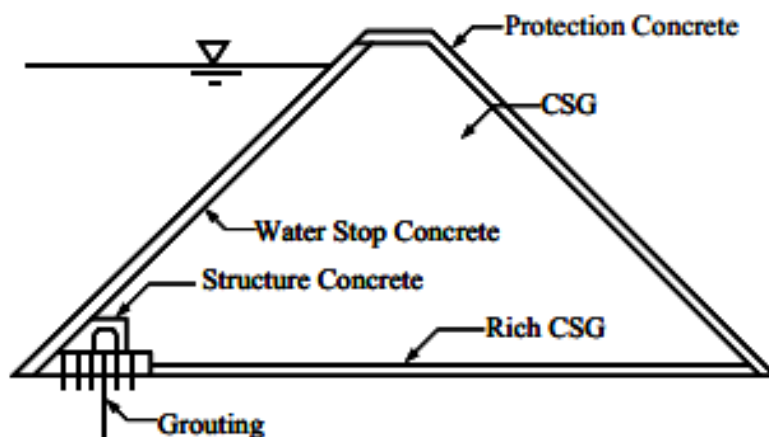
Vsebnost cementa na enoto:	60 kg/m ³
Vsebnost vode:	5 – 6,5 %
Maksimalno zrno agregata:	80 mm
Planiranje:	Dve plasti višine 25 cm
Kompaktiranje:	50 cm debel sloj (2 razplanirani plasti višine 25 cm)
Število prehodov valjarja:	2 prehoda valjanja + 8 prehodov valjanja in vibriranja



Slika 23: Potek priprave in vgradnje CSG betona

Picture 23: The preparation flow and construction flow of CSG concrete

CSG pregrade (slika 24) po zasnovi predstavljajo popolnoma novo družino pregrad, ki združujejo dobre lastnosti, po vgrajenem materialu, RCC/RCD betonskih pregrad in po načinu gradnje, nasutih (skalometnih) pregrad. Prednosti so hitra gradnja, velika stopnja izkoriščenost materiala z lokalnimi nahajališči, visoka odpornost na potresne obtežbe in možnost temeljenja tudi na slabi temeljni podlagi. CSG pregrada je v zasnovi trapezne oblike, podobno kot nasute pregrade, vendar z večjim nagibom brežin (od 1:0,8~1,0). Običajno so brežine zaščitene z betonsko oblogo, ki ščiti telo pregrade pred atmosferskimi pojavi (padavine, zmrzovanje, osončenje, ...) in varuje pred erozijskimi procesi pri prelivanju. Oblika in blag naklon pomembno vplivata na varnost in stabilnost pregrade (odpornost na potres).



Slika 24: Trapezna CSG pregrada (Nagayama, Jikan, 2008)

Slika 24: Trapezoid-shaped CSG dam (Nagayama, Jikan, 2008)

3.1.4 Primeri uporabe valjanih betonov v svetu

RCC valjani beton se je v obliki betonskih pregrad izkazal kot pravilna rešitev tudi v primeru zaustavljanja piroklastičnih in drobirskih tokov. Primer je opisan v strokovnem članku ministrstva za okolje, infrastrukturo in transport, regije Kyushu na Japonskem (Unzen restoration project office, 2007). Gora Unzen na otoku Kyushu je območje, posejano z veliko vulkani. To območje je v preteklosti velikokrat prizadelo več drobirskih tokov, katerih moč in hitrost sta izjemno velika. Posledice so bile katastrofalne, z veliko povzročene škode na celotni infrastrukturi, objektih in na žalost tudi s smrtnimi žrtvami. Zato je bilo potrebno za njihovo zaustavitev v prihodnosti uporabiti tak material in tehniko gradnje, ki bi bila hitra in

učinkovita, kar na podlagi že opisanega, RCC gradbena metoda in beton vsekakor sta. Tako so za gradnjo RCC zaustavitvenih pregrad drobirskih tokov uporabljali materiale, ki so se nahajali v okolici gradbišča in na samem gradbišču, kajti teh je bilo na razpolago ogromno. Količine in razmerja vhodnih materialov, ki so se uporabljali v primeru gradnje v Unznu, so prikazana v spodnji preglednici (preglednica 4). Podobna razmerja so standardna in se uporabljajo za vse RCC betonske mešanice.

Preglednica 4: Betonska mešanica RCC metode (Unzen Restoration Project Office, 2007)

Table 4: Specified concrete mixture of RCC method (Unzen Restoration Project Office, 2007)

Enota (kg/m ³)						
Voda	Cement	Fin agregat	Grob agregat			Dodatki
			80 – 40	40 – 20	20 – 5	
87	120	736	543	621	388	0,33

3.1.4.1 Pregrada Lake Tholocco, Alabama (ZDA)

Pregrada Lake Tholocco je zemeljska pregrada in je bila zgrajena leta 1930 s strani ameriške vojske (Timothy, Fares, 2008). Zgrajena je bila v namen treniranja ameriške vojske, tako kot tudi v namen rekreacije. Velike poplave leta 1990 in 1994 so porušile varnostni preliv tako, da je po zadnjih poplavah ostal rezervoar suh kar 6 let. Raziskovali so načine rekonstrukcije in se na koncu odločili za najbolj stroškovno ugodno rešitev za gradnjo stopničastega preliva z RCC valjanim betonom. Poleg glavnega preliva, so postavili še armiranobetonski preliv, ki obratuje ves čas. RCC prelivni del je dolžine 472 m, višine 11 m in z višino stopnic 30 cm. Krona preliva je bila projektirana za prelivanje voda za izredne primere poplav, nastalih zaradi daljšega deževnega obdobja, z maksimalno višino prelivanja 2,0 m. Širina stopnic je bila različna, od 2,4 do 3,7 m, z naklonom dolvodnega dela preliva 6H:1V. Vgrajenega je bilo 19.878 m³ RCC betona, v katerem je bilo maksimalno zrno agregata veliko 38 mm. Vsebina cementa je bila 163 kg/m³ in 30 kg/m³ je bilo elektrofiltrskega pepela. Od končane gradnje je prišlo do prelivanja čez pregrado vsaj dvakrat. Spodnja slika je bila posneta leta 2007 in kaže na odlično stanje pregrade, kar ponovno priča, da je bila odločitev za RCC valjani beton vsekakor pravilna.



Slika 25: Pregrada Lake Tholocco (Timothy, Fares, 2008)

Picture 25: Lake Tholocco dam (Timothy, Fares, 2008)

3.1.4.2 Pregrada Ocoee, Tennessee (ZDA)

Pregrada Ocoee je prva pregrada na svetu, pri kateri je bil uporabljen RCC valjan beton za rekonstrukcijo preliva (zaščita prelivnega polja). Zgrajena je bila leta 1913 in v višino meri 9,1 m (Timothy, Fares, 2008). Pregrada je sestavljena iz dveh delov. Gorvodna polovica pregrade je iz kombinacije lesenega pletiva in skal, drugi, dolvodni del, pa je samo iz skal. Skupno gre za leseni kašni jez. Nekje do leta 1976 je služila svojemu namenu brez večjih poškodb. Po tem letu pa so se čez čas začele pojavljati poškodbe. Kot problematičen del se je izkazalo prelivno polje, ki je utrpelo več poškodb. Lastniki so se odločili za rekonstrukcijo z RCC valjanim betonom. Vgrajenega je bilo 3479 m³ RCC betona v obliki stopničastega prelivnega polja, z maksimalnim zrnom agregata 19 mm in s tlačno trdnostjo 25,9 MPa po 28 dneh. Gradnja je bila končana leta 1980 in od takrat se vsako leto minimalno 80 dni preliva čez njo voda, katero izkoriščajo za turistične namene (rafting). Ker se torej voda preliva kar pogosto, v primerjavi z varnostnimi prelivni katerih obratovanje je redkejše, je dovzetnost za nastanek poškodb večja. Zaradi uporabe tehnologije gradnje z RCC, je tudi prelivni del oblikovan stopničasto, kar prispeva k boljši disipaciji energije. Stopničasto oblikovana drča deluje podobno kot hrapava drča, kjer se del energije izniči že na samem prehodu preko drče in preostanek v utrjenem podslapju pod pregrado. Disipacija energije je na vrhu, bližje kroni preliva pregrade manjša in se dolvodno povečuje. Zato je tam, kjer je energija večja, tudi večja erozija površin in opazili so, da je voda odnesla robne dele, ki niso bili dovolj utrjeni (značilno za RCC stopničaste prelive). Govorimo o milimetrih odnesenega dela, zato temu

tudi niso dajali večjih poudarkov. Kljub tem manjšim težavam, pregrada deluje normalno naprej, brez večjih težav in kot taka se je rešitev glede rekonstrukcije preliva z RCC valjanim betonom izkazala za pravilno.



Slika 26: Pregrada Ocoee (Timothy, Fares, 2008)

Picture 26: Ocoee dam (Timothy, Fares, 2008)

3.1.4.3 Pregrada Nagashima (Japonska)

Pregrada Nagashima stoji na reki Oi. Gorvodno od pregrade se nahaja manjša pregrada z istim imenom, katere primarna funkcija je zadrževanje plavin (prodna pregrada). Le ta ščiti akumulacijo pred prevelikimi količinami peska in mulja, kar bi posledično pomenilo zmanjšanje visokovodnega volumna akumulacije in večjo nevarnost za prelitje v primeru visokih voda v poplavnih obdobjih. Telo pregrade je sestavljeno iz CSG mešanice. Material za pripravo mešanice so pridobili iz struge reke Oi. Sistem razvrščanja izkopanega materiala ni bil načrtovan. Ker pa je bila raznolikost materiala zelo velika, so se odločili za predhodno separiranje materiala, kar ni običajno pri uporabi tehnologije CSG. Uporabljeni so bili agregati manjše zrnivosti. Načrtovana teža na enoto volumna je bila predvidena 2200 kg/m^3 , kar je vsebovalo 100 kg cementa in 100 kg peska. Proizvodnja CSG materiala je potekala na neprekinjenem mešalnem traku, od koder je bil material natovorjen na tovornjake in prepeljan na gradbišče. Postopek vgradnje CSG materiala, ki je sledil, pa je enak postopku vgradnje RCC ali RCD materiala. Skratka, vključijo se buldožerji in vibracijski valjarji, ki material razstirajo in ga utrdijo do primerne trdnosti (Nagayama, Jikan, 2008).



Slika 27: Pregrada Nagashima (Nagayama, Jikan, 2008)

Picture 27: Nagashima dam (Nagayama, Jikan, 2008)

3.2 Predlagana rešitev rekonstrukcije

Podroben opis vrst valjanega betona v namen gradnje novih pregrad in rekonstrukcij obstoječih, je potekal že v prejšnjem poglavju. Vsem trem opisanim različicam valjanih betonov je skupna kakovost, hitrost gradnje in ugodna cena. Za rekonstrukcijo prelivnega polja na zemeljski pregradi Drtijaščica, smo se odločili za uporabo klasičnega RCC valjanega betona in njegove tehnike vgrajevanja, saj je najbolj množično uporabljen beton in se je do zdaj povsod drugod izkazal tudi kot dobra rešitev. Obstoječe prelivno polje je potrebno rekonstruirati tako, da bomo v celoti odstranili teme preliva, kameno-betonsko oblogo z zasekom vzdolž celotne dolžine prelivnega polja. Na njegovem mestu bomo zgradili nov objekt, betonsko prelivno polje s stopničasto oblikovano prelivno drčo. Ta je oblikovana stopničasto, prvič, zaradi načina izvedbe, in drugič, zaradi boljše disipacije energije pri prelivanju. Širina prelivnega polja ostaja nespremenjena. Vzdolž prelivnega polja bomo v celoti nadvišali bočna oporna zidova. Prelivna drča se v izteku zaključuje v utrjeno betonsko podslapje, katerega sestavni del bo tudi nizek prag na koncu podslapja. Primer sanacije podobnega primera je prikazan na sliki 28 (Chanson, 2009). V zaključku bomo predstavili še priključek izteka iz podslapja na strugo reke Drtijaščice.



Slika 28: Primer RCC prelivnega polja zemeljske pregrade Salado Creek (Chanson, 2009)

Picture 28: Example of RCC spillway at Salado Creek dam (Chanson, 2009)

Obstaja več razlogov za priljubljenost uporabe RCC valjanega betona med projektanti in investitorji. Kot najpomembnejše, do sedaj že večkrat omenjene lastnosti, so vsekakor preprostost, hitrost gradnje, trdnost in stabilnost strukture ter ekonomska prednost pred drugimi sorodnimi metodami gradnje. Ker ti objekti, varnostni preliivi, delujejo neredno, t.j. v času večjih poplav, so informacije o njihovi obstojnosti na daljši rok še dokaj neraziskane. Vsi do sedaj izvedeni projekti pa dokazujejo, da se valjani beton izvrstno obnese za namen zaščite na prelivnih poljih. Prav tako je njegova odpornost na obrabo primerljiva z običajnimi betoni večje trdnosti. Ker so prelivne drče izvedene v stopničasti obliki, je disipacija energije že med prelivanjem večja, kot bi bila v primeru izvedbe drče z običajnim betonom (gladka površina) in posledično je praviloma tudi velikost podslapja manjša. V nadaljevanju tako sledi opis uporabe RCC valjanega betona v namen rekonstrukcije preliiva in podslapja pregrade Drtijščica.

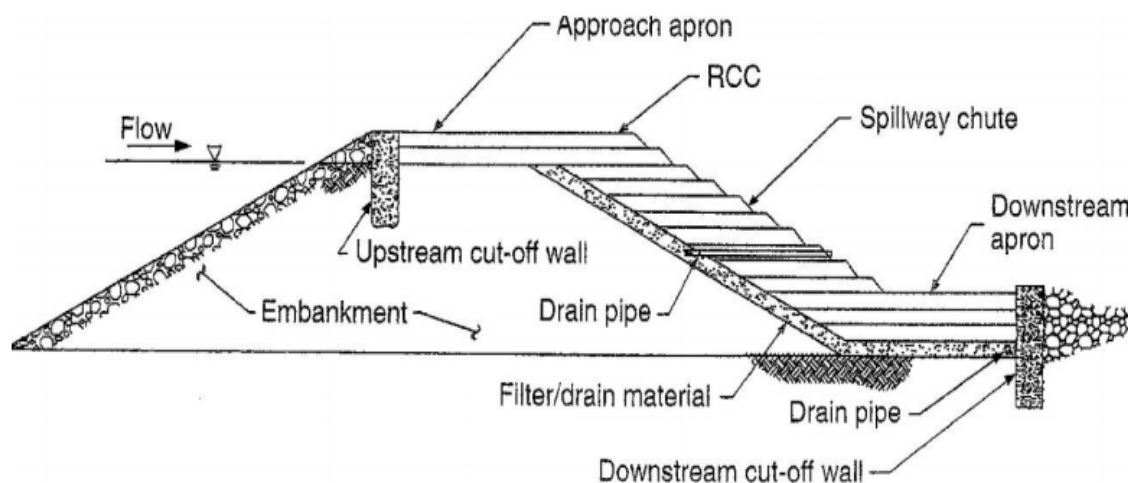
3.2.1 Uporaba RCC valjanega betona za rekonstrukcijo prelivnega dela pregrade Drtijščica

Pri rekonstrukciji prelivnega polja bomo upoštevali naslednja izhodišča:

- (1) ker na pregradi in brežinah ni opaziti kakršnihkoli večjih deformacij ali posedkov, predpostavljamo, da je telo pregrade dobro kompaktirano in da je dograditev prelivne drče iz valjanega betona primerna in izvedljiva;

- (2) gabariti prelivnega dela se v celoti ohranjajo glede na zatečeno stanje, pri hidravličnih preračunih smo privzeli vrednosti iz obstoječe projektne dokumentacije;
- (3) v zasnovi smo predpostavili, da beton pripravimo v obratu – o utemeljenosti uporabe materiala iz izkopa in ekonomičnosti postavitve mobilne betonarne na lokaciji, zaradi pomanjkanja potrebnih informacij, posebej nismo razpravljali;
- (4) rekonstrukcijo smo zasnovali tako, da smo poskušali stroške izvedbe zmanjšati na sprejemljivo raven po izkušnjah na osnovi primerov iz literature.

Tipičen prerez RCC zaščite preлива zemeljske pregrade je prikazan na sliki 29 (Timothy, Fares, 2008). Sestavljen je iz betonske stopničaste prelivne drče s stranskima opornima zidovima, krone preлива, drenažnega sistema, podslapja, oziroma umirjevalnega bazena, ter zgornje in spodnje nepropustne zavese (zidu). Ta prerez bo služil kot ideja in model za dimenzioniranje rekonstrukcije prelivnega polja pregrade Drtiščica.



Slika 29: Tipičen prerez RCC zaščite prelivnega polja (Timothy, Fares, 2008)

Picture 29: Typically cross section of overtopping protection (Timothy, Fares, 2008)

Gradnja prelivne drče z RCC valjanim betonom se lahko izvede v stopničasti obliki ali z gladko površino. Stopničast tip prelivne drče izhaja iz tehnologije gradnje. Vsak sloj posebej enostransko opažimo (na dolvodni strani), kar po odstranitvi opažev predstavlja stopnico. Z ustrezno oblikovanimi elementi, ali dobetoniranjem, bi lahko zgradili tudi gladko prelivno drčo. Za stopničasto drčo smo se odločili prvič, zaradi boljše disipacije in drugič, zaradi enostavnejše gradnje. V zadnjih desetletjih so stopničaste prelivne drče postale zelo pogosti

način za obvladovanje prelivanja preko pregrad. Zanimanje za njih je povzročil razvoj novih materialov, kot so valjani betoni in dejstvo, da ugodno vplivajo na disipacijo energije. Stopnje, oziroma stopnice, se prav tako uporabljajo za (Chanson, 1994):

- disipacijo energije v meteornih kanalih na strmih pobočjih (erozija meteornih tokov) in za regulacijo rečnih kanalov (Hong Kong otok);
- disipacijo energije v jaškastih prelivih (Norveška);
- za čiščenje voda, kajti stopnje, oziroma stopnice, se lahko zgradijo v rekah in potokih ter pripomorejo k aeraciji vode ter s tem k njenemu čiščenju;
- ustavljanje drobirskih tokov, pridejo prav tako v poštev objekti v obliki stopenj. V gorskih območjih imajo lahko podrtja drevesa katastrofalne posledice. Kopičenje le-teh v strugi lahko zajezi reko ali potok tako močno, da pri poružitvi jezua iz nanošenih dreves, pride do hudourniškega vala (poplavnega vala), ki za sabo nosi veliko količino drevja, skal, kamenja in blata (drobirski tok).

Tako smo za preliv pregrade Drtijščice izbrali stopničasto prelivno drčo. Stopnice bodo višine 60 cm. Ta višina pomeni, da bo ena stopnica sestavljena iz dveh plasti višine 30 cm. Kot navaja inženir Chanson v svoji knjigi o hidravličnem dimenzioniranju stopničastih kanalov in prelivnih polj (Chanson, 1994), je bolje, da so stopnice višje, kot nižje. S tem se izognemo možnosti uporabe teh stopnic v nepravilne namene, kot so plezanje po stopnicah, vožnja s kolesi in motornimi kolesi. Raziskave so tudi pokazale, da so višje stopnice hidravlično ugodnejše, kot nižje. Pri višjih pride do večje disipacije energije. Tako je priporočljivo, da višina stopnic stopničastega preliva naj ne bo manjša od 60 cm (Minor, Boes, 2000). Širina stopnic je omejena navzdol s delovno širino strojev. Glede na to, da je delovna širina večjih vibracijskih strojev enaka 1,5 m do 3,0 m, širina stopnic naj ne bi bila manjša od 1,5 m.

3.2.2 Hidravlično dimenzioniranje preliva in podslapja

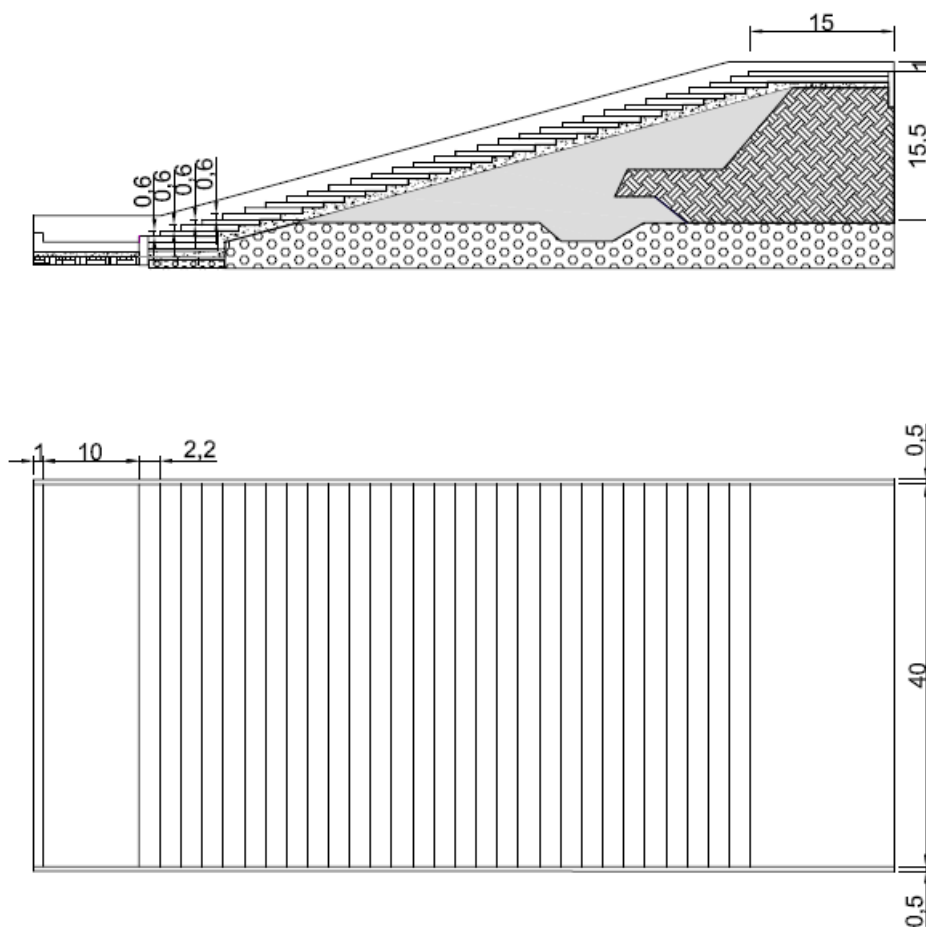
Izbrane dimenzije stopničastega preliva:

$$h_{stop.} = 0,60m$$

$$\check{s}_{stop.} = 6,00m$$

$$l_{stop.} = 38,00m$$

$$\check{s}_{var.nost.zid} = 0,50m$$



Slika 30: Skica prereza in tlorisa stopničastega prelivnega polja pregrade Drtijaščica

Picture 30: Section and ground plan of stepped spillway of Drtijaščica dam

Vhodne podatke za izračun dimenzij podslapja sestavljajo pretok deset tisočletne vode Q_{10000} , ki smo ga pridobili iz projektne dokumentacije, višina pregrade znaša H in širina preliva b . Glede na izračunano hitrost v_1 in Froudovo število, se izračuna višina spodnje vode. Če dobimo Froudovo število manjše od 1, pomeni, da je tok miren in disipacija energije ni potrebna. Če se po določitvi prvega podslapja izkaže, da je nivo spodnje vode še vedno manjši od y_2 , je potrebno dimenzionirati še dodatno ureditev (prag, ...), s katero dosežemo končno disipacijo energije.

$$Q_{10000} = 108,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 40,00 \text{ m}$$

$$H = 15,50 \text{ m}$$

$$H_p = 1,15 \text{ m}$$

Kjer je:

Q_{10000} ... pretok deset tisočletne vode Q_{10000} [m/s],

b ... širina preliva [m],

H ... višina pregrade [m],

H_p ... globina (višina) prelivnega curka [m].

$$E_0 = \Delta h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 \quad (1)$$

$$E_0 = \Sigma \xi \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1$$

$$E_0 = \frac{v_1^2}{2g} (1 + \Sigma \xi) + y_1; \quad v_1 = \frac{q}{y_1}$$

$$E_0 - y_1 = \frac{q^2}{2gy_1^2} (1 + \Sigma \xi)$$

$$v_1^2 = \frac{2g}{1 + \Sigma \xi} (E_0 - y_1)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma \xi}} \quad (2)$$

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma \xi}} \sqrt{2g(E_0 - y_1)}$$

$$v_1 = \varphi \sqrt{2g(E_0 - y_1)} \quad (3)$$

$$y_1 = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - y_1)}}$$

Kjer je:

E_0 ... specifična energija prereza pred pregrado,

q ... pretok za tekoči meter širine preliva [m²/s]

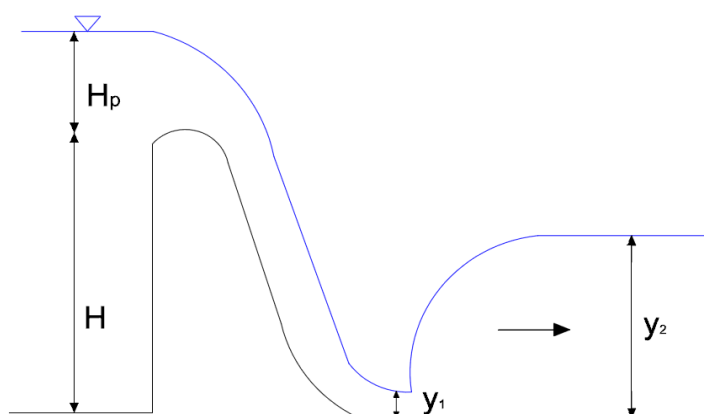
g ... težnostni pospešek [9,81 m/s²]

φ ... koeficient hitrosti [-]

v_1 ... hitrost ob vznožju pregrade – vtočna hitrost [m/s]

y_1 ... globine vode ob vznožju pregrade [m]

Z (1) je označena enačba hidrostatične porazdelitve vodnih tlakov. Le-ta izhaja iz Bernoullijevih enačb za dva preseka: presek pred prelivom pregrade in presek na podslapju. Enačba (2) je enačba koeficienta hitrosti φ . Enačba (3) za v_1 predstavlja hitrost ob vznožju pregrade – na koncu preliva, kjer je hitrost največja.



Slika 31: Vodni skok

Picture 31: Hydraulic jump

$$y_1 = 0$$

$$y_1 = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - y_1)}} = \frac{q}{\varphi \sqrt{2gE_0}}$$

$$q = \frac{Q_{10000}}{b} = \frac{108 \text{ m}^3}{40 \text{ ms}} = 2,70 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$E_0 = H + H_p = 15,5 \text{ m} + 1,15 \text{ m} = 16,65 \text{ m}$$

Koeficient hitrosti za stopničast preliv je manjši kot za gladko drčo, kjer znaša okrog 0,90. Izbrali smo $\varphi = 0,57$ (Shvainshtein, 1999).

$$y_1 = \frac{2,70m^2s}{0,57\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 16,65m^2} \cdot s} = 0,262m$$

$$v_1 = \varphi\sqrt{2g(E_0 - y_1)} = 0,57 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (16,65 - 0,262)} \frac{m^2}{s^2} = 10,22 \frac{m}{s}$$

$$F_r = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{10,22ms}{\sqrt{9,81 \cdot 0,262ms}} = 6,375 \quad (4)$$

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8F_r^2} - 1) = \frac{0,262m}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot 6,375^2} - 1) = 2,235m$$

$$y_s = 0m \quad \Rightarrow \quad y_2 > y_s \quad (5)$$

Kjer je:

F_r ... Froudovo število [-],

y_2 ... konjugirana globina vode [m],

y_s ... globina spodnje vode [m].

Če je Froudovo število (4) na intervalu $4,5 \leq Fr < 9$, potem gre za stabilen vodni skok. Pri takem vodnem skoku je omogočena optimalna pretvorba energije, t.j. ureditev podslapja. S tem, da je y_2 večji od globine spodnje vode, se vodni skok formira dolvodno od stopničastega preliva in gre za odgnani vodni skok. Kot tak, je odgnani vodni skok neprimeren za ureditev struge in ga je potrebno formirati ob vznožju preliva (slika 32). To lahko uredimo s poglobitvijo podslapja ali s postavitvijo širokega praga.



Slika 32: Stabilen vodni skok ob vznožju pregrade

Picture 32: Stable hydraulic jump at the foot of the dam

$$h_{pod} = \sigma y_2 = 1,05 \cdot 2,235m = 2,347m \quad (6)$$

$$h_{pr} = \left(\frac{q}{m_p \sqrt{2g}} \right)^{2/3} - \frac{v_{pod}^2}{2g} \quad (7)$$

$$m_p = 0,34 - 0,38 \Rightarrow m_p = 0,35$$

$$v_{pod} = \frac{q}{h_{pod}} = \frac{2,70m^2}{2,347ms} = 1,15 \frac{m}{s}$$

$$h_{pr} = \left(\frac{q}{m_p \sqrt{2g}} \right)^{2/3} - \frac{v_{pod}^2}{2g} = \left(\frac{2,70}{0,35 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} m - \frac{1,15^2}{2 \cdot 9,81} m = 1,38m$$

$$p = h_{pod} - h_{pr} = 2,347m - 1,38m = 0,97m \cong 1,00m \quad (8)$$

Kjer je:

h_{pod} ... globina (višina) vode v podslapju (pred pragom) [m],

h_{pr} ... globina (višina) vode nad pragom [m],

m_p ... koeficient preliva [m]

v_{pod} ... hitrost vode podslapja (pred pragom) [m/s],

p ... višina širokega praga

V enačbi (6) za izračun višine podslapja h_{pod} , vrednost $\sigma = 1,05$ zagotavlja, da je vodni skok potopljen. Sledi izračun višine prelivanja h_{pr} po enačbi (7). Iz obeh izračunanih višin izračunamo višino praga (8). Vrednost višine praga tako znaša 0,97 m. Preveriti je še potrebno, če je disipacija energije zaradi praga zadostna. V kolikor ni, je potrebna dodatna ureditev podslapja.

$$\begin{aligned}y_{1,pod} &= 0 \\y_{1,pod} &= \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(E_{0,pod} - y_1)}} = \frac{q}{\varphi\sqrt{2gE_{0,pod}}} = \frac{2,70}{0,57\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,414}} m = 0,688m \\q &= \frac{Q_{10000}}{b} = \frac{108m^3}{40ms} = 2,70 \frac{m^2}{s} \\E_{0,pod} &= h_{pod} + \frac{v_{pod}^2}{2g} = 2,347m + \frac{1,15^2}{2 \cdot 9,81} m = 2,414m \\v_{2,pod} &= \varphi\sqrt{2g(E_{0,pod} - y_{1,pod})} = 0,57 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81(2,414 - 0,688)} \frac{m}{s} = 3,32 \frac{m}{s} \\F_r &= \frac{v_{2,pod}}{\sqrt{gy_{1,pod}}} = \frac{3,32ms}{\sqrt{9,81 \cdot 0,688ms}} = 1,28 \\y_{2,pod} &= \frac{y_{1,pod}}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_r^2} - 1 \right) = \frac{0,688m}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \cdot 1,28^2} - 1 \right) = 0,948m \\y_s = 0m &\Rightarrow y_{2,pod} \succ y_s\end{aligned} \tag{9}$$

Kjer je:

$E_{0,pod}$... specifična energija prereza podslapja (pred pragom),

q ... pretok za tekoči meter širine preлива [m²/s],

g ... težnostni pospešek [9,81 m/s²],

φ ... koeficient hitrosti [-],

F_r ... Froudovo število [-],

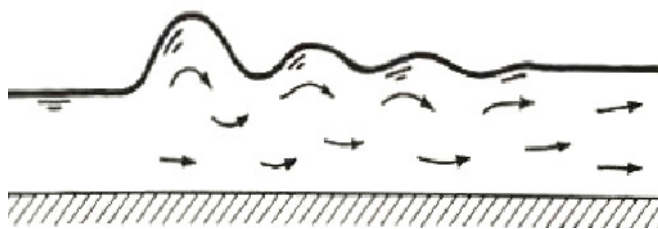
$y_{1,pod}$... globine vode na začetku prelivanja preko širokega pragu [m],

$v_{1,pod}$... hitrost vode na začetku prelivanja preko širokega pragu [m/s],

$y_{2,pod}$... globine vode za širokim pragom [m],

y_s ... globina spodnje vode [m].

Izračun Froudovega števila (9) je pokazal, da je to število enako 1,28. To pomeni, da leži na intervalu $1,0 \leq Fr < 1,7$ in gre za valovit vodni skok (slika 33). Tak vodni skok nima krovne vala (pretvorba energije je slaba) in je za njegovo ureditev potrebna le utrditev struge (kamnometna oziroma skalometna utrditev struge podslapja dolvodno od širokega pragu). Določiti je še potrebno dolžino podslapja (10).

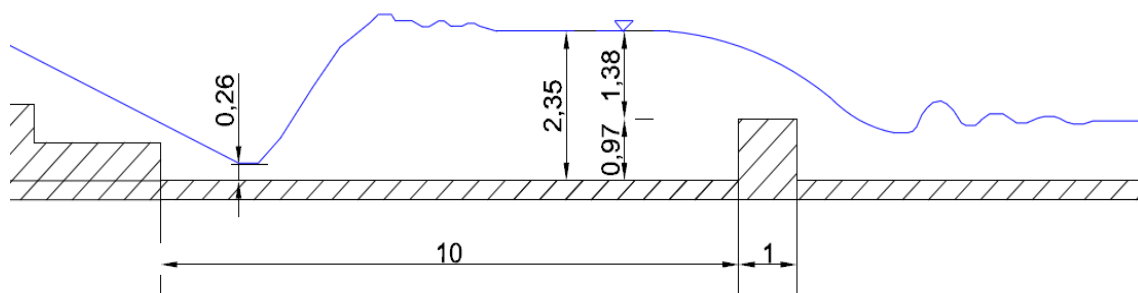


Slika 33: Valovit vodni skok za širokim pragom

Picture 33: Wavy hydraulic jump behind wide threshold

$$L_p = 4,5 \div 5,0 \cdot (y_2 - y_1) \quad (10)$$

$$L_p = 5,0 \cdot (2,235\text{m} - 0,262\text{m}) = 9,87\text{m} \approx 10,00\text{m}$$



Slika 34: Skica podslapja preлива pregrade

Picture 34: Spillways stilling basin

Ureditev podslapja preлива pregrade je prikazana na sliki 34. Račun podslapja je bil narejen pod predpostavko, da je nivo spodnje vode enak nič.

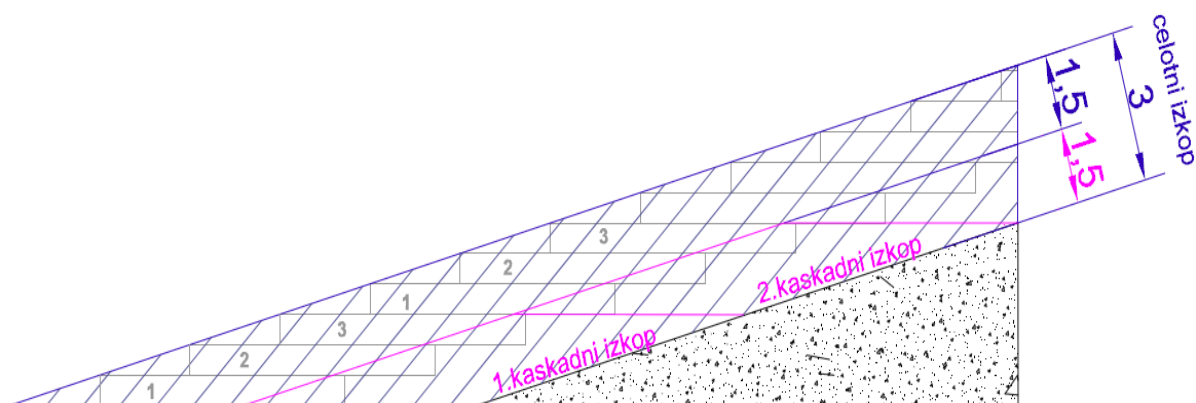
3.2.3 Opis tehnologije rekonstrukcije

3.2.3.1 Rekonstrukcija prelivne drče in krone preлива

Tehnologija izvajanja prelivnega polja, oziroma drče, je zasnovana kot kontinuiren in ponavljajoč se proces. Tehnološko gledano je potrebno samo gradnjo celotnega prelivnega

objekta dobro premisliti. Tako je potrebno premisliti, ali je bolj smotrno zgraditi najprej bočne zidove preлива in nato prelivni del ali obratno, ali vršimo izkop po kaskadah ali kot enkratni izkop in kako organizirati ter speljati odvoz in dovoz materiala. Dobra priprava dela pomembno vpliva na kakovost zgrajenega objekta in stroške gradnje.

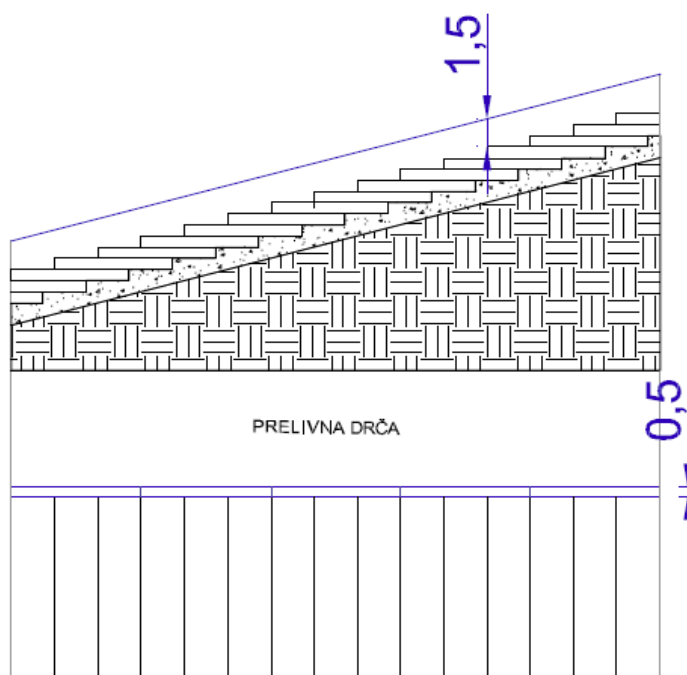
Ker gre za stopničasto prelivno polje je potek gradnje za vsako stopnico enak. Proces gradnje bomo začeli z odstranitvijo obstoječega prelivnega polja v nožici pregrade oz. v izteku prelivne drče. Odstranili bomo obstoječi skalomet poraščen s travno rušo in del materiala iz pregradnega telesa pod skalometom ter kanalete. Možnosti izkopa sta lahko dve. Pri prvi izkop izvedemo v celoti vzdolž prelivnega polja, medtem ko pri drugi varianti izkopa izkop izvajamo postopoma, za vsako stopnjo posebej, sukcesivno z napredovanjem gradnje betonske utrditve prelivnega polja. Tako se z vsakim naslednjim izkopom ustvarja stopničasta oblika brežine, ki dodatno pripomore k boljšemu in stabilnejšemu stiku med betonskim delom utrditve prelivnega polja in telesom pregrade. Uporabili bomo kombinacijo obeh. Izkop skalometa in kanalet ter dela zemljine bomo izvedli v celotni širini in dolžini obstoječega prelivnega polja. Celotna globina izkopa je predvidena na 3 m, saj želimo, da je ravnina novega prelivnega polja enaka ravnini obstoječega. Globina odstranitve na prelivnem delu prve faze izkopa bo vsaj 1,5 m. Potek izkopa se prične ob vznožju drče preлива pregrade in napreduje proti temenu preлива. Ob straneh bomo za gradnjo bočnih zidov naredili globlji izkop za temeljenje konstrukcije, ki jo za boljšo stabilnost dogradimo z betonom prelivnega dela. Naklon celotnega izkopa bo enak obstoječemu naklonu. Pred gradnjo prve stopnje bomo izvedli usek v telo pregrade (nastanek stopničaste oblike brežine). Ker je predvidena višina ene stopnje enaka 60 cm, mora biti izkop za usek večji od te višine. Količina izkopanega materiala bo približno 7000 m³. Izkopani material bodo odvažali kamioni prekucniki na trajno deponijo.



Slika 35: Detajl izkopa

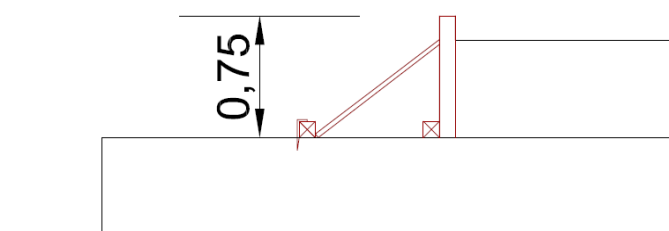
Picture 35: Detail of excavation

Pred gradnjo posamezne stopnice stopničastega prelivnega polja, je predvidena gradnja bočnih opornih zidov. Gradnja bočnih opornih zidov bo potekala odsekoma, skladno z napredovanjem stopenjske gradnje drče prelivnega polja. Pred betoniranjem in armiranjem bo potrebno postaviti opaže, ki so postavljeni vzporedno z brežino, na nivoju predvidenih dimenzij zidov. Bočni oporni zid je temeljen na nivoju in ravnini posameznega sloja valjanega betona, oziroma stopnice. Zato ima v vzdolžni smeri preko prelivnega polja stopničasto obliko. Posamezni odsek bočnega zidu je širine 6 m, to pomeni, da sega v vplivno območje 3 stopnic. Višina zidu bo sledila padcu prelivne drče, dober 1 m nad ravnino prelivne drče, ki poteka po namišljeni liniji po robu stopnic na prelivni drči. Širina zidu znaša 50 cm, višina zidu pa je odvisna glede na položaj v vzdolžni smeri glede na posamezno stopnico. Bočna zidova bosta zgrajena iz armiranega betona C25/30. Po odstranitvi opaža bočnih zidov na posameznem odseku sledi gradnja stopničastega dela prelivnega polja. Izkopu sledi gradnja posamezne stopnje nove prelivne drče. Ker želimo, da je čelni del stopenj lepo oblikovan, bomo uporabili sistemske opaže (Noe opaži, Doka, ipd.). Višina opažev bo 75 cm, kar pomeni, da bodo višji od višine stopenj. Izvedeni so kot enostranski opaž z opiranjem in ustrezno sidrani s pomočjo lesene bankine, pulca in kovinskega sidra (slika 37).



Slika 36: Detajl bočnih zidov (modra barva)

Picture 36: Detail of the side walls (blue colour)



Slika 37: Opaženje stopenj preliva

Picture 37: Panneling of spillway's step

Opaženju sledi dovoz betonske mešanice s kamioni prekucniki in transportom na višje lege s pomočjo mobilnega transportnega traku. Buldožerji razstrejo material po površini. Planiranje materiala z buldožerjem pa lahko nadomestimo s finišerjem. To je stroj, ki se običajno uporablja za gradnjo vozišč (asfaltnih, betonskih). V primeru, da bi bila dolžina posameznega sloja daljša, bi lahko uporabili finišer s delovno širino enako 3,2 m, kar bi pomenilo za vgrajevanje na območju širine 6 m, da je v tem primeru gradnja izvedljiva. Prednost je, da je z uporabo finišerjev vgradnja posameznih slojev hitrejša, kar skrajša čas gradnje. Uporaba

finišerja pa je v našem primeru neracionalna rešitev, prvič zaradi premajhnega obsega del in sorazmerno dolgih tehnoloških premorov med vgradnjo posameznih slojev, in drugič, zaradi neugodne sestave betonske mešanice, ki vsebuje frakcije večjega premera, kar posledično pomeni večje obremenitve in obrabe opreme. Zato bomo pri razstiranju raje uporabili buldožerje. Razstiranju sledi valjanje in vibriranje posamezne plasti z vibracijskimi valjarji. Dostop valjarja do roba bočnih stebrov in v območje čelnih opažev ne bo mogoč. Tako bo na teh mestih komprimiranje plasti izvedeno s pomočjo ročnih vibro plošč. Po končanem komprimiranju predhodne plasti, se postopek ponovi z razstiranjem in komprimiranjem nove plasti, dokler ni dosežena zelena višina sloja. Predvidena debelina sloja znaša 60 cm, kar pomeni vgrajevanje najmanj v dveh plasteh po 30 cm. Po zaključku predhodnega sloja se nadaljuje postopek dela po enakem zaporedju na višjem sloju, za vsako 4. stopnico najprej izvedemo izkop in betoniramo bočna zidova, sledi izkop zaseka in izvedba novega sloja. Pred izvedbo novega sloje je pomembno še to, da predhodno že strjeno plast ustrezno pripravimo za gradnjo naslednjega sloja. To storimo z žlebljanjem površine in nanosom cementne ali polimerne suspenzije. Zaradi tega bo stik med že strjenim in svežim betonom boljši. Celotni postopek se ponavlja do vrha, do temena preлива. Predvidenih je 30 stopnic (stopenj), to pomeni da bo gradnja preлива potekala okrog 2 meseca (v primeru neprimerneга vremena se bo čas gradnje sorazmerno podaljšal).

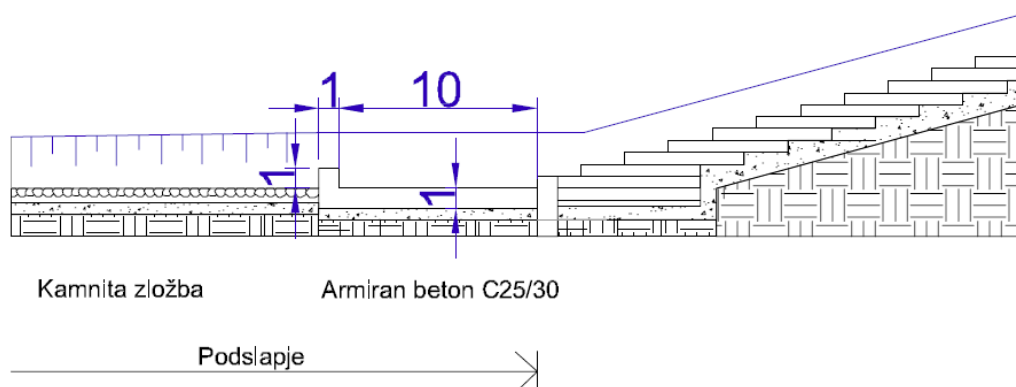
Lokacija in polaganje drenažnega sistema sta pomembna dela projektiranja. Običajno je drenažni sloj nameščen pod betonski del RCC prelivnega polja, da prepreči erozijo materiala iz notranjosti pregrade skozi razpoke ali spoje stikov RCC slojev. Poleg tega ugodno vpliva tudi na nastanek prevelikega poreznega tlaka na betonski RCC preliv. Tako se bo morala pod stopničast del, oziroma pred nanosom le-tega, nasuti in utrditi plast drenažnega materiala v debelini 30 cm, s frakcijo debeline 8 – 16 mm. Običajno gradbena praksa predvideva polaganje geotekstila pod drenažni sloj.

Teme preлива bo daljše in debelejše od spodaj zgrajenih stopenj. Sestavljeno bo iz dveh stopenj višine 60 cm. Tako bo njegova skupna višina enaka 1,20 m. Novi obris preлива bo enak obstoječemu. Preliv se na vrhu, na gorvodni strani, zaključí s tesnilnim zobom. Ta preprečuje pronicanje vode na stiku pregrade in RCC valjanega betona. S tem je preprečeno izpiranje delcev materiala. Le-ta je predviden tudi na spodnjem delu, pred prvo stopnjo, kjer poleg tesnjenja opravlja še funkcijo globokega temelja. Višina posameznega tesnilnega zoba

bo 3 m, širina zgornjega okrog 0,5 m, medtem ko je le-ta pri spodnjem lahko večja (ugodnejše zaradi stabilnosti).

3.2.3.2 Rekonstrukcija podslapja

Podslapje do širokega praga, vključno s pragom, bo izvedeno v armirano betonski izvedbi, s klasičnim vgrajevanjem betona C25/30. Debelina plošče betonskega dela bo vsaj 1 m. Širina podslapja bo znašala 40 m, kar ustreza širini prelivnega polja in se v vsej dolžini 10 m do širokega pragu ne bo spreminjala. Za pragom se bo podslapje izvedlo v obliki trapeznega korita s kamnito zložbo in se zoževalo in nadaljevalo dolvodno do priključitve na rečno strugo reke Drtijaščice (dolžina priključka okrog 50 m). Kamnita zložba se bo izvedla s kamni (skalami) premera okrog 50 cm (»mačje glave«). Le-te se polagajo v beton ena poleg druge, tako da se celotno korito tlakuje z omenjenim materialom. Polaga se ročno (obdelava z zidarsko žlico ali čopičem) ali s pomočjo bagra (lažje dvigovanje in transport do mesta vgradnje). Betonski del podslapja se bo zaključil z betonskim pragom višine 1 m. Podslapje bo v prečni smeri omejeno z bočnima zidovoma. Ta bosta prav tako v armirano-betonski izvedbi. Celotno podslapje bo pod koto terena, drugače bosta bočna zidova gledala visoko iz nivoja tal, kar ne bo lepa in primerna izvedba. Ker je izračunana višina spodnje vode enaka 2,35 m, bomo podslapje poglobili za 2,5 m. Opaževanje, armiranje in vgrajevanje betona so dela, ki se bodo vršila pri gradnji podslapja v opisanem vrstnem redu. Pred opaževanjem je potreben izkop humusa in zemljine do globine 4 m v skupni količini okrog 6500 – 6700 m³. Količina izkopenega materiala je velika zaradi velike poglobitve in velike širine podslapja. Tampon, oziroma drenažni sloj, s predhodnim izravnavanjem terena in polaganjem geotekstila, so pripravljalna dela in zemeljska dela, ki so nujno potrebna pred gradbenim delom del.

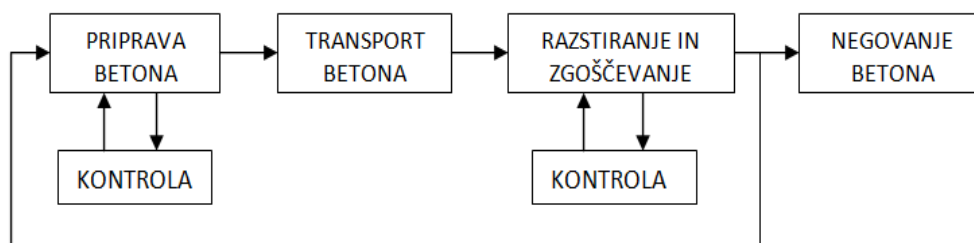


Slika 38: Detajl podslapja

Picture 38: Detail of stilling basin

3.2.4 Proizvodnja, transport in vgrajevanje RCC valjanega betona pri rekonstrukciji preliva na pregradi Drtijiščica

Gradnja novega preliva, v obliki stopničaste prelivne drče iz valjano stisnjene betona, je sestavljena iz več delovnih procesov (slika 39): priprava betona, transport betona, razstiranje in zgoščevanje (komprimiranje), negovanje betona. Kontrola sveže betonske mešanice in uvaljanega betona po komprimiranju, sta tudi del celotnega postopka gradnje celotnega objekta. Gradnja posamezne stopnje (stopnice) preliva je za vsako stopnjo enaka. Ponavlja se od prve stopnje pa do vrha, krone preliva. V nadaljevanju sledi opis vseh štirih prej omenjenih delovnih procesov gradnje novega prelivnega polja.



Slika 39: Shemaski prikaz poteka gradnje novega preliva

Picture 39: Schematic presentation of construction of new spillway

Priprava betona

Priprava betona je možna v obstoječih betonarnah, ki so locirane na oddaljenosti okrog 25 do 30 km od lokacije pregrade, ali z mobilno betonarno na lokaciji. Pri izbiri variante priprave betonske mešanice je potrebna primerjava med stroški prevoza betona iz obstoječih betonarn in stroški postavitve in obratovanja mobilne betonarne na lokaciji. Stroški same priprave betonov na obstoječih bližnjih betonarnah ali na postavljeni mobilni betonarni ob pregradi so približno enaki. Glede na skupno potrebno količino 6000 m^3 betona, je ocenjeno, da je z ekonomskega vidika primernejša varianta s pripravo betona v eni od obstoječih betonarn in prevoz do pregrade s kamioni. Postavitev betonarne ob pregradi bi bila rentabilnejša v primeru možnosti uporabe lokalnih materialov za pripravo betonov. Glede na ocenjene dnevno potrebne količine (okrog 80 do 100 m^3 betonov) dovoz materiala iz bližnjih betonarn ne bo problematičen in ne bo potrebnih posebnih varstvenih ukrepov za čas gradnje. Kontrola kvaliteta betonske mešanice se bo izvajala že med pripravo betona (kontrola razmerja vhodnih surovin).

Transport betona

Izbira načina in postopka transporta betonske mešanice, od betonarne do lokacije vgrajevanja je odvisna od naslednjih pogojev:

- od količine valjanega betona, ki ga je potrebno vgraditi,
- od možnosti dostopa do mesta vgrajevanja,
- od razpoložljive opreme,
- od nabavne cene nove opreme.

Transport betonske mešanice od betonarne do lokacije pregrade bo potekal s kamioni prekucniki s pokritim kesonom (slika 40). Kapaciteto transportnih sredstev bo potrebno uskladiti z opremo za vgrajevanje betona. Glede na potrebno količino betona za en sloj, to je okrog $80 - 100 \text{ m}^3$ betona, bo transport betona potekal s 4 kamioni kapacitete $6 - 10 \text{ m}^3$.



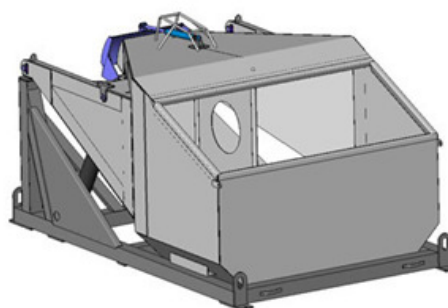
Slika 40: Kamion prekucnik za transport betona do mesta vgradnje

Picture 40: Dump truck for transporting concrete to the construction site

Najprimernejši način transporta na gradbišču je, za obravnavan primer, z mobilnimi transportnimi trakovi (slika 41 a). Le-ti s pomočjo tekočega traku transportirajo betonsko mešanico na višje ležeče mesto vgradnje (za gradnjo višje ležečih stopenj). Da kamionom ni potrebno čakati na raztovarjanje, bo ob vznožju pregrade postavljena prekladalna posoda kapacitete 10 m³ (slika 41 b). Za zaščito pred dežjem in izsuševanjem je primerno zaščititi transportni trak z nadkritjem. Čas izpostavljenosti betona naj bo krajši od 5 – 10 minut.



a)



b)

Slika 41: a) Mobilni transportni trak, b) Prekladna posoda

Picture 41: a) Mobile conveyor system, b) Concrete kibble

Vgrajevanje betona

Vgrajevanje betona se bo izvajalo z razprostiranjem z buldožerji in zgoščevanjem z vibrovaljarji (vibracijski valjarji), kar je najenostavnejši način vgrajevanja (slika 42). Vgrajevanje se bo izvajalo v slojih debeline 30 cm. Ker bodo stopnice višine 60 cm, to pomeni, da se bo postopek vgrajevanja ponovil dvakrat. Razprostiranje betonske mešanice se bo izvajalo z manjšimi buldožerji, v smeri osi pregrade. Z razprostiranjem bo potrebno doseči čim bolj enakomerno površino, ker se samo tako lahko doseže optimalno zgoščevanje slojev, ki bo sledilo po razgrinjanju. Novi sloj betona, se bo zaradi boljše sprejemljivosti s predhodnim slojem, vgrajeval na sloj kontaktne cementne malte, ki se bo nanese neposredno pred razstiranjem naslednjega sloja betona.



Slika 42: Vgradnja RCC valjanega betona

Picture 42: Construction of RCC roller concrete

Da bi dosegli predvideno zgostitev valjanega betona, je najprej potrebno izbrati ustrezen valjar. Parametri, ki se upoštevajo pri izbiri so naslednji:

- mobilnost,
- moč zgoščevanja,
- velikost valjarja,
- frekvenca,
- amplituda,
- delovna hitrost,
- zahtevano vzdrževanje.

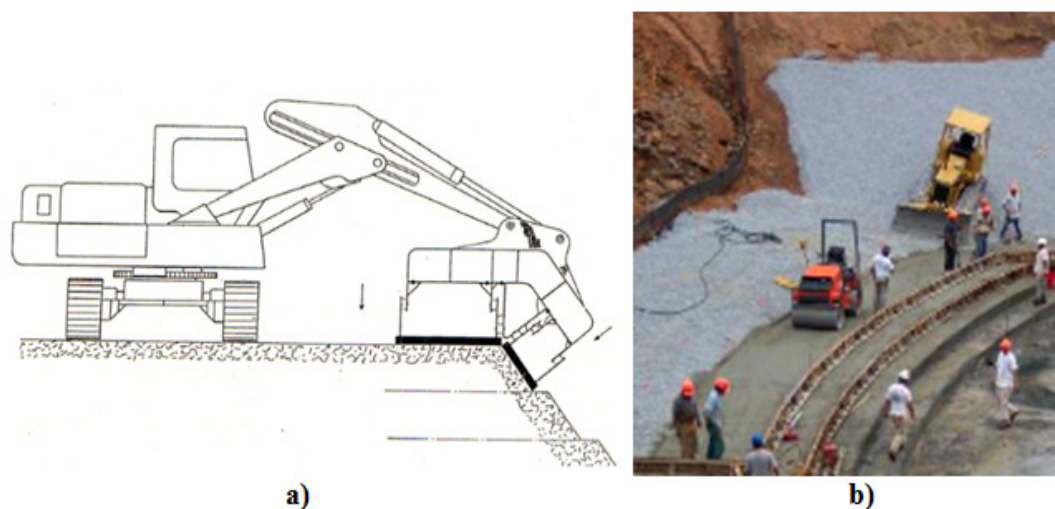
Učinek valjarja je odvisen predvsem od njegove velikosti in hitrosti. Poleg tega na izbiro tipa valjarja vpliva tudi skupna količina betona, ki jo je potrebno vgraditi, obdelovalnost betonske mešanice, debelina slojev, stopnja konsolidacije in prostorske omejitve. Uporabljeni bodo valjarji Amman AV 40-2 teže 3,9 t in AV 95-2 teže 9,5 t (slika 43).



Slika 43: Predvidena strojna oprema: vibracijski valjarji

Picture 43: Intended equipment: Vibratory rollers

Za komprimiranje v bližini roba stopenj in samih čelnih delov stopenj, se uporabljajo drugi načini zgoščevanja betona. Valjarji, težji od 5 ton, običajno ne morejo izvajati zgoščevanja na razdalji manjši od okrog 20 cm od vertikalnega opaža ali druge ovire. Za komprimiranje takih površin bomo uporabili primernejšo opremo, ki je manjša in se lahko upravlja ročno ali s pomočjo razpoložljive pomožne mehanizacije. Vgradnja je možna z uporabo kompaktorjev, nameščenih na bager ali buldožer. Oblikovanje prostih robov je možno s klasičnim opažem (slika 44 b) ali s kompaktorjem z dvema neodvisnima vibro ploščama, od katerih se ena pomika po zgornji površini, druga pa se z naklonom prilagaja bočnemu nagibu sloja (slika 44 a). Frekvenca vibracij plošč se nastavlja ločeno in se prilagaja vgrajevanemu materialu.



Slika 44: Komprimiranje robnih in čelnih delov stopenj
Picture 44: Compaction of lift edges

Najvažnejši faktor za dobro zgoščevanje je dinamična sila, oziroma vibracijski učinek valjarja. Polna zbitost je odvisna od projektirane mešanice. Če je količina veziva večja od minimalno potrebne, se bo pred valjarjem pojavljal specifični val. Če je količina paste manjša ali enaka od volumna potrebnega za zapolnitev vseh por med zrnji agregata, pri zgoščevanju prihaja do medsebojnega kontakta med zrnji in se valovi pred valjarjem ne pojavljajo. Minimalno število prehodov izbranega valjarja, potrebno za doseganje predvidene zbitosti, je odvisno predvsem od betonske mešanice in debeline slojev. Izkušnje kažejo, da na zbitost bolj vpliva učinkovitost razprostiranja, kot zgoščevanja. Za določitev števila minimalnih prehodov se bo pred začetkom vgrajevanja izvedlo testno polje. Testno polje se izvede s konkretno betonsko mešanico in predvideno debelino vgrajevanja. Na ta način se tudi določi razmerje prehodov z in brez dinamičnega delovanja. Predvideno je 3 - 6 prehodov valjarja. V začetku je priporočljivo valjanje brez vibracij z dvema prehodoma. Prekomerno zgoščevanje zmanjšuje gostoto in se mu je potrebno izogibati.

Zgoščevanje je potrebno izvesti takoj po razstiranju, čim prej je mogoče. Še posebno v vročem vremenu je zahteva, da se zgoščevanje izvede v času 10 minut od planiranja, oziroma 40 minut od zamešanja betonske mešanice. Te omejitve se lahko podaljšajo z dodajanjem aditivov za podaljšanje časa vezanja cementa.

Nega betona

Po končanem zgoščevanju je potrebno prosto površino zaščititi in negovati kot klasični beton. To pomeni, da se mora ohranjati v vlažnem stanju ali prekriti, da se prepreči izguba vlage do vgradnje naslednjega sloja (slika 45). Prav tako je potrebno beton zaščititi pred visokimi temperaturami in zmrzovanjem, dokler ne doseže zadostne trdnosti. Če med vgrajevanjem začne rahlo deževati, se postopek lahko nadaljuje pod pogojem, da mehanizacija ne nanaša blata na površino vgrajenega betona, ali da se zaradi povečane vlažnosti ne poškoduje predhodni sloj. Če se opazijo kakršne koli poškodbe ali se material začne lepiti za valje, se mora vgrajevanje takoj prekiniti. Ko se transport betonske mešanice opravlja s transportnimi trakovi brez uporabe mehanizacije na kolesih, ali z neznatnim številom take mehanizacije, se vgrajevanje lahko nadaljuje tudi pri povečani vlažnosti. V takem primeru se postopno nekoliko zmanjša količina vode v mešanici in se nadaljuje z vgrajevanjem tako dolgo, dokler se ne pojavijo možne poškodbe površine kot posledica prevelike vlažnosti. V primeru pojava poškodb se vgrajevanje takoj prekine.



Slika 45: Nega betona po vgradnji

Picture 45: Care of concrete after installation

Če začne deževati takoj po končanem vgrajevanju sloja RCC betona, ni nevarnosti za poškodbe, ker je površina praktično vodonepropustna. V takem primeru je potrebno zagotoviti, da se mehanizacija ne premika po površini sloja. Po prenehanju dežja je potrebno počakati, da se površina naravno posuši in se lahko nadaljuje z vgrajevanjem naslednjega sloja. Blago nagnjene površine so posebej primerne, ker omogočajo odcejanje vode. Poškodbe se lahko pojavijo le v primeru močnega dežja in v takih primerih je potrebna obdelava površine pred vgrajevanjem naslednjega sloja.

Med vgrajevanjem je potrebno že zgoščeni sloj neprestano vlažiti v obliki megle. Za zaščito se lahko uporabi tudi prekrivna folija, s katero se prekrije površina in se s tem prepreči oddajanje vlage iz betona. Zadnji sloj RCC betona je potrebno negovati vsaj 14 dni. Uporaba sredstev v obliki zaščitnih filmov ni primerna zaradi neravnin in zaradi majhne začetne vlage v vgrajenem betonu.

3.2.5 Popis del in terminski plan

Da bo celoten projekt dobil tudi neko okvirno oceno glede stroškov gradnje, smo naredili kratek in okvirni popis del. Prvi popis del je popis za gradnjo preлива do začetka podslapja, t.j. gradnja z RCC valjano stisnjenim betonom (priloga A). Drugi popis del pa je popis za gradnjo podslapja (priloga B). Popisa vsebujeta glavna dela procesa gradnje. Zavedena so predela oziroma pripravljala dela, sledijo zemeljska, betonska in tesarska dela. Rekapitulaciji obeh delov sta prikazani v preglednici 5 in 6. Količine zavedene v popisu so okvirne. Podane cene so aktualne cene na trgu v Sloveniji. Glede na klasični beton, je cena RCC valjano stisnjenega betona za 5 odstotkov višja. Skozi nalogo smo omenjali, da je tak način gradnje stroškovno ugoden v primerjavi z običajnim betonom (armiranim betonom). Vendar, ker v RCC valjano stisnjenem betonu ni armature in ker je število režijskih ur delovne sile majhno (večino del opravlja mehanizacija), je cena nižja. Celotna cena gradnje stopničaste prelivne drče pregrade Drtijaščica z RCC gradbeno metodo je tako ocenjena na 1.000.000,00 evrov. Če temu še dodamo ocenjeno vrednost gradnje podslapja (okrog 300.000,00 evrov), dobimo skupno ocenjeno vrednost celotne rekonstrukcije preлива pregrade Drtijaščica, ki znaša okrog 1.300.000,00 evrov.

Preglednica 5: Rekapitulacija del za gradnjo preлива (prelivna drča in teme preлива) – vgradnja RCC valjano stisnjenega betona

Table 5: Recapitulation of the construction of spillway (spillway chute and spillway crest) – construction of RCC (roller compacted concrete)

REKAPITULACIJA – RCC prelivna drča s krono preлива		
1.	Preddela	79.601,45 eur
2.	Zemeljska dela	26.700,00 eur
3.	Betonska dela	794.380,00 eur
4.	Tesarska dela	30.840,00 eur
	Skupaj:	931.521,45 eur

*Preglednica 6: Rekapitulacija gradnje podslapja preлива**Table 6: Recapitulation of the construction of stilling basin*

REKAPITULACIJA – Podslapje preлива		
1.	Preddela	6.101,45 eur
2.	Zemeljska dela	46.463,00 eur
3.	Betonska dela	210.475,00 eur
4.	Tesarska dela	8.527,50 eur
	Skupaj:	271.566,95 eur

Ceno za komplet vgrajevanja RCC valjano stisnjenega betona po m³, lahko razčlenimo na tri glavne postavke:

- delo – 13 eur,
- mehanizacija – 16 eur,
- material – 86 eur.

Priložena sta tudi terminska plana del za gradnjo prelivnega polja pregrade, t.j. prelivne drče s krono preлива in umirjevalnim bazenom ali podslapjem (priloga C in priloga D). Izdelana sta na podlagi priloženega popisa del s trajanji glede na zahtevnost in obseg del. Tako iz terminskih planov lahko vidimo, da bo gradnja preлива trajala 88 dni, gradnja podslapja pa 63 dni. Skupno bo gradnja končana po 150 dneh, kar je slabega pol leta. Ker so v popisu del zavedena le glavna dela, količine pa ocenjene, predstavlja trajanje del prav tako grobo oceno. Tako nam lahko gradnjo še dodatno podaljšajo višje sile (vremenske razmere).

4 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu je bila obravnavana rekonstrukcija obstoječih evakuacijskih objektov pregrade Drtijiščica. Med problematične so bili vštetni naslednji evakuacijski objekti: podslapje talnega izpusta, preliv in podslapje preлива. Predmet podrobnejše obravnave sta bila slednja. Tako smo največji poudarek dali na rekonstrukcijo celotnega obstoječega prelivnega polja. Dotrajan preliv z neprimerno oblikovanim dolvodnim delom smo nadomestili z novim betonskim prelivnim poljem. Kot primerna in odlična rešitev se je pokazala uporaba valjano stisnjenih betonov. Podrobneje smo obravnavali tri vrste valjano stisnjenih betonov: RCC, RCD in CSG. Gre za puste betone, ki imajo poleg podobne sestave tudi podobno tehniko vgrajevanja. Za namen rekonstrukcije prelivnega polja pregrade Drtijiščica smo izbrali uporabo RCC valjano stisnjenega betona. Gre za enostavno betonsko mešanico, sestavljeno iz treh osnovnih sestavin (agregat, voda in vezivo) z nekaterimi dodatki. Pomembno je, da je mešanica suha (vsebuje malo vode), vendar dovolj vlažna, da je vgrajevanje izvedljivo. Vgrajevanje poteka s pomočjo ustrezne mehanizacije (tovornjaki prekucniki, bagerji, vibracijski valjarji) v zaporednih kaskadah. Tako je sama gradnja prelivne drče z bočnima zidovoma preprosta in se ponavlja do krone preлива, kjer se le-ta zaključi. Dolvodno se je predvidelo novo podslapje. Obstoječe je namreč neprimerno in glede na trenutne razmere je novo nujno potrebno. To bo izvedeno v obliki klasične betonske gradnje z armiranim betonom. Armirano betonsko podslapje s širokim pragom na koncu, se bo nadaljevalo dolvodno v obliki kamnite zložbe vse do rečne struge, v katero se bo prelivna voda tudi izlivala. Celotna zasnova nima ekološkega vložka, ima pa vsekakor vložek, ki ni primerljiv in zanemarljiv, kajti sedanje stanje je za obratovalno varnost in polno funkcionalnost evakuacijskih objektov, neprimerno. Tako smo celotno rekonstrukcijo prelivnega polja vodili v to smer, da smo naredili nasuto pregrado prelivno. To nam je s predvidenim betonskim prelivnim poljem tudi uspelo. Nasuta pregrada Drtijiščica bo tako s predvideno rekonstrukcijo prelivnega polja s pomočjo RCC valjano stisnjenega betona postala prelivna in za svoj obstoj v prihodnje tudi varna.

VIRI

Berga, L., Buil, J. M. 2003. Roller Compacted Concrete Dams: Proceedings of the Fourth International Symposium on Roller Compacted Concrete(Rcc) Dams, Spain: str. 449-473.

<http://books.google.si> (Pridobljeno 20.3.2013.)

Cai, X., Wu, Y., Guo, X., Ming, Y. 2012. Research review of the cement sand and gravel (CSG) dam. Higher education press and springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11709-012-0145-y#page-1>

(Pridobljeno 20.10.2012.)

Chanson, H. 1994. Hydraulic design of stepped cascades, channels, weirs and spillways. Hydraulics and Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Pergamon, Australia: str. 1-43, 163-165.

Chanson, H. 2009. Embankment overflow protection systems and earth dam spillways. Dams: Impacts, Stability and Design. The University of Queensland. Australia: str. 114-120.

http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:185350/chanson_nova09.pdf

(Pridobljeno 20.10.2012.)

Ciuha, D. 2002. Povečanje učinka disipacije viška kinetične energije v pretočnem polju hidrotehničnega objekta. V: Aktualni vodnogospodarski projekti in objekti. 13. Mišičev vodarski dan 2002. Maribor: str. 113-115.

<http://mvd20.com/LETO2002/R17.pdf> (Pridobljeno 14.1.2013.)

Elizondo, K., A. 1995. Roller Compacted Concrete Gravity Dams: str. 1-4.

[http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM_1110-2-](http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM_1110-2-2200_sec/Sections/c-9.pdf)

[2200_sec/Sections/c-9.pdf](http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM_1110-2-2200_sec/Sections/c-9.pdf) (Pridobljeno 20.10.2012.)

Fujisawa, T., Kawasaki, H., Yoshida, H., Yamaguchi, Y. Study of strength and physical properties of cemented materials for CSG design. Hydraulic Research Engineering Group, Public Works Research Institute. Japan: str. 1-2.

<http://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf/reports/yamaguchi%20060617%20q84.pdf>

(Pridobljeno 20.10.2012.)

Fares, Y., Abdo, P.E., Adaska, W. 2008. Portland cement association. Performance review of RCC spillways and overtopping protection: str. 1-16.

http://www.cement.org/water/RCC_Performance.pdf (Pridobljeno 20.10.2012.)

G., P. 2013. Kako varne so vodne pregrade v Sloveniji. Znanost. Delo (23.02.2013, 09:00).

<http://www.delo.si/druzba/znanost/kako-varne-so-vodne-pregrade-v-sloveniji.html>

(Pridobljeno 1.3.2013.)

Humar, N., Kryžanowski, A. 2012. The Drtijaščica case study – restoration of the stilling basin for improvement of hydraulic conditions. Commission Internationale des Grands Barrages. Vingt Quatre Congres, Kyoto: 1-15.

Kimitaka, U. 2005. Roller compacted concrete dam and utilization of fly ash in Japan. Associate Professor, Civil & Environmental Engineering Course, Tokyo Metropolitan University, Japan: str. 31-32.

[http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/3-Vietnam%20Joint%20Seminar%20\(Uji\).pdf](http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/3-Vietnam%20Joint%20Seminar%20(Uji).pdf) (Pridobljeno 20.10.2012.)

Nagataki, S., Fujisawa, T., Kawasaki, H. 2008. State of art of RCD dams in Japan. Anais do 50° Congresso Brasileiro do Concreto – 1st Brazilian International RCC Symposium. Brazil: str. 1-20.

<http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/RCC/Nagataki-State%20of%20art%20of%20RCD%20dams%20in%20Japan.pdf> (Pridobljeno 20.10.2012.)

Nagayama, I., Jikan, S. 2008. 30 Years' of Roller-compacted Concrete Dams in Japan. Public Works Research Institute, Japan: str. 1-14.

<http://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf/reports/nagayama031116.pdf>

(Pridobljeno 20.10.2012.)

Portland Cement Association. Water Resources, Formed Edges.

http://www.cement.org/water/faq_rcc_edge.asp (Pridobljeno 20.03.2012.)

Shvainshtein, A., M. 1999. Stepped spillways and energy dissipation. Journal: Hydrotechnical Construction: str. 275-282.

<http://journalogy.net/Publication/27341418/stepped-spillways-and-energy-dissipation>

(Pridobljeno 20.3.2013.)

The World's First Unmanned Construction of Multilayer Sediment Control Dam Using Sediment Forms. 2007. Unzen Restoration Project Office, Kyushu Regional Construction Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Japan: str. 1-12.

http://www.sabo-int.org/projects/unzen_02.pdf (Pridobljeno 20.11.2012.)

Timothy, D., Fares, A. 2008. Roller-compacted Concrete for Dam Safety Modifications. Anais do 50° Congresso Brasileiro do Concreto – 1st Brazilian International RCC Symposium. Brazil: str. 1-17.

<http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/RCC/Dolen-Abdo-%20USA-RCC%20Dam%20safety%20modifications.pdf> (Pridobljeno 20.10.2012.)

Turk, M., R., Logar, J. 2004. Analiza obnašanja zemeljske pregrade Drtjščica. V: Kryžanowski, A. (ur.), Sedej, A. (ur.). Aktualne teme v pregradnem inženirstvu – uporaba računalniških orodij pri načrtovanju in upravljanju velikih pregrad. 6. posvetovanje SLOCOLD. Ljubljana: str. 61-73.

SEZNAM PRILOG

- PRILOGA A: POPIS DEL ZA GRADNJO PRELIVA (prelivna drča in teme preлива)
– vgradnja RCC valjano stisnjenega betona
- PRILOGA B: POPIS DEL ZA GRADNJO PODSLAPJA PRELIVA
- PRILOGA C: TERMINSKI PLAN IZVEDBE PRELIVA (prelivna drča in teme preлива) PREGRADE DRTIJŠČICA
- PRILOGA D: TERMINSKI PLAN IZVEDBE PODSLAPJA PRELIVA PREGRADE DRTIJŠČICA
- PRILOGA E: PREREZ PREGRADE Z NOVIM PRELIVNIM POLJEM
- PRILOGA F: SITUACIJA

**PRILOGA A: POPIS DEL ZA GRADNJO PRELIVA (prelivna drča in teme preliva) –
vgradnja RCC valjano stisnjeneга betona**

POPIS DEL ZA PRELIV - Ocena vgradnje RCC valjano stisnjeneга betona

1 PREDELA

1	Zakoličenje objekta s postavljanjem in zavarovanjem profilov kom	1	21,45	21,45
2	Strojna odstranitev obstoječega preliva, vključno z nalaganjem na prevozno sredstvo in odvozom na trajno deponijo. m3	2200	35,00	77.000,00
3	Zavarovanje gradbišča med gradnjo, ki se po končanih delih odstrani. kom	1	2.580,00	2.580,00
Skupaj preddela				79.601,45

2 ZEMELJSKA DELA

1	Strojni izkop humusa z odvozom na gradbiščno deponijo do 1000m in hranjenjem na deponiji do ponovne uporabe m3	1200	4,52	5.424,00
2	Strojni široki izkop zemlje z nakladanjem na prevozno sredstvo in odvoz na trajno deponijo do 5 km. -izkop v terenu III. ktg. m3	3600	3,99	14.364,00
3	Izvedba drenažne plasti debeline 30 cm s frakcijo 8-16 mm komplet z geotekstilnim slojem. m2	720	9,60	6.912,00
Skupaj zemeljska dela				26.700,00

3 BETONSKA DELA

1	Dobava in strojno vgrajevanje betona v konstrukcije preseka nad 0.30 m3/m2/m; z vsemi pomožnimi deli in prenosi do mesta vgraditve - beton C 25/30 - valjano stisnjen beton. Vgrajevanje z razgrinjanjem in vibriranjem z vibrovaljarjem.	m3	6000	115,00	690.000,00
2	Dobava in strojno vgrajevanje betona v konstrukcije preseka nad 0.30 m3/m2/m; z vsemi pomožnimi deli in prenosi do mesta vgraditve - beton C25/30 -stene.	m3	400	109,75	43.900,00
3	Dobava in vgrajevanje armature prerezov vseh vrst (ocenjeno 120 kg/m3 betona)	kg	48000	1,26	60.480,00
Skupaj betonska dela					794.380,00

4 TESARSKA DELA

1	Dobava, montaža in demontaža dvostranskega opaža zidov z vsemi deli in prenosi, vključno čiščenje opažev. ~ dvostranski opaž	m2	700	18,95	13.265,00
2	Nabava, dobava, montaža in demontaža enostranskega opaža vertikalnega (čelnega) dela zaščitnega betona z vsemi deli in prenosi, vključno čiščenje opažev. ~ enostranski opaž	m2	740	23,75	17.575,00
Skupaj tesarska dela					30.840,00

REKAPITULACIJA

1	PREDELA	79.601,45
2	ZEMELJSKA DELA	26.700,00
3	BETONSKA DELA	794.380,00
4	TESARSKA DELA	30.840,00
Skupaj:		931.521,45

PRILOGA B: POPIS DEL ZA GRADNJO PODSLAPJA PRELIVA

POPIS DEL ZA PODSLAPJE PRELIVA

1 PREDELA

1	Zakoličenje objekta s postavljanjem in zavarovanjem profilov kom	1	21,45	21,45	
2	Strojna odstranitev obstoječega jarka vzdolž vznožja drče preliva, vključno z nalaganjem na prevozno sredstvo in odvozom na trajno deponijo.	m3	100	35,00	3.500,00
3	Zavarovanje gradbišča med gradnjo, ki se po končanih delih odstrani.	kom	1	2.580,00	2.580,00
Skupaj preddela				6.101,45	

2

ZEMELJSKA DELA

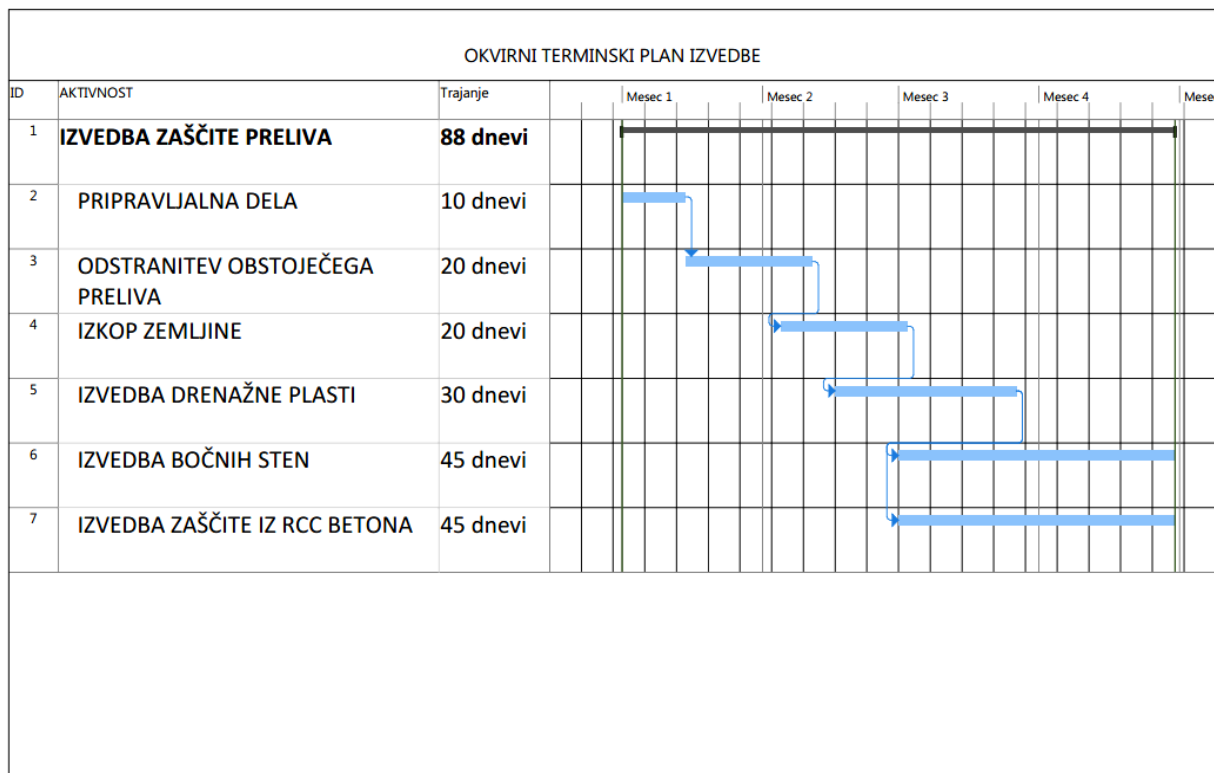
1	Strojni izkop humusa z odvozom na gradbiščno deponijo do 1000m in hranjenjem na deponiji do ponovne uporabe	m3	1000	4,52	4.520,00
2	Strojni široki izkop zemlje z nakladanjem na prevozno sredstvo in odvoz na trajno deponijo do 5 km. -izkop v terenu III. ktg.	m3	5700	3,99	22.743,00
3	Izvedba drenažne plasti debeline 30 cm s frakcijo 8-16 mm komplet z geotekstilnim slojem.	m2	2000	9,60	19.200,00
Skupaj zemeljska dela				46.463,00	

3	BETONSKA DELA			
1	Dobava in strojno vgrajevanje betona v konstrukcije preseka nad 0.30 m ³ /m ² /m; z vsemi pomožnimi deli in prenosi do mesta vgraditve - beton C25/30.			
	m ³	500	109,75	54.875,00
2	Dobava in vgrajevanje armature prerezov vseh vrst (ocenjeno 120 kg/m ³ betona)			
	kg	60000	1,26	75.600,00
3	Dobava skal - krogel debeline 60 - 80 mm in polaganje v beton. (Dolvodno od praga podslapja do rečne struge)			
	m ²	2000	40,00	80.000,00
	Skupaj betonska dela			210.475,00

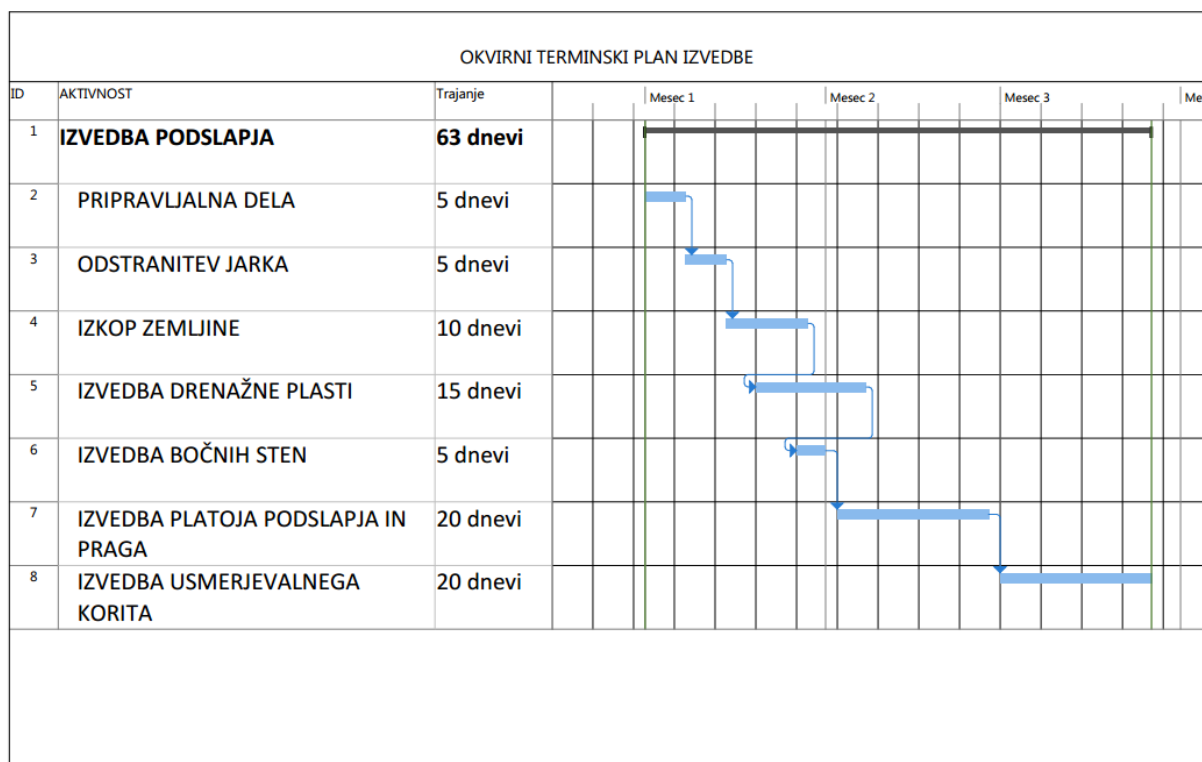
4	TESARSKA DELA			
1	Dobava, montaža in demontaža dvostranskega opaža z vsemi deli in prenosi, vključno čiščenje opažev. ~ dvostranski opaž			
	m ²	450	18,95	8.527,50
	Skupaj tesarska dela			8.527,50

REKAPITULACIJA				
1	PREDDELA			6.101,45
2	ZEMELJSKA DELA			46.463,00
3	BETONSKA DELA			210.475,00
4	TESARSKA DELA			8.527,50
	Skupaj:			271.566,95

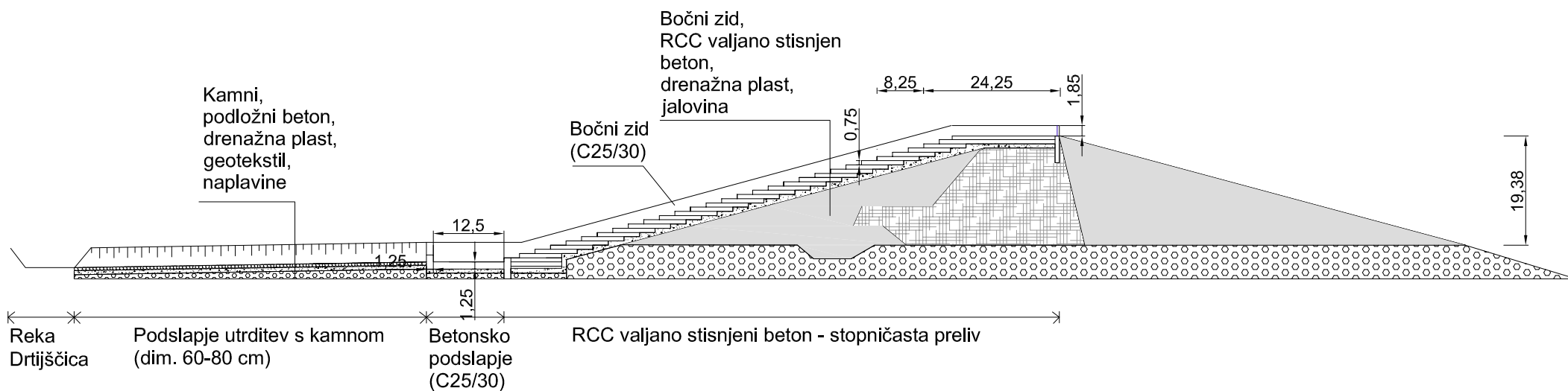
**PRILOGA C: TERMINSKI PLAN IZVEDBE PRELIVA (prelivna drča in teme preлива)
 PREGRADE DRTIJŠČICA**



**PRILOGA D: TERMINSKI PLAN IZVEDBE PODSLAPJA PRELIVA PREGRADE
 DRTIJSČICA**



Prerez: Pregrada Drtjščica z RCC valjano stisnjnim prelivom



	UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Rekonstrukcija preliva na pregradi Drtjščica	
Izdelal:	Ingrid Car	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Somentor:	doc. dr. Simon Schnabl	
Načrt:	Prerez pregrade z novim prelivnim poljem	
Faza:	Idejna zasnova	
Merilo: 1:800	Št. priloge: E	



UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Naloga:	Rekonstrukcija preliva na pregradi Drtijiščica
Izdelal:	Ingrid Car
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Somentor:	doc. dr. Simon Schnabl
Načrt:	Situacija
Faza:	Idejna zasnova

Št. priloge: F