

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:

Strehar, G., 2015. Analiza ureditev iztočnih objektov na vodnih zadrževalnikih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Rusjan, S., somentor Kryžanowski, A.): 33 str.

Datum arhiviranja: 08-10-2015

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:

Strehar, G., 2015. Analiza ureditev iztočnih objektov na vodnih zadrževalnikih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Rusjan, S., co-supervisor Kryžanowski, A.): 33 pp.

Archiving Date: 08-10-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO

Kandidat:

GREGOR STREHAR

**ANALIZA UREDITEV IZTOČNIH OBJEKTOV NA
VODNIH ZADRŽEVALNIKIH**

Diplomska naloga št.: 55/B-VOI

**ARRANGEMENT OF DAM OUTLET WORKS
ANALYSIS**

Graduation thesis No.: 55/B-VOI

Mentor:

doc. dr. Simon Rusjan

Somentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 24. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Gregor Strehar izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Analiza ureditev iztočnih objektov na vodnih zadrževalnikih**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka kot tiskana različica.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana september 2015

Gregor Strehar

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.132:627.82(043.2)
Avtor:	Gregor Strehar
Mentor:	doc.dr. Simon Rusjan
Somentor:	doc.dr. Andrej Kryžanowski
Naslov:	Analiza ureditev iztočnih objektov na vodnih zadrževalnikih
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	33 str., 5 graf., 13 sl.
Ključne besede:	Drtijščica, zadrževalnik, hidravlična, analiza, talni, izpust,

IZVLEČEK:

Ob spreminjanju podnebja se število poplav in količina sušnih dni vsako leto vztrajno večja. V bran visokim vodam in suši človek že vrsto let gradi infrastrukturne objekte kot so vodni zadrževalniki. Ti objekti so v zadnjih desetletjih še pridobili na pomenu in možnosti več namenske rabe ter s tem poleg obrambe pred poplavami bistveno pripomogli tudi k razvoju gospodarstva. Zgradbe takšnih razsežnosti bistveno vplivajo na okolje, zato je treba imeti pri umeščanju le teh v prostor tankočuten občutek za okolje in ohranjanje narave. Zelo pomemben del načrtovanja vodnih zadrževalnikov je načrtovanje iztočnih objektov ter z njimi povezana hidravlična analiza. Zasnova iztočnega objekta pomembno vpliva na hidravlične karakteristike pregrade in njeno varnost. V diplomski nalogi so opisane različne ureditve iztočnih objektov ter njihove hidravlične značilnosti. Kot konkretni primer hidravlične analize smo podrobneje obravnavali vodni zadrževalnik Drtijščica.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	627.132:627.82(043.2)
Author:	Gregor Strehar
Supervisor:	doc.dr. Simon Rusjan
Co-supervisor:	doc.dr. Andrej Kryžanowski
Title:	Arrangement of Dam Outlet Works Analysis
Document Type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	33 p., 5 graf., 13 fig.
Keywords:	Drtiščica, large dam, hydraulic, analysis, outlet works

ABSTRACT:

In relation to climate change, the number of floods and dry days is increasing. From ancient history man has built water reservoirs in order to protect himself from floods and drought. In last decades these structures have gained on importance especially because of their multifunctional nature which has significantly influenced, not just flood control, but also economic development of the society. Placing of such structures into environment must be carefully studied with an aim to preserve natural environment and reduce their environmental effects as much as possible. Very important part of designing a dam is arrangement and hydraulic design of outlet works. Safety of a dam and its hydraulic characteristics depend on design of outlet works. Different outlet works arrangements are described in this thesis as well as their hydraulic properties. In the last part of the thesis, hydraulic analysis of the outlet of Drtjščica dam is performed.

ZAHVALA

Za pomoč in potrpežljivost pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mojemu mentorju doc.dr. Simonu Rusjanu in somentorju doc.dr. Andreju Kryžanowskem za pomoč pri pridobivanju podatkov za hidravlično analizo.

Ob tem bi se prav tako rad zahvalil tudi svoji družini in prijateljem, ki so me podpirali in spodbujali ves čas dosedanjega študija.

Gregor Strehar

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	IV
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
KAZALO SLIK.....	IX
KAZALO GRAFIKONOV	X
1 UVOD	1
2 VODNI ZADRŽEVALNIKI.....	2
2.1 Vrste vodnih pregrad.....	3
2.1.1 Betonske pregrade	3
2.1.2 Zemeljske pregrade	4
3 UMEŠČANJE VODNIH PREGRAD V PROSTOR	5
4 IZTOČNI OBJEKTI IZ VODNIH ZADRŽEVALNIKOV	6
4.1 Komponente iztočnih objektov	6
4.1.1 Izvrtani tunelni izpusti	7
4.1.2 Zgrajen tunelni izpust; metoda izkop, vgradnja in zasutje (ang. cut-and-cover)	8
4.1.3 Regulacijske naprave	9
4.1.4 Vzpostavitev zaporničnega sistema	9
4.1.5 Nadzorni in dostopni jaški	11
4.1.6 Upravljalna hišica	11
4.1.7 Vtočni objekt	11
4.1.8 Iztočni del in umirjevalne naprave podslapja.....	13
4.1.9 Vtočni in iztočni kanal	14
4.2 Geometrijske oblike prehodnih elementov	14
4.3 Določitev minimalne količine izpusta vode.....	17
4.4 Iztok poplavnih vod	17
4.5 Pozicioniranje vtoka v izpust glede na gladino vode v zadrževalniku	17
4.6 Umeščanje izpusta	17
5 HIDRAVLIKA IZPUSTNIH SISTEMOV	19
5.1 Tok vode s prosto gladino	19
5.2 Tok vode pod tlakom.....	20
6 ZADRŽEVALNIK DRTIJSČICA.....	24
6.1 Tehnične značilnosti zadrževalnika	24

6.2	Hidravlična analiza izpusta iz zadrževalnika Drtijaščica.....	26
6.2.1	Tok s prosto gladino	26
6.2.2	Tok pod tlakom	27
6.2.3	Celovita pretočna krivulja	28
6.3	Sanacija pregrade po poplavah leta 2010	29
7	ZAKLJUČEK	31
VIRI		32

KAZALO SLIK

Slika 1: Deleži škode nastale zaradi naravnih nesreč (ARSO, 2009).....	2
Slika 2: Vrste tesnjenja zemeljskih pregrad (Logar, 2009)	4
Slika 3: Glavne komponente iztočnih objektov (Mays, 2010)	6
Slika 4: Primer izvrtanega tunelnega prepusta v izgradnji – Hoover Dam(Wikimedia Commons, 1932)7	
Slika 5: Valjčna zapornica (Zadnik, 1997)	9
Slika 6: Sektorska zapornica (Zadnik, 1997)	9
Slika 7: Segmentna zapornica (Zadnik, 1997)	10
Slika 8: Vtočni objekt, Pregrada Drtjščica (vnaravi.si, 2015).....	13
Slika 9: Primer urejenega podslapja z umirjevalno napravo (Xiaofeng, 2014)	14
Slika 10: Elipsasti in krožni preliv (Goljevšček, 1960).....	15
Slika 11: Prelivno polje v elipsasti obliki.....	15
Slika 12: Prečni prerez pregrade Drtjščica - materiali (Hidrotehnik, 2002)	24
Slika 13: Deli talnega izpusta na pregradi Drtjščica (Hidrotehnik, 2002)	25

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Spreminjanje vrste toka skozi talni izpust.....	23
Grafikon 2: Pretok preлива vtočnega objekta.....	26
Grafikon 3: Pretok skozi talni izpust s prosto gladino.....	27
Grafikon 4: Pretok skozi talni izpust, tok pod tlakom.....	28
Grafikon 5: Sestavljena pretočna krivulja, pretok skozi prepust (Strehar, 2015).....	29

1 UVOD

Poplave so relativno redek pojav, ki spremlja človeka že od samega začetka. Ob povečanju količine padavin, iztekajoče se vode predvsem zaradi erozijske moči predstavljajo grožnjo za dolvodna območja. Poplava lahko za seboj pusti katastrofalno gospodarsko škodo, da ne govorimo o ogroženih človeških življenjih. Prav tako nasprotni pojav, kot je suša, ogroža gospodarsko stabilnost ter v ekstremnih primerih človeška življenja. Proti tem pojavom se borimo z različnimi ukrepi.

V splošnem lahko ukrepe proti škodljivim posledicam visokih vod, razdelimo v dve skupini. Inženirski (gradbeni, hidrotehnični ukrepi) z gradnjo hidrotehničnih objektov predstavljajo predvsem fizični poseg v okolje. Druga skupina (negradbeni ukrepi) pa se kot alternativa in odgovor na poseg v okolje ponujajo ukrepi kot so prostorsko načrtovanje, upravno zakonski ukrepi, prilagajanje poplavam ipd. Največkrat se pred visokimi vodami branimo z regulacijami rečnih strug, velikokrat pa v vodni režim posežemo tudi z različnimi vodnimi pregradami oz. zadrževalniki. Z zadrževalniki v zadrževalnih območjih zadržimo presežne količine vode in jih nato postopoma spuščamo v vodotoke, oz. jih v sušnih obdobjih lahko uporabimo za preostale rabe (npr. namakanje kmetijskih zemljišč, itd.).

Cilj diplomske naloge je podati pregled nad umeščanjem vodnih pregrad oz. vodnih zadrževalnikov v okolje in njihovim delovanjem. Poseben poudarek je namenjen vlogi, ki jo pri delovanju pregrad nosijo iztočni objekti in naprave ter opredelitvi njihovih hidravličnih lastnosti. Kot konkreten primer smo predstavili delovanje vodne pregrade Drtijiščica in izvedli hidravlično analizo izpusta ter izračunali pretočnost iztočnega objekta vodnega zadrževalnika.

2 VODNI ZADRŽEVALNIKI

Vodni zadrževalniki so hidrotehnični objekti sestavljeni iz vodne pregrade, akumulacijskega prostora (namenjenega kontroliranemu razlivanju oz. zadrževanju vode) ter ostalih pripadajočih objektov in naprav. Namenjeni so kratkoročnemu ali dolgoročnemu zadrževanju vode (Kocjan, 2009).

V Sloveniji se je zadrževanje vode sprva izvajalo predvsem z namenom oskrbe prebivalstva s pitno vodo ter za melioracijo kmetijskih zemljišč (Otrin, 2004). Osnovni namen gradnje vodnih zadrževalnikov je vedno predstavljalo varovanje pred poplavami, kasneje, z razvojem hidroenergetike pa se je uporaba razširila tudi v hidroenergetske namene. Na pomenu je pridobivala tudi možnost večnamenske izrabe, (rekreacijske površine, namakanje, ribištvo) saj je tako prostor postal bolj izkoriščen in umestitev vodnega zadrževalnika bolj upravičena (Otrin, 2004).

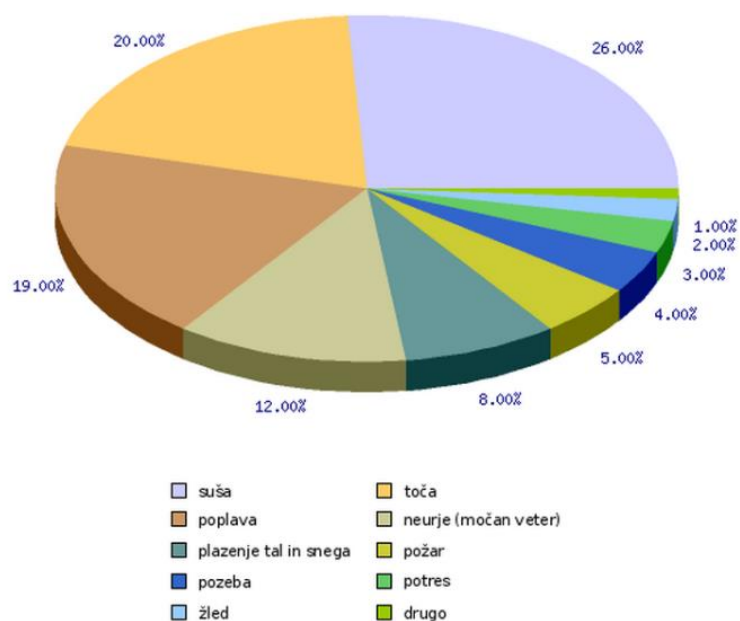
Oskrba s pitno vodo je za človeka življenjskega pomena, zato gradnja vodnih zadrževalnikov v ta namen sega do pojava prvih naselbin pred več kot 5000 leti. Dejstvo, da se v zadnjih stoletjih poraba vode večja hitreje kot število prebivalstva, se odraža v vedno večjem številu vodnih pregrad zgrajenih v namen oskrbe s pitno vodo oz. kot možnost bogatenja podtalnice (Otrin, 2004).

Večanje števila prebivalstva pomeni večanje potrebe po pridelovalnih površinah oz. potrebo po večjem hektarskem donosu ter večjo porabo vode. Da bi zagotovili zadostne površine oskrbljene z namakanjem, bi bilo potrebno letno le te povečati za 3% (Otrin, 2004) kar lahko pomeni le gradnjo novih vodnih zadrževalnikov in namakalnih sistemov (Otrin, 2004).

Gospodarski razvoj države je v veliki meri tudi odraz njene energetske oskrbljenosti ter neodvisnosti. Od leta 2000 do 2013 je raba električne energije v Sloveniji v povprečju na leto zrasla za 1,4% (ARSO, 2014). Možnosti za gradnjo zadrževalnikov v hidroenergetske namene je v Sloveniji še veliko, saj potencial hidroenergetske oskrbe Slovenije še vedno ni popolnoma izkoriščen. Trenutne hidroelektrarne predstavljajo le 45% kapacitet, ki so nam na voljo (Otrin, 2004).

V zadnjih letih prihaja do večjih podnebnih sprememb, kar se odraža tudi na spremenjenem vodnem režimu in večanju števila poplav ter sušnih obdobj. Posledice poplav v Sloveniji predstavljajo 19% in suša kar 26% delež škode nastale

zaradi naravnih nesreč, kar je razmeroma veliko (ARSO, 2009). Ob predpostavki, da se bo število poplav in število sušnih dni večalo, se gradnja vodnih zadrževalnikov, v namen obrambe pred visokimi vodami ali zagotavljanje zadostnih vodnih virov v daljših sušnih obdobjih, ne zdi slaba ideja (Kocjan, 2009).



Slika 1: Deleži škode nastale zaradi naravnih nesreč (ARSO, 2009)

Vodni zadrževalniki so torej pomembni hidrotehnični objekti, ki nam kljub močnim posegom v okolje omogočajo optimalnejše upravljanje in rabo vodnih virov ter s tem boljši gospodarski razvoj ter učinkovitejšo obrambo pred poplavami.

2.1 Vrste vodnih pregrad

V osnovi vodne pregrade delimo po velikosti na velike in nizke pregrade, pri čemer se za kriterij opredeljevanja uporabljajo konstrukcijski podatki o objektu:

- Gabariti objekta (gradbena višina – od temelja do krone nad 15m ali gradbena višina nad 10m ter dolžina krone nad 500m)
- Volumen zajeznega prostora (gradbena višina nad 10m in volumen akumulacije nad 100m³)
- Prepustnost evakuacijskih objektov (gradbena višina nad 10m s prepustnostjo evakuacijskih organov nad 2000m³/s)

V skupino visokih pregrad pa izjemoma spadajo tudi manjše pregrade, vendar le v primeru, da so ob porušitvi objekta ogrožena človeška življenja ali pa bi nastala večja materialna škoda. (Otrin, 2004)

Glede na izvedbo pregrade delimo na betonske in zemeljske (zemljinske, kameninske), glede na način prevzemanja vodnih tlakov pa jih delimo na (Ranfl, 2008):

- Težnostne (polne, votle)
- Stebske (z okrepljenim čelom, z oboki med stebri)
- Ločne (cilindrične, enakokotne, kupolaste)
- Kombinirane

2.1.1 Betonske pregrade

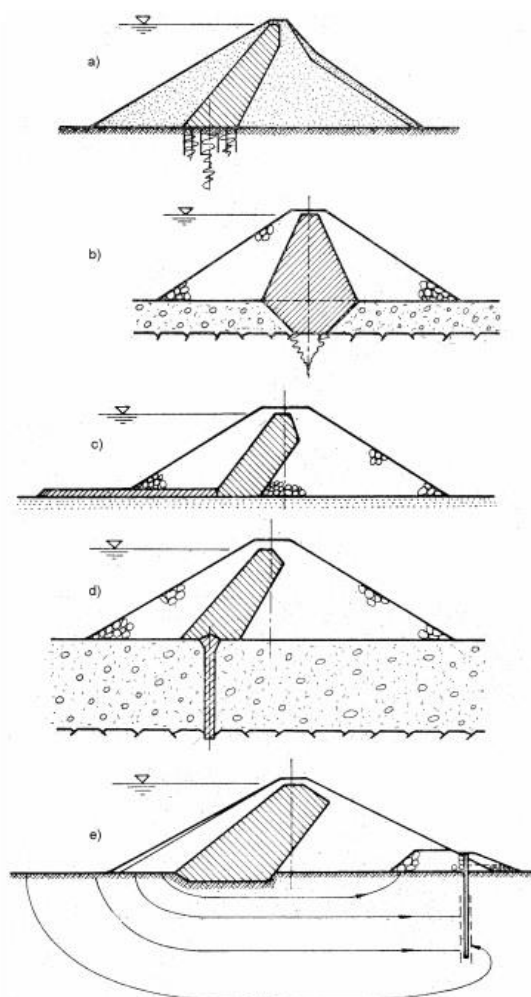
Poznamo štiri glavne tipe betonskih pregrad, ki se razlikujejo po prenosu obtežbe zaledne vode. Ločne pregrade, so primerne predvsem za zajezitev vode v ozkih dolinah, kanjonih in soteskah. Kot že samo ime pove, imajo obliko loka, ki je obrnjen gorvodno in tako silo zadržane vode prenašajo preko tlačne odpornosti betona na boke oz. stranske bregove doline. Težnostne betonske pregrade so primerne tako za širše kot za ožje doline kjer obstaja primerno trdna podlaga za temeljenje, saj je njihova teža zelo velika. Betonske težnostne pregrade imajo v prerezu obliko trikotnika in zunanje sile prenašajo s silo lastne teže. Prav tako stebske pregrade silo zaledne vode prenašajo z lastno težo, le da na dolvodni strani niso masivno zapolnjene z betonsko maso ampak so okrepljene z stebri oblike ozkih betonskih sten iztegnjenih iz sprednje – dolvodne strani pregrade. Za primer kombiniranega prevzema sil zaledne vode pa lahko vzamemo ločno-težnostno betonsko pregrado, ki združuje premostitev sil na boke pregrade in težnostno preusmerjanje rezultante zunanjih sil navzdol. Ta tip pregrade je primeren predvsem za zajezitve širših dolin, kjer je uporaba učinka loka še možna. Zelo pomembno je pri betonskih pregradah upoštevati seizmično odpornost, saj so stiki pri težnostnih betonskih pregradah najbolj problematični (Steinman, 2003).

2.1.2 Zemeljske pregrade

Po definiciji so zemeljske pregrade konstruirane iz komprimiranih naravnih materialov (brez veznega sredstva), ki so izkopani v bližini gradbišča in uporabljeni na najboljši možni način glede na njihove fizikalne lastnosti. Zemeljske pregrade so težnostne pregrade, zato horizontalno silo vode prenašajo z vertikalno silo lastne teže.

Zemeljske pregrade se glede na delež vsebnosti zemljine, več kot 50%, delijo na zemljinske in kamninske. Kamninske pregrade za razliko od zemljinskih ni potrebno intenzivno komprimirati, saj imajo večji strižni kot in s tem tudi primerno manjše dimenzije.

Pregrade iz zemljin in kamnin so primerne predvsem za zajezitev širokih dolin, saj je uporaba naravnih materialov iz bližnjih nahajališč v primerjavi z uporabo betona dokaj ugodna. Proces gradnje zemeljskih pregrad je zelo mehaniziran in kontinuiran, kar še občutneje niža stroške gradnje. V namen izboljšanja nepropustnosti pregrade je mogoče vanje vgraditi različne nepropustne materiale, kot so na primer: razne gline, elektrofiltrski pepel ipd. Te materiale se vgradi predvsem ob jedru oz. v samem jedru pregrade (Ranfl, 2008).



Slika 2: Vrste tesnjenja zemeljskih pregrad (Logar, 2009)

V primeru prepustnih tal pod pregrado je potrebno zagotoviti nepropustnost tudi tam. Tla pod pregrado tesnimo na različne načine (Logar, 2009):

- a) Injektiranje tal pod tesnilnim jedrom,
- b) Podaljšanje tesnilnega jedra v tla do nepropustnega sloja,
- c) Podaljševanje poti strujanja vode z nepropustnim tepihom,
- d) Umestitev nepropustne diafragme pod tesnilnim jedrom,
- e) Prepustni dolvodni tepih ter umestitev drenažnih vodnjakov dolvodno za zmanjševanje visokih poreznih tlakov na dolvodni strani;

Pri izbiri vrste pregrade je pri zemeljskih pregradah potrebno upoštevati večjo možnost porušitve v primeru prelitja pregrade ob visokih vodah in dejstvo, da se ob strujanju/pronicanju vode skozi pregrado ustvarja dodatna obremenitev na njeno stabilnost (Steinman, 2003).

3 UMEŠČANJE VODNIH PREGRAD V PROSTOR

Vodne pregrade in zadrževalniki povzročijo v okolju velike spremembe, kot so sprememba vodnega režima, zaprojevanje akumulacijskega prostora, spremembe v okolju zaradi ojezeritve, vpliv na mikroklimo, vplivi na živalske in rastlinske populacije, vpliv na kulturno krajino ter ne nazadnje tudi sociološki in socialni vpliv. Zaradi vseh teh vplivov, ki jih takšen tehnični objekt ima na okolje, je potrebno pri umeščanju le teh v prostor zagotoviti primeren pristop in analizirati potencialne vplive takšnega objekta na okolje (presoje vplivov na okolje).

V Sloveniji je prostorsko načrtovanje urejeno z Zakonom o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt) (Uradni list št. 33/07, 70/08 – ZVO-1B, 108/09, 80/10 – ZUPUDPP, 43/11 – ZKZ-C, 57/12, 57/12 – ZUPUDPP-A, (109/12), 76/14 – odl. US in 14/15 – ZUUJFO). Prostorske ureditve, kot so vodne pregrade in zadrževalniki pa spadajo med objekte, ki so neposredno povezani z izvajanjem javnih gospodarskih služb in jih načrtujemo skladno s prostorskim načrtom. Glede na pomembnost ločimo pregrade in zadrževalnike državnega pomena, ki se načrtujejo z državnimi lokacijskimi načrti (državni prostorski načrti) ter pregrade in zadrževalnike lokalnega pomena, ki pa se načrtujejo s prostorskimi redi občine (Uradni list št. 33/07, 70/08 – ZVO-1B, 108/09, 80/10 – ZUPUDPP, 43/11 – ZKZ-C, 57/12, 57/12 – ZUPUDPP-A, (109/12), 76/14 – odl. US in 14/15 – ZUUJFO, 2007).

Na splošno med širšo javnostjo v Sloveniji pogosto prihaja do nasprotovanja gradnje vodnih zadrževalnikov, na kar so pomembno vplivale izkušnje iz preteklosti. Nasprotni interesi se pojavljajo predvsem iz dveh razlogov. Pretekla značilna razvojna in tehnološka izključnost v procesu odločanja tj. odločanje na podlagi gospodarskih meril oz. kar samostojne odločitve politike brez sodelovanja prizadetih, ni omogočala dovolj premišljenega in okoljsko ter družbeno sprejemljivega umeščanja pregrad v prostor. Negativni vpili teh objektov so bili enostavno pripisani ceni razvoja. V odgovor na degradacijo okolja so se razvila različna zelena gibanja, ki se zavzemajo za varovanje okolja in zmanjševanje človekovega vpliva na naravne procese. Ta gibanja pa so ne glede na svoj dober namen lahko tudi zelo škodljiva, saj smatrajo, da načrtovalci ne načrtujejo po načelu varovanja okolja in lahko s svojim vplivom preprečijo potreben projekt pa naj bo še tako preudarno in premišljeno načrtovan (Otrin, 2004).

Objekte kot so pregrade je potrebno načrtovati z dobrim občutkom za ohranjanje naravnih pogojev in posluhom za interese skupnosti oz. ob posegu neposredno prizadete ljudi. Pri načrtovanju je potrebno upoštevati tudi dejstvo, da večfunkcionalnost vodnih zadrževalnikov, ki je vzporedna z regionalnimi razvojnimi načrti, zelo pozitivno vpliva na družbeno sprejemljivost le teh. Ob umeščanju pregrade v prostor je potrebno preučiti tudi potencialne rabe objekta za druge gospodarske oz. družbene dejavnosti, kot sta na primer turizem in industrija (Otrin, 2004).

Vsekakor pa je v prvi vrsti potrebno zagotoviti ohranjanje naravnega ravnovesja ter slediti načelom trajnostnega načrtovanja.

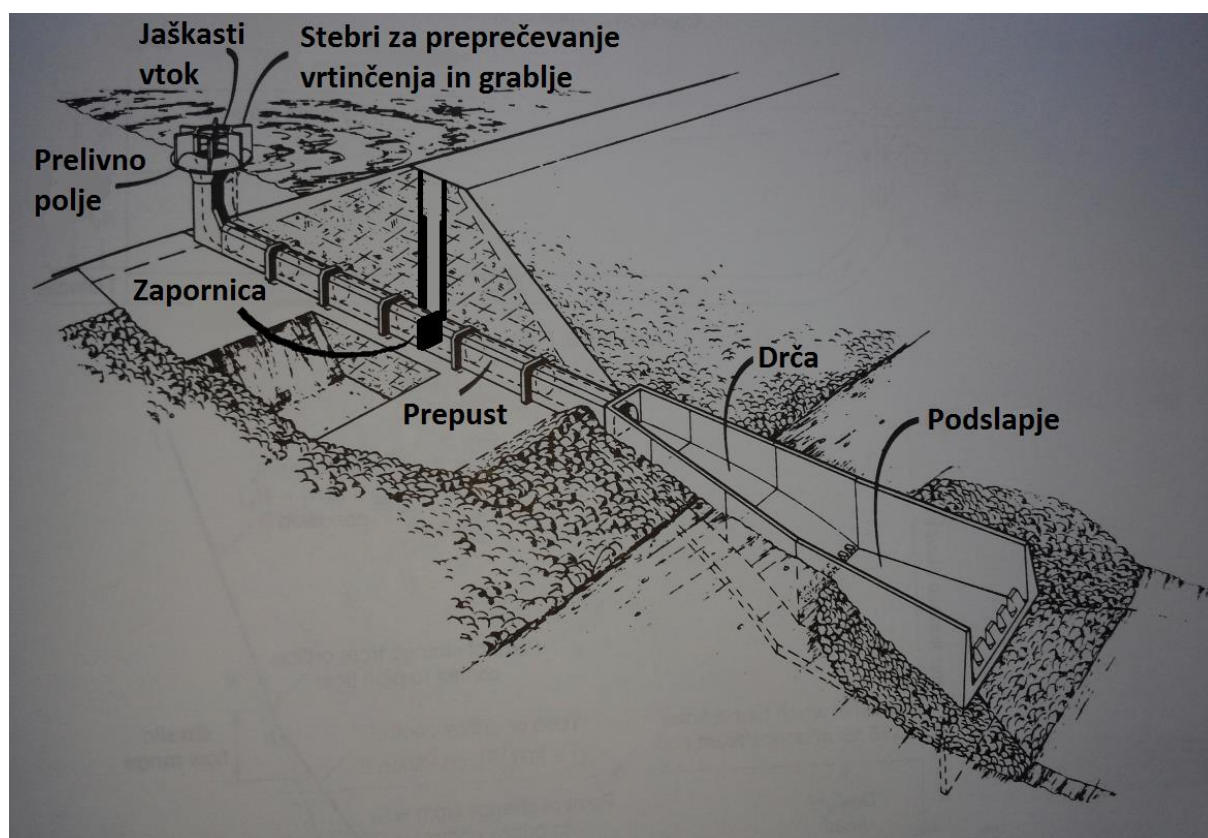
4 IZTOČNI OBJEKTI IZ VODNIH ZADRŽEVALNIKOV

Izpusti iz vodnih zadrževalnikov so objekti, namenjeni reguliranju gladine vode v vodnem zajetju oz. reguliranju količin izpuščene vode po vodotoku glede na potrebe oz. hidravlično prevodnost dolvodno. Izpuste lahko razvrstimo glede na namen: rečni izpust, kanalni izpust, tlačno cevni izpust; hidravlično delovanje: izpust z zapornicami, tok pod tlakom/tok s prosto gladino; in tip konstrukcije: odprti kanal, zaprti kanal – cevni prepust (Blair, 1987).

S spuščanjem gladine vode v vodnem zajetju se pripravljamo na izredne razmere ob pričakovanju poplavnega vala. V vodnem zadrževalniku sprostimo potrebne kapacitete za dotok poplavnih voda in njihovo zaježitev. Z izpustom celotne vode iz zadrževalnika (npr. preko talnih izpustov) omogočimo redni suhi tehnični pregled gorvodnega dela pregrade in teren za izvedbo vzdrževalnih del oz. morebitnih potrebnih popravil. Izpust in nižanje gladine nam omogočata tudi lažji vpogled v lokalni vodni ekosistem za potrebe pregleda rib ob zastrupitvi in druge okoljevarstvene namene (Blair, 1987).

4.1 Komponente iztočnih objektov

Hidravlični sistem izpustov iz vodnih zadrževalnikov je sestavljen iz več delov. Oblikovanje hidravličnega sistema izpusta je največkrat odvisno od namena zadrževalnika oz. pregrade ter potreb, ki nastanejo z umestitvijo teh objektov v okolje. Glavni deli in naprave izpustnih sistemov so: vtočni objekt, prevajalni del oz. prepust, zapornični sistem (zapornice, dostopni jašek, nadzorni objekt), iztok in podslapje ter po potrebi umirjevalne naprave (Mays, 2005).



Slika 3: Glavne komponente iztočnih objektov (Mays, 2010)

Pri določevanju kapacitet izpusta imajo pri cevnem in kanalnem prepustu (tok s prosto gladino) kritično vlogo zapornice in zaporni ventili, v primeru cevnega prepusta s tokom pod tlakom pa ključno vlogo igra velikost prepusta (zapornice v celoti odprte) ter linijske in lokalne hidravlične izgube. Dimenzioniranje prepusta je odvisno od hidravlične višine ter zahtevanega (dovoljenega) iztoka. Na

izbiri oblik in velikosti delov prepusta, kot je tunel, vplivajo predvsem potrebe glede praktične rabe ali potrebe obtoka, hitrosti izpraznitve ter potrebe ob prvi polnitvi. Za doseglo najboljše rešitve so pri projektiranju izpusta potrebne dodatne študije (npr. raziskave s pomočjo fizičnih modelov). S preizkušanjem različnih kombinacij oblik in dimenzij delov izpusta, lahko s testnimi primeri ugotovimo najbolj ekonomično rešitev (Blair, 1987).

Po izbiri oblike in dimenzij prepusta ter zapornih elementov, je potrebno določiti še ostale dele izpusta kot so:

- vtočni del (odvisno od mesta postavitve, funkcije in ostalih faktorjev kot so ovire za ribe, rešeta za plavje, postavitve tramovnih zapornic ter možnosti dostopanja za upravljanje),
- naprave za umirjanje toka (preusmeritveni žleb z odskočnim nosom, umirjevalno podslapje, razbijači vodnega toka v podslapju (ang. baffled apron drops), umiritveni vodnjak, ipd.,
- zaporna komora,
- ograde,
- ploščad za upravljanje z zapornicami in
- ostali potrebni varovalni elementi za varovanje upravljalnega sistema zapornic.

Po potrebi se za primere izpuščanja vode ob zelo nizkih vodostajih med dele izpusta vključi tudi dovodni kanal na vtok v izpust in odvodni kanal od iztočnega dela izpusta vse do rečne struge (Blair, 1987).

4.1.1 Izvrtani tunelni izpusti

V kolikor temelji in krila pregrade dopuščajo, je izgradnja izvrtanega tunelnega izpusta s svojimi prednostmi ekonomsko veliko ugodnejša kot ostale variante izpustov. Rešitev z vrtanjem tunela čez podlago oz. krilo pomeni bolj varno in trajnejšo rešitev, kot pa metoda izkopavanja, vgradnje in nasutja (ang. Cut-and-cover), kjer je izpust speljan neposredno skozi nasip (pregrado).

V kolikor je zemljina oz. kamnina trdna, prihaja pri tunelu do zelo majhnih premikov in posedkov. Manjše oz. manj nevarno je tudi pronicanje vode čez steno tunela v material, ki obdaja tunel. Ob izvrtanju tunela skozi trdno kamnino, običajno že sama kamnina zdrži potrebne hidrostatske tlake, zato tunela niti ni potrebno ojačati, ampak le zgladiti stene za boljšo prevodnost (Blair, 1987).

V manj primernih podlagah kot so razpokane kamnine in bolj plastično-tekočih zemljinah pa je potrebno oblogo tunela ojačati, da zdrži zunanje in notranje hidrostatske tlake ter dodatne sile, ki jih povzroči obtežba zemljine. Na skrajnem zgornjem delu tunela



Slika 4: Primer izvrtanega tunelnega prepusta v izgradnji – Hoover Dam (Wikimedia Commons, 1932)

izpusta je potrebno oblogo ojačati le do te mere, da prenese zunanje zemeljske tlake, saj so notranji in zunanji hidrostatski tlaki skoraj izenačeni. V primeru ureditve praznjenja tunela z zapornico na vtoku, čepom ali tramovnimi zapornicami pa je treba biti pozoren, saj pride do neravnovesja med notranjimi in zunanjimi hidrostatskimi tlaki. Prav tako je potrebno pri dimenzioniranju dolvodnega dela tunela upoštevati notranje hidrostatske tlake, zunanje zemeljske in zmanjšane zunanje hidrostatske tlake (Blair, 1987).

V tunelih skozi trdno kamnino po katerih teče tok s prosto gladino, je potrebno obložiti le stranske stene rova in dno zaradi večje gladkosti ter boljše pretočnosti. Za preprečitev vodne erozije pri umeščanju tunela v manj trdne kamnine pa je potrebno oblogo urediti v celotnem prerezu.

Takoj na začetku pri skrajnem vtočnem delu tunela s tokom s prosto gladino, lahko zaradi pronicanja vode iz akumulacije skozi kamnino pride do povečanja zunanjega hidrostatskega tlaka. Težavo je mogoče odpraviti z izvrtanjem drenažnih lukenj v oblogi tunela, s čimer se izenačijo zunanji in notranji hidrostatski tlaki (Blair, 1987).

Najučinkovitejši prerez tunela za prevajanje toka pod tlakom je okrogle oblike, saj je konstrukcijsko in hidravlično to najugodnejša oblika. Pri projektiranju tunela s prostim tokom pa uporabimo prerez z obliko podkve oz. z ravnim dnom. Tunel je tako hidravlično učinkovitejši, vendar ne tudi konstrukcijsko, saj prenaša manjše zunanje tlake kot okrogli. V primeru majhnih tunelov lahko za oba tipa toka uporabimo katerokoli od oblik prereza, vendar je potrebno pred izbiro upoštevati pogoje temeljenja, saj odločilno vplivajo na izbiro oblike (Mays, 2005).

4.1.2 Zgrajen tunelni izpust; metoda izkop, vgradnja in zasutje (ang. cut-and-cover)

Cut-and-cover prepust uporabimo v primeru, ko vrtanje rova zaradi majhnosti potrebnega prereza ali pa neustreznih pogojev v temeljnih tleh ekonomično ni upravičeno. Tunelni izpusti cut-and-cover potekajo skozi ali pa pod nasipom pregrade, zato je potrebno pri projektiranju ostati še toliko bolj konzervativen in previden. Pretekle izkušnje so pokazale, da nepravilno projektirani prepusti pri zemeljskih pregradah lahko, zaradi pronicanja vode v telo pregrade, hitro pripeljejo do poškodb in okvar na pregradi ali celo porušitve (Blair, 1987).

Projektiranje prepusta cut-and-cover zahteva umestitev le tega na najtrdnjše del temeljev oz. temeljne podlage pregrade. V kolikor je to izvedljivo, je najbolje celoten prepust speljati čez kamnito podlago oz. tam kjer je najmanjša obremenitev tal, da so posedki najmanjši. Projektni detajli morajo dovoljevati posedke, premike in krčenje materiala, ne da bi ti ovirali zveznost prepusta ter s tem onemogočali nemoten in nepronicljiv pretok. Neprimeren material (močno propustni materiali, materiali z veliko stopnjo posedanja) za temeljenje je potrebno odkopati vse do primerne podlage in nato izkopan jarek zasuti z zgoščenim trdnim materialom. Kjer prepusta ni mogoče umestiti na trdno kamnino, je potrebno dodatno armiranje konstrukcije prepusta. Za zagotavljanje stabilnosti in zveznosti je potrebno dodatno armiranje, še posebej skozi cono vodotesnosti pregrade. S tem se zagotovi boljše stabilnost in prepreči vsipanje drobnega materiala v prepust.

Pri projektiranju prepusta je zelo pomemben kontakt med konstrukcijo prepusta in temeljem, ki mora biti vodotesen, ne sme biti porozen in ne sme vsebovati nekonsolidiranih delov. Prepuste cut-and-cover je potrebno projektirati in dimenzionirati tako, da dobro prenesejo tlačne obremenitve nasipa. V kolikor so te obremenitve zelo visoke, se je iz ekonomskega vidika cut-and-cover tunelom bolje izogniti.

Običajno se cut-and cover tunele gradi pred nasutjem pregrade, zato je potrebno v projektnih detajlih upoštevati kasnejše posedanje tal zaradi obtežbe nasipa (pregrade) in predvidevati morebitne premike

tunela iz prvotne lege. Največji premik tunel doseže v sredini nasute pregrade, zato je potrebno tam profil in spoje posebej prilagoditi ter ojačati oz. zagotoviti kontrolirane premike (Blair, 1987).

4.1.3 Regulacijske naprave

Pri pregradah, ki so namenjene začasnemu zadrževanju, največkrat izpustni sistem ne vsebuje regulacijskega dela oz. zapornic, saj je že sam vtočni del v iztočni objekt kotiran na višino, ki določa višino gladine vode. Pregrade namenjene daljšemu zadrževanju vode, akumuliranju in reguliranju rečnega režima dolvodno pa na svojem talnem izpustu potrebujejo zapornične sisteme ali druge regulacijske naprave (Blair, 1987).

Zapornice lahko glede na namen razdelimo v dve skupini. Prvo skupino predstavljajo regulacijske zapornice, ki so lahko poljubno odprte ter uravnavajo pretok skozi izpust, glavne zapornice pa se uporabijo v primeru odpovedi regulacijskih zapornic, za potrebe izpraznitve zadrževalnika, za izvedbo kontrole izpustov pod zapornicami ter za popravila regulacijskih zapornic. Regulacijske zapornice lahko namestimo na vtočni del prepusta, nekje vmes ali pa na izpustu. Pomembno je kje so zapornice nameščene zaradi projektiranja celotnega prepusta. V primeru, ko so zapornice nameščene na koncu prepusta je potrebno upoštevati, da je celoten prepust pod tlakom in ga tudi temu primerno dimenzionirati (Chin, 2013).

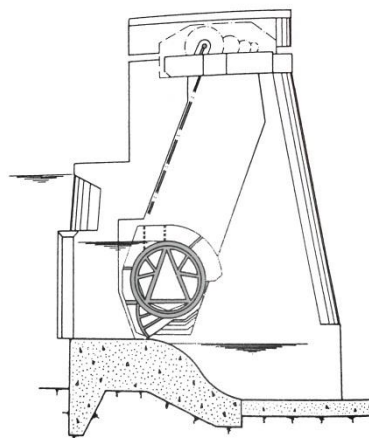
4.1.4 Vzpostavitev zaporničnega sistema

Izbira ureditve talnega izpusta zavisi od izbire vrste zapornic oz. zasunov, ki jih ponujajo proizvajalci na trgu. Litoželezne zapornice ter metuljasti ventili, ki so komercialno dostopni, prenesejo nekaj več kot 15m tlaka višine vodnega stolpca. Za večje višine od 15m pa je potrebna posebna izdelava zapornic, ki jo je, na podlagi enostavne projektne zasnove, moč zagotoviti s strani proizvajalcev na trgu (Blair, 1987).

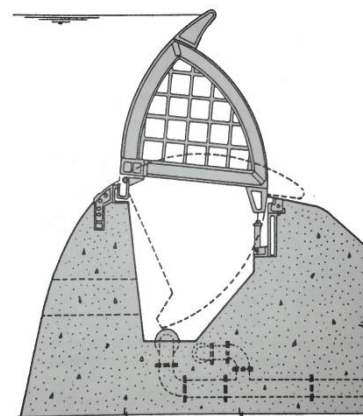
Vrste zapornic konkretnega proizvajalca:

- a) Drsne tablaste zapornice – Trpežne: 17-61m, srednje trpežne: 6-18m, šibkejše: 1,8-7m vodnega stolpca
- b) Aluminijske/jeklene/iz steklenih vlaken/in nerjavečega jekla drsne tablaste zapornice: 12m
- c) Zaklopne ali prevesne zapornice vrtljive okoli horizontalne grede (kot rolete)
- d) Strižne zapornice
- e) Stoneyeva ali kotalna zapornica
- f) Loputna zapornica
- g) Samoregulacijske zapornice
- h) Metuljasti zasuni
- i) Segmentne zapornice
- j) Sektorske zapornice

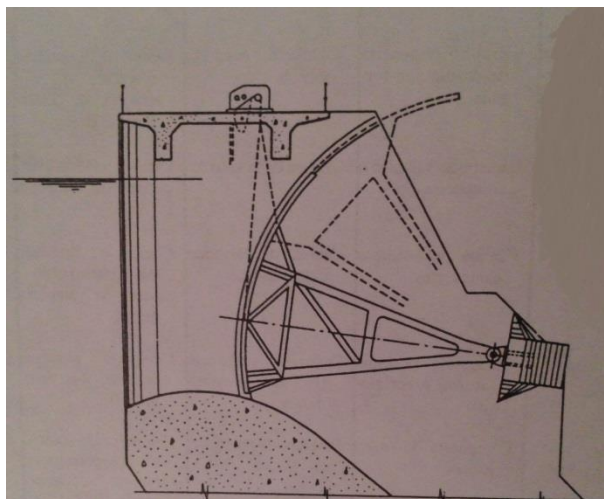
(gongol.net, 2015)



Slika 5: Valjična zapornica
(Zadnik, 1997)



Slika 6: Sektorska zapornica
(Zadnik, 1997)



Slika 7: Segmentna zapornica (Zadnik, 1997)

Vrste zapornic za visokotlačno obratovanje:

- a) Hidravlično upravljane drsne zapornice so zelo zanesljive imajo majhno potrebo po vzdrževanju ter predstavljajo učinkovit način regulacije iztoka. Te zapornice dosegajo rekordne višine vodnega stolpca, tudi do 150m. V primerjavi z ostalimi vrstami zapornic imajo te manjšo površino (preseki), z namenom večje odpornosti na povprečno silo na cm^2 . Zapornice so izdelane iz trdnejših in togejših materialov. Celotni zaporni sistem je ugrajen in sidran neposredno v betonski del prepusta, zapornice pa dobro tesnjene v močnih jeklenih okvirih. Pri takšnih zapornicah se pojavljajo težave s kavitacijo na spodnjem robu zapornice dolvodno, zato mora biti zagotovljen dostop do zaporničnega sistema za namen kontrole in vzdrževanja.
- b) Valjčne zapornice imajo pritrjene tirnice za valje, s katerimi se premikajo vzporedno na režo za zapornico. Kolesne zapornice (ang. wheel mounted gates) se premikajo s pomočjo sistema koles (zobnikov) in verige. Oboje vrste zapornic se lahko upravlja hidravlično ali pa z dviznimi kablji – ne toliko primerno za manjše pretoke, zaradi elastičnosti kablov. Te vrste zapornic se uporabljajo za tlake primerljive z vodnim stolpcem 61m. Šibka točka takšnih zapornic je občutljivost na rjo zaradi razmeroma kompleksnega sistema z veliko izpostavljenosti kovinske površine ter zatikanje plavja.
- c) Segmentne zapornice so preproste zapornice, zelo zanesljive in predvsem cenejše od drugih vrst zapornic primerljivih velikosti. Segmentne zapornice ne potrebujejo rež zato so na njih hidravlične izgube manjše. Zadovoljive so pri regulaciji manjših pretokov in zdržijo tlake do 76m vodnega stolpca. Ob nepravilni izvedbi lahko pride do neželenih vibracij (Walsh, 2003).

Pri projektiranju zapornic za talne izpuste z majhnimi višinami oz. tlaki lahko uporabimo različne naprave kot so: segmentne in drsne zapornice. Dvigalo zapornic pri zasnovi z gorvodnimi zapornicami na vtoku (običajno nameščene v vtočnem stolpu) je potrebno namestiti na višino upravljalne ploščadi, ki mora biti višja od maksimalne višine zajezbe. V primeru umeščanja zapornic v prepustni tunel se uporabi visokotlačne zapornice, drsne zapornice, top-seal segmentne zapornice ali zasune. Zaporni sistem je v tem primeru nameščen v jašku, ki v namen dostopa navpično sega od zapornic vse do vrha pregrade. Kadar je izpust urejen skozi poseben cevovod, ki poteka skozi izpust in je tunel zadosti velik, da omogoča dostop do zapornic z dolvodne strani, je zasun oz. zapornico bolje namestiti v kupolasto komoro (Blair, 1987).

Za uporabo drsnih zapornic pri betonskih pregradah zapornice namestimo na gorvodno stran pregrade. Na površino betona namestimo okvir za zapornico in vodila, dvižni sistem pa na previsni most na vrh pregrade. V primeru, da se zapornico vgrajuje v prepustni tunel, se jo upravlja v mokrem vodnjaku z dvižnim sistemom na vrhu pregrade ali pa v galeriji, če je vodnjak pokrit z vodotesnim pokrovom. Zapornice na dolvodni strani se upravlja s ploščadi, ki jo umestimo na pregrado na dolvodni strani (Blair, 1987).

4.1.5 Nadzorni in dostopni jaški

Ob takšni zasnovi talnega izpusta, da je od zapornega sistema naprej tok vode s prosto gladino, se dostopni jašek izvede tik nad zapornico. Sistem zapornic s suhim vodnjakom zahteva le dovolj velik prostor za obratovanje na koncu jaška. Jašek pri takšnem sistemu mora ustrezati velikosti največjega dela zapornice, da se zagotovi prostor za morebitna popravila.

V primeru izvrtanih tunelnih izpustov se dostopni jašek lahko umesti v hribinsko pobočje. Jašek namenjen le prezračevanju in dostopu se obloži s tanko plastjo betona, med tem ko jašek, v ureditvi sistema z mokrim vodnjakom obložimo s primerno oblogo, s katero zagotovimo dobro vodotesnost.

Pri cut-and-cover tunelih se dostopni jašek uredi z vrha pregradnega nasipa. Upoštevati je potrebno premikanje oz. posedanje tal pod nasipom in posledično previdno postopati pri načrtovanju sistemov z mokrim vodnjakom. Pri načrtovanju je treba zagotoviti zadostno podajnost elementov in stikov med njimi, da premiki ne privedejo do nastajanja razpok, ki bi dovoljevale zamakanje okolice iz notranjosti jaška. Dimenzije sten jaška morajo zagotavljati prenos notranjih hidrostatskih tlakov (pri polni zajezi) in zunanje obtežbe nasipa. Pri jašku, ki iz nasipa preide v vodni del rezervoarja, je potrebno upoštevati tudi zunanje hidrostatske tlake ter izvesti potresno analizo (Blair, 1987).

4.1.6 Upravljalna hišica

Upravljalna hišica je zaradi varovanja upravljanih naprav pred delovanjem vremena običajno nameščena v bližini zapornega sistema. Velikokrat je pozicionirana na vrhu dostopnega jaška, da pokriva vhod do zapornic. Velikost upravljane hišice mora omogočati hrambo opreme za merjenje pretoka, manjši generator in orodje ter opremo za vzdrževalna dela.

4.1.7 Vtočni objekt

Vtok v izpust ima poleg funkcije zajemanja vode lahko tudi vlogo zaporničnega objekta. Na vtočnem objektu je običajno nameščena dodatna potrebna oprema kot so: grablje za plavje, ovire za ribe, dodatne naprave za obtok in preusmeritveni kanali. Vtočni objekt se lahko opremi tudi z opremo in nastavki za vgrajevanje tunelnih čepov in tramovnih oz. segmentnih zapornic.

Izbira oblike vtoka se določi na podlagi namena in funkcije, ki jo vrši ter višine zaježitve, načrtovane hidravlične prevodnosti, pogostosti potrebne izpraznitve akumulacije, vrste plavja, ki se pojavlja, značilnosti zmrzovanja, delovanja valovanja ipd.

V primeru, ko je vtok urejen z zaporničnim sistemom, je potreben stolpni vtok, ki seže do maksimalne višine zaježitve. Stolp je primeren tudi v primeru, ko je potrebna dostopna ploščad za odstranjevanje plavja, vzdrževanje, čiščenje ovir za ribe ali pa za montažo tramovnih zapornic. V kolikor se ne potrebuje nič od naštetega in je zapornični sistem umeščen kje drugje v talnem izpustu, se lahko vtočni objekt osnuje v potopljeni obliki (Blair, 1987).

Vhod v vtočni objekt je glede na potrebe moč postaviti navpično, vodoravno ali poševno. Vtočni objekti na višini prepusta so običajno postavljeni navpično v nekaterih primerih pa lahko vtočni objekt

zgradimo na gorvodnem pobočju nasipa pregrade oz. na bregu zadrževalnega bazena. Vtočni objekt je zaradi boljše hidrodinamike in manjših hidravličnih izgub običajno zaokrožene ali pa zvončaste oblike (Chin, 2013).

Potreba po grabljah oz. vrsta grabelj je odvisna od: velikosti prepusta, velikosti zapornic in zaporničnega sistema, vrste in značilnosti plavin, vrste rabe izpuščene vode ter ostalih potencialnih relevantnih faktorjev. Prav tako so od vseh teh faktorjev odvisne velikosti rež pri grabljah oz. rešetkah. V primeru zasnove manjšega prepusta z zapornim sistemom z zasunom, je potrebno upoštevati nevarnost zamašitve že z manjšimi plavinami, zato je primerno uporabiti grablje z manjšimi režami. Veliki prepusti z drsnimi zapornicami pri katerih ne obstaja nevarnost zamašitve oz. poškodbe z manjšimi plavinami pa lahko opremimo samo s stebri in nosilci, ki zadostujejo za zadrževanje večjih dreves in plavin podobnih velikosti. Pri snovanju vtoka moramo biti pozorni tudi na dostopnost objekta zaradi čiščenja plavin z grabelj in vzdrževanja. Potopljena rešeta, ki jih je zaradi redkega nižanja gladine vode v akumulaciji težko čistiti, je potrebno urediti za volumensko večje in daljše zadrževanje plavin. Pri vtokih v talni izpust, ki ima zaporni sistem nameščen na vtoku in bi lahko večje, čez rešeto štrleče, plavine ovirale zapiranje zapornic je prav tako potrebno urediti rešeta.

Rešeta oz. grablje so sestavljene iz tankih ploščatih železnih palic, ki so nameščene od 7 do 15cm narazen odvisno od velikosti plavja, ki ga je potrebno zadržati. Potrebna zagrada površina je odvisna od hitrosti toka skozi rešeto, ta pa je odvisna od značilnosti plavja, ki ga je potrebno zadržati oz. odstraniti. Hitrosti toka čez rešeto, ki ga ni mogoče čistiti naj nebi presegle 0,6m/s kjer pa ureditev omogoča sprotno čiščenje pa so dopustne hitrosti tja do 1,5m/s (Blair, 1987).

Oblika rešeta za lovljenje plavja je odvisna od oblike vtoka ter vrste montaže. Za jaškast vtok (ang. drop inlet) se lahko uporabi kletko nad vtokom, kletko v obliki odprte škatle pred navpičnim vtokom ali pa rešetasto konstrukcijo po sprednji dolžini stolpne konstrukcije vtoka. V nekaterih primerih je potrebno zagotoviti tudi zadrževanje (preusmerjanje) rib, da le te ne bi zašle v talni izpust. Zadrževanje rib se zagotovi z ovirami za ribe v obliki manjših rešet, ker pa se ta zelo hitro zamašijo s plavjem je potrebno na ovirah za ribe tako urediti čiščenje z metlami ali pa z vodnim curkom. V primerih, ko je zapornica nameščena nekje v prepustu, je zaradi potreb vzdrževanja in izvajanja popravil potrebno urediti sistem za razvodnjevanje (omogočanje suhega dostopa v iztočni objekt) od zapornice gorvodnega dela prepusta. Razvodnjevanje se največkrat uredi s tunelnimi čepi ali tramovnimi zapornicami, kar na samem vtoku oz. tik za vtočnim objektom. V primeru zapornic vgrajenih na samem vtočnem stolpu je prav tako potrebno zagotoviti izsušitev dela izpusta pred zapornicami. Pri vgradnji tunelnega čepa sodeluje čoln s katerega se spusti čep in potapljači, ki čep namestijo na ležišče vgrajeno na vtočnem delu izpusta (Blair, 1987).

Zaradi različnih razlogov (potreba po izpuščanju v času izvajanja popravil na glavni zapornici, izpraznitev in izsušitev pregrade za kontrolo ipd.) je včasih potrebno nivo vode spustiti pod prag vtočnega objekta, zato je na dnu objekta dobro izvesti obtočni kanal ter ga povezati z izpustom dolvodno in ga opremiti z zapornico ali metuljastim zasunom (Chin, 2013).

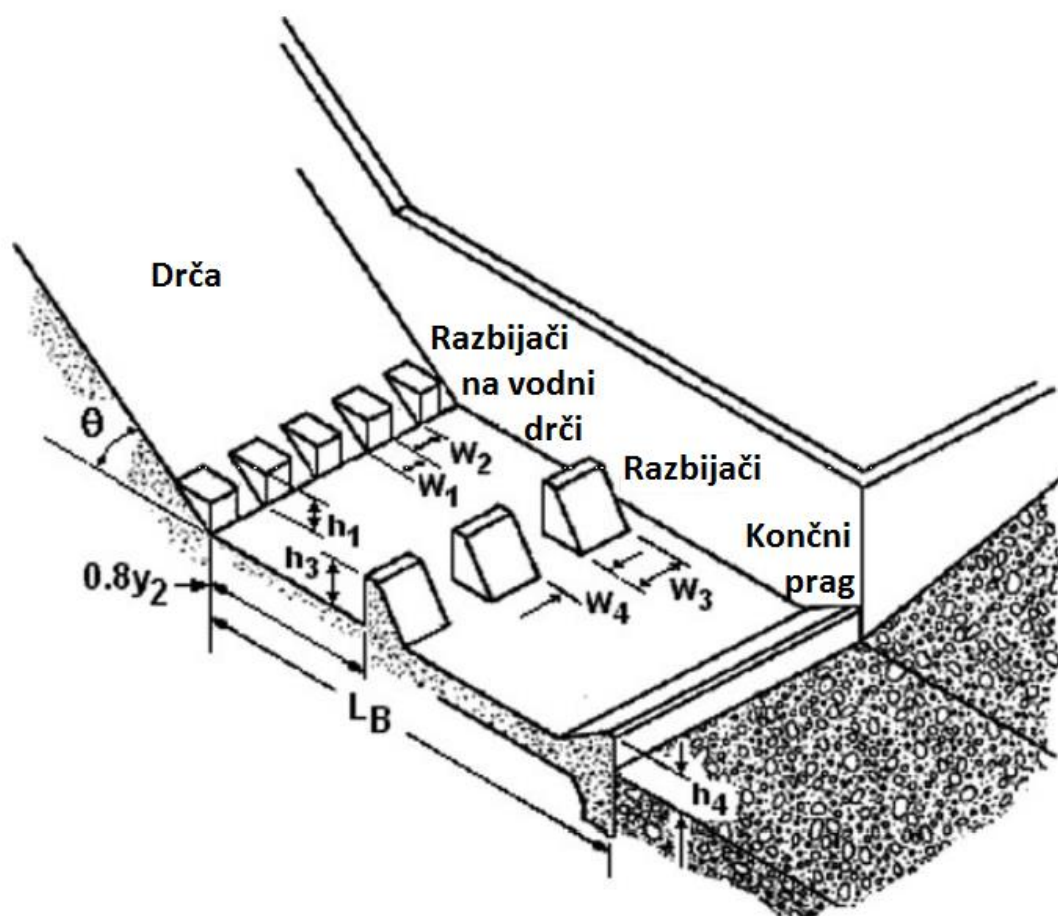


Slika 8: Vtočni objekt, Pregrada Drtijščica (vnaravi.si, 2015)

Posebej je potrebno preučiti vpliv zamrznitve gladine vode pri zadrževalnikih, ki zadržujejo vodo tudi čez zimo. Zamrznjena gladina lahko na vtočni objekt deluje na dva načina: v obliki bočnih sil in v obliki dvižnih sil ob polnjenju zadrževalnika in dviganju zamrznjene gladine. Obravnava teh sil lahko odločilno vpliva na izbiro potopljene oblike vtočnega objekta. Zaledenitvi površja akumulacije okoli vtočnega objekta se lahko ognemo s pomočjo vpihavanja stisnjenega zraka iz cevi na dnu ob objektu, ki premeša toplejšo vodo iz globin s hladnejšo na površju (Blair, 1987).

4.1.8 Iztočni del in umirjevalne naprave podslapja

Pri iztoku iz talnega izpusta so hitrosti toka običajno velike in usmerjene horizontalno. Izpust lahko usmerimo naravnost v reko le v primeru, da je v plitvi globini dovolj trda kamnina, ki je odporna na erozijo. V nasprotnem primeru pa moramo tok izpusta z deflektorjem usmeriti stran od dolvodne pete pregrade in se tako izogniti eroziji vode in spodkopavanju pregradnega nasipa. Osnovni poseg, ki je potreben za omejitev erozije izpustnih voda, je kopanje tolmana, ki se ga nato obloži s kamni (kamnomet) ali betonom. Za dodatno umirjanje izpuščenega vodnega toka se lahko poslužujemo podobnih naprav kot pri urejanju podslapja preлива, vendar obstajata dve bolj značilni napravi za talni izpust. Podslapje z razbijači ovira tok vode s fiksnimi ovirami imenovanimi razbijači. Druga naprava pa se imenuje umiritveni vodnjak, ki s pomočjo turbulentnega toka nastalega pri dviganju vode v z vodo zapolnjenem vodnjaku preusmerja sile, ki nastajajo na izpustu (Blair, 1987).



Slika 9: Primer urejenega podslapja z umirjevalno napravo (Xiaofeng, 2014)

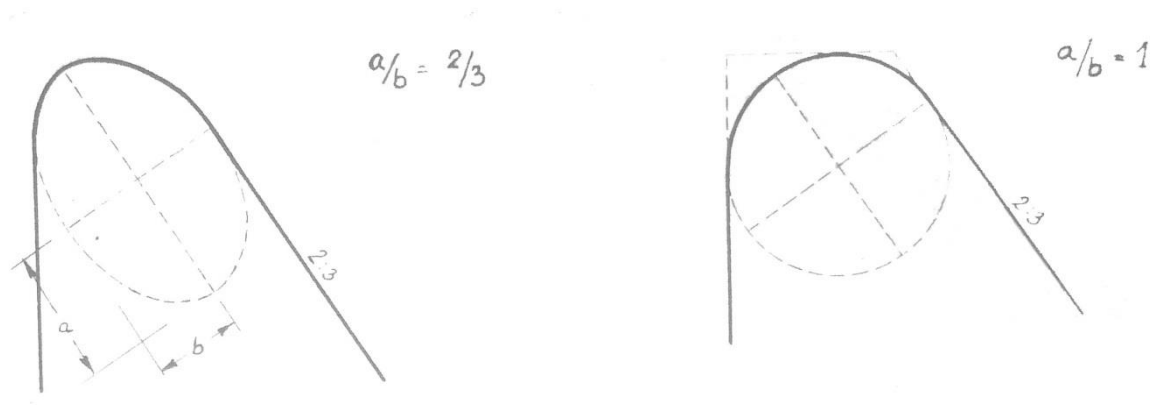
4.1.9 Vtočni in iztočni kanal

Pri opremljanju talnih izpustov se pogosto pojavi tudi potreba po vtočnem in iztočnem kanalu. Glavni namen vtočnega kanala je usmeritev toka vode do talnega izpusta na krilu pregrade oz., v primeru nizkih vodostajev, do vtočnega objekta talnega izpusta. Iztočni kanal se uporabi kot prehodni objekt od konca talnega izpusta do rečne struge. Projektirane hitrosti vode skozi vtočni kanal naj bi bile manjše od hitrosti skozi rešeto pri vtočnem objektu, zato je potrebno vtočnemu kanalu določiti primeren naklon in prerez s čimer preprečimo erozijo okoli vtočnega objekta. Vtočni kanal se proti vtočnemu objektu postopno razširi kar zagotavlja enakomerno razporeditev toka vode skozi vse reže rešeta. Kanal je potrebno glede na lastnosti materiala po katerem teče tudi primerno utrdi z betonsko oblogo ali skalometom. Na iztočni kanal se lahko pritrdijo tudi kontrolne oz. merilne naprave, kar lahko pogojuje izbiro naklona in prereza kanala. Pri dimenzioniranju iztočnega kanala je potrebno biti pozoren tudi na verjetnost poglabljanja ali zasipanja rečne struge.

4.2 Geometrijske oblike prehodnih elementov

Da bi zagotovili čim manjše hidravlične izgube in preprečili kavitacijo na sistemu talnega izpusta, se določene elemente sistema oblikuje karseda hidrodinamično. Oblika vtočnega objekta naj bi posnemala obliko curka vode usmerjenega v zrak. V primeru, da je vtočna krivulja preostra ali prekratka, lahko podtlak, ki se ustvari, pripelje do razvoja kavitacije (Novak, 2001).

Najprimernejše oblike prelivnih polj so tiste, ki se prilagajajo tokovnicam. Dve možnosti ureditve krivočrtnega preлива sta prikazani na sliki 10.



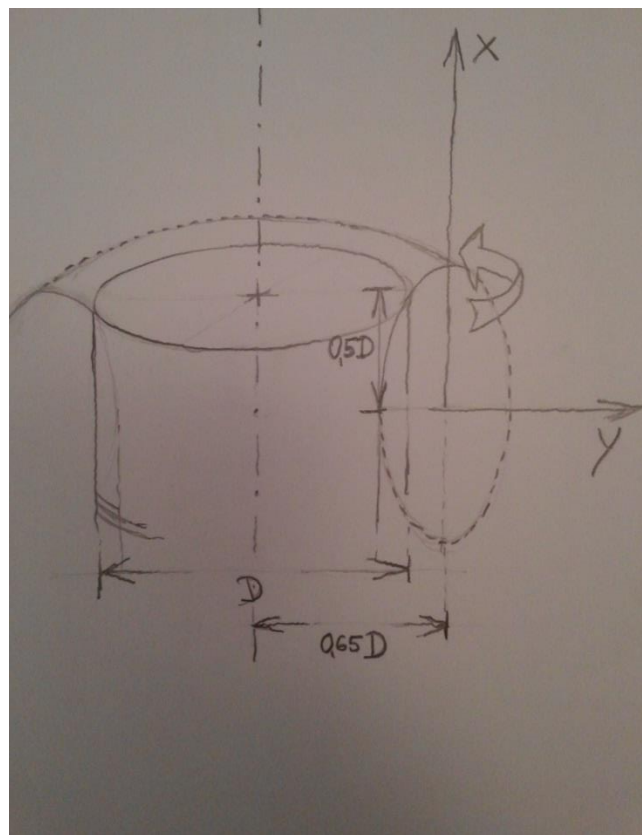
Slika 10: Elipsasti in krožni preliv (Goljevšček, 1960)

Najidealnejša je zvončasta oblika vtoka, saj najbolje posnema potek tokovnic. Zvončasto obliko lahko posnemamo z elipsasto vtočno krivuljo z naslednjo enačbo:

(jašek okrogle oblike)

$$\frac{x^2}{(0,5D)^2} + \frac{y^2}{(0,15D)^2} = 1$$

(Blair, 1987)



Slika 11: Prelivno polje v elipsasti obliki

x... koordinatna os, ki je vzporedna z osjo jaška
 y... koordinatna os, ki je pravokotna na os x.
 D... premer prepusta oz. jaška na koncu prehodne krivulje

Pri jaških kvadratne ali pravokotne oblike pa je obliko težje določiti, saj bi bilo potrebnih več krivulj različnih dolžin in različnih ukrivljenosti. Najidealnejši obliki se približa krivulja z naslednjo enačbo:

$$\frac{x^2}{H^2} + \frac{y^2}{(0,33H)^2} = 1$$

(Blair, 1987)

H... za določevanje zgornjih in spodnjih krivulj - višina vtočnega objekta/za določevanje stranskih krivulj svetli premer vtočnega objekta

Pri prepustnem delu talnega izpusta kjer so nameščene zapornice je potrebno zagotoviti tudi postopen prehod med prepustom in zapornico. Postopen prehod (zožitev) zagotovimo z maksimalnim kotom stekanja, ki ga določa naslednji izraz:

$$\tan \alpha = \frac{1}{U}$$

(Blair, 1987)

α ... kot nagiba sten prepusta

U... parameter, ki ga določa izraz: $U = \frac{v}{\sqrt{g*D}}$

(v... povprečna hitrost med začetkom in koncem prehoda, D... povprečen premer med začetkom in koncem prehoda)

Razširitev mora biti zaradi večje nevarnosti pojava kavitacije bolj postopna. Določa jo naslednji izraz:

$$\tan \alpha = \frac{1}{2U}$$

in

$$\alpha \leq 10^\circ$$

(Blair, 1987)

Prehodni del iz okroglega prepusta v podslapje, z drčo z ravnim dnom, se lahko oblikuje znotraj prepusta ali pa v obliki odprtega kanala dolvodno od konca prepusta. Dolžino prehodnega dela določa naslednja enačba (Blair, 1987):

$$L = \frac{v*D}{5}$$

v... hitrost iztoka

D... premer prepusta

4.3 Določitev minimalne količine izpusta vode

Talni izpust v sistemu zadrževalnika v osnovi deluje kot dušilka, s katero reguliramo iztok vode v strugo dolvodno. Ta dušilka ima pomembno vlogo predvsem ob visokih vodah – preprečevanje poplav.

Na dimenzioniranje količine izpusta vode vpliva več dejavnikov. Enega izmed glavnih faktorjev predstavljajo vsesplošne potrebe po vodi in načrtovana hidravlična prevodnost struge dolvodno, seveda pa je potrebno upoštevati tudi predpise o poplavni varnosti, kapacitete v zadrževalniku ter biološko sprejemljivo pretočnost struge dolvodno. V primeru graditve energetskih objektov pa je potrebno upoštevati tudi karakteristike turbin in generatorjev (Blair, 1987).

Dolvodno se izpuščena voda največkrat uporablja za namene namakanja kmetijskih površin in v primeru, da se voda izteka v reko, za ohranjanje minimalne potrebne količine vode za zagotavljanje nemotenega delovanja ekosistema rečne struge. Količine potrebne za namakanje so odvisne od zahtev določenega kmetijskega projekta, oz. posameznih kmetij – kmetijskih površin. Pri načrtovanju je prav tako treba določiti količine vode potrebne za gospodinjsko uporabo. Volumen vode potreben za ohranjanje osnovnega pretoka se običajno zagotovi z ostalimi potrebnimi volumni izpusta, saj so le ti velikokrat zadostni. Minimalen volumen pretoka za zagotavljanje samočistilne sposobnosti vodotoka in ohranjanje ekosistema pa se pogosto zagotavlja s posebnimi izpusti in obvodnimi kanali, ki izvirajo iz zaporničnega prekata ali pa dolvodne zaporne konstrukcije (Blair, 1987).

4.4 Iztok poplavnih vod

V primeru nadzora poplavnega vala ob visokih nivojih vodne gladine v zadrževalniku, se lahko za izpust vode iz pregrade uporabi prelivno polje z zapornico, za primere nižjih gladin pa talni izpust. Volumen izpusta se določi na podlagi predvidenega pritoka vode s poplavnega območja in časom praznjenja kapacitet zadrževalnika, ki so na voljo.

Skupna količina izpustov poplavnih in namakalnih vod z upoštevanjem vseh pritokov in prilivov od pregrade dolvodno ne sme preseči kritičnega pretoka rečne struge, saj le tako lahko zagotavljamo zadostno protipoplavno varnost (Blair, 1987).

4.5 Pozicioniranje vtoka v izpust glede na gladino vode v zadrževalniku

Na pozicioniranje višine vtoka v izpust vpliva več faktorjev. V osnovi moramo pozicionirati višino odtoka dovolj pod gladino stalne ojezeritve zadrževalnika, da zagotavljamo pretok skozi izpust. V primeru manjših zadrževalnikov pri katerih ni predvidenega trajnega zadrževanja vode, so običajno vtoki v izpust blizu dna struge. Manjše zadrževalne pregrade služijo le začasnemu zadržanju iztekajočih se vod poplavnega vala. Pri graditvi zadrževalnikov z namenom trajnega zadrževanja vode, ki se izpusti v času nizkih pretokov pa je potrebno vtok v izpust pozicionirati višje in sicer na delovno (operativno) višino pregrade. Zagotoviti je potrebno tudi manjši obvodni izpust za ohranjanje pretoka vode dolvodno oz. za drenažo vode izza pregrade v obdobjih z manj pritoka. Pri snovanju vodnih zadrževalnikov se v praksi običajno ohrani del kapacitete zadrževalnika za odlaganje sedimentov, ohranjanje živalskih in rastlinskih vrst ter rekreacijsko uporabo zajezitve. Višina vtoka ima pomemben vpliv tudi na dimenzioniranje izpusta. Razlika med višino vode in višino vtoka je v obratni zvezi z dimenzijami izpusta, tako na projektiranje pomembno vpliva tudi ekonomski faktor (Blair, 1987).

4.6 Umeščanje izpusta

V primeru urejanja izpusta pri nižjih pregradah se le ta uredi v obliki odprtega škatlastega ali cevnega prepusta ob strani pregrade. Izpust se opremi z zapornico podobno kot pri ureditvah prelivov oz.

potopljeno zapornico, ki zapira odprtino v krilnem ali čelnem zidu. Izpust je pri nižjih zemeljskih pregradah lahko urejen tudi v obliki ene ali več odprtin (cevnih prepustov) ki tečejo pod nasipom pregrade in se jih regulira z zapornicami na vtoku ali na sredini prepusta.

Višje zemeljske pregrade pri katerih kanalni izpust s prosto gladino ni mogoč pa je potrebno opremiti s cevnim izpustom tehnologije »cut-and-cover« mimo, pod ali skozi pregrado. V poštev pride tudi stranski tunel ob pregradi. V odvisnosti od položaja zapornic je lahko tok v prepustu s prosto gladino ali pod tlakom oz. kombinirano. Po potrebi lahko na iztočnem delu vgradimo umiritvene naprave ali pa iztok kombiniramo s podslapjem prelivnega polja (Blair, 1987).

Pri betonskih pregradah se sistemi hidravličnega izpusta umestijo kar na betonsko konstrukcijo. Na gorvodni strani betonske pregrade se locira vtočni objekt, na dolvodni strani pa iztočni objekt in umirjevalne naprave oz. podslapje. Velikokrat se v praksi izpust spelje čez prelivno polje kar na podslapje prelivnega polja. V primeru potrebe po preusmerjanju toka vode iz izpusta v kanal pa se za izpust uredi posebno podslapje. V namen cenejše in lažje izvedbe se lahko namesto velikega prepusta uporabi več manjših. Takšen hidravlični izpustni sistem je izvedljiv na dva načina: prepusti na isti višini in prepusti na različnih višinah, ki je tudi cenejši kar se tiče zapornic, zaradi manjših tlakov na višjih (Blair, 1987).

5 HIDRAVLIKA IZPUSTNIH SISTEMOV

Hidravlično gledano se vzdolž izpustnih sistemov pojavljajo različne vrste toka vode. Vrsta toka je običajno odvisna od višine gladine zajezone vode v akumulaciji. Ob nizkih višinah gladine vode v akumulaciji, voda skozi izpustni sistem običajno teče v obliki toka s prosto gladino. Za analizo toka s prosto gladino sta se uveljavili dve semi-empirični enačbi to sta Manning-ova in DeChezy-jeva enačba. Pri zadrževanju visokih voda pa se zaježitvena višina v zadrževalniku dvigne in v talnem izpustu pogosto pojavi tok pod tlakom (kot v cevovodu). Te vrste tokov analiziramo predvsem z empiričnimi grafi (nomogrami) ter empirično dobljenimi koeficienti za določanje hidravličnih izgub (Steinman 1992).

5.1 Tok vode s prosto gladino

Za račun toka vode s prosto gladino predpostavimo, da je tok stalen in enakomeren. Čeprav je pogoje za tako predpostavko v praksi redko mogoče zagotoviti pa je možno pri izračunu izhajati iz predpostavk, ki nam zagotavljajo zadostno varnost, brez vnosa bistvene napake v izračun (Steinman 1992).

Enačbe za izračun enakomernega toka bazirajo na naslednji obliki:

$$\bar{u} = C * R^x * I_0^y$$

(Steinman 1992)

\bar{u} ... povprečna hitrost po prerezu
 R... hidravlični radij
 I_0 ... vzdolžni padec/naklon
 C... koeficient
 x, y... eksponenta

Leta 1769 je Antoine de Chezy postavil enačbo:

$$v = C\sqrt{(R * I)},$$

(Steinman 1992)

v... hitrost
 C... de Chezy-jev koeficient

ki jo je leta 1889 inženir irskega rodu Robert Manning še nekoliko spremenil in dodelal v:

$$\bar{u} = 1/n_G * R^{2/3} * I_0^{1/2}$$

kjer je:

$$n_G = R^{1/6} / C$$

(Steinman 1992)

n_G ... koeficient hrapavosti

Na podlagi določljivosti koeficienta hrapavosti, se odločimo za uporabo de Chezy-jeve oz. Manningove enačbe. V slovenski hidrotehnični praksi se je bolj uveljavila uporaba Manningove enačbe.

Koeficienta C in n_G sta oba povezana z Reynoldsovim številom, ki razmejuje tri različne režime (gladek, prehodni in popolnoma hrapav) turbulentnega toka ob obodu korita, ki tam povzročajo zaviranje toka. Za določitev teh koeficientov se v praksi uporabljajo različne tabele in metode izračunov (Steinman 1992).

Pretok korita je:

$$Q = \bar{u} * S$$

S ... Prečni prerez omočenega korita

Pri toku s prosto gladino moramo pri analizi pretočnosti vtočnih objektov upoštevati tudi učinek kontrakcije na prelivu.

V primeru jaškastih vtočnih objektov prihaja do izgub energije tudi zaradi kontrakcije ob vtoku. Zaradi vodoravne hitrosti vode se tokovnice odlepijo od sten jaška in se združijo v snop na sredini.

Koeficient kontrakcije oz. zožitve se izračuna z naslednjo enačbo:

$$\varepsilon_k = 1 - a * \frac{H_0}{b_k + H_0}$$

$$b_k = \varepsilon_k * b$$

(Steinman 1992)

a ... koeficient oblike stebrov

H_0 ... energijska višina vode na prelivu

b ... širina prelivnega polja

b_k ... zožena širina toka zaradi kontrakcije

ε_k ... koeficient kontrakcije

Tako je pretok preliva enak:

$$Q = m * b_k * \sqrt{2g} * H^{2/3}$$

(Steinman 1992)

m ... pretočni koeficient preliva

b ... širina prelivnega polja

H ... višina vode na vtoku

5.2 Tok vode pod tlakom

Tok vode pod tlakom se v talnem izpustu običajno pojavi kadar je zaporni sistem nameščen precej pod vtočnim objektom ali pa ko v zadrževalniku zadržujemo visoke vode in se tako nivo akumulacije dvigne ter vodni tok zapolni celoten presek izpusta.

Za izračun pretoka pretočnih elementov s tokom pod tlakom se je uveljavila Bernoullijeva enačba:

$$p + \rho * g * z + \frac{v^2 \rho}{2} = cons. [Pa]$$

(Steinman 1992)

Z manjšo prireditvijo enačbo spremenimo v energijsko enačbo, saj je zaradi svoje dimenzije (hidravlične višine v metrih) bolj uporabna in bolj nazorna:

$$\frac{p}{\rho * g} + z + \frac{v^2}{2 * g} = cons. [m]$$

(Steinman 1992)

$$\frac{p}{\rho * g} \dots \text{ tlačni del [m]}$$

$z \dots$ višinska razlika (vtok, iztok) [m]

$$\frac{v^2}{2 * g} \dots \text{ hitrost vode [m]}$$

Pri računanju pretokov sistema je potrebno upoštevati naslednje hidravlične izgube:

- Linijske hidravlične izgube: $\sum \Delta E_{lin,i}$
- Lokalne hidravlične izgube: $\sum \Delta E_{lok,i}$

Linijske ali trenjske hidravlične izgube se pojavljajo zaradi strižnih napetosti na omočenem obodu cevovoda in so tako odvisne od vrste materiala cevovoda ter proporcionalne kinetični energiji toka. V praksi se za lažji izračun linijskih izgub uporablja Darcy-Weissbachov empirični brezdimenzijski faktor λ , ki se giblje med 0,02 in 0,05 (Steinman 1992).

Energijsko izgubo zaradi trenja zapišemo:

$$\Delta E_{tr} = \lambda \frac{L}{4 * R} * \frac{v^2}{2 * g}$$

(Steinman 1992)

$L \dots$ dolžina cevovoda

$\lambda \dots$ faktor linijskih izgub

Lokalne hidravlične izgube se pojavljajo na vseh točkah cevovoda, pri katerih prihaja do spremembe smeri tokovnic in s tem motnje v toku. Na teh točkah prihaja do izrazitega turbulentnega toka, zato so lokalne izgube prav tako kot linijske proporcionalne kinetični energiji toka (Steinman 1992).

Osnovno enačbo lokalnih energijskih izgub zapišemo:

$$\Delta E_{lok} = \xi_{lok} * \frac{v^2}{2 * g}$$

(Steinman 1992)

$\xi_{lok} \dots$ koeficient lokalnih izgub, odvisen od geometrijske deformacije lokalnih tokovnic (empirični, brezdimenzijski koeficient)

Izguba zaradi hipne razširitve nastane, ker se morajo tokovnice postopoma prilagoditi na novo razporeditev in je odvisna od razmerja površin presekov prvega dela in razširjenega dela cevovoda. V vogalih ob razširitvi se pojavi odlepljanje tokovnic v nastalem prostoru pa vrtnčasti tok. Energijsko izgubo je izrazil Charles Borda in se zapiše v naslednji obliki:

$$\Delta E_{hr} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

(Steinman 1992)

Koeficient za velikost izgube na iztoku iz cevi lahko izpeljemo iz izraza za izračun izgub pri hipni razširitvi, saj ob predpostavki, da je površina posode zelo velika (∞) v primerjav s površino cevi, lahko izračunamo, da koeficient lokalne izgube znaša:

$$\xi_{iz} = 1,0 \text{ (Steinman 1992)}$$

oz. je enaka kinetični energiji toka, ki se z vrtnčenjem v posodi porazgubi.

Prav tako je energijski izgubi hipne razširitve analogna energijska izguba hipne zožitve, ki se zapiše:

$$\Delta E_{hz} = \xi_{hz} * \frac{v^2}{2 * g}$$

(Steinman 1992)

Za račun izgube energije na vtoku prav tako kot pri iztoku privzamemo, da je presek posode zelo velik (∞). Izguba na vtoku je odvisna od geometrije vtoka tako je koeficient za:

- a) Ostrorobi vtok: $\xi_{vt} = 0,5$
- b) Konusni vtok: $\xi_{vt} = 0,15 - 0,20$
- c) Hidravlično ugodnejše oblikovane vtoke: $\xi_{vt} = 0,06$

(Steinman 1992)

Izgube, ki nastanejo zaradi lomljenja cevovoda, so odvisne od kota preloma in premera cevi. Izgube, ki nastanejo zaradi ukrivljenja cevovoda pa so odvisne od razmerja med radijem ukrivljenja, polmerom cevi ter kota krivine. Ti dve vrsti izgub lahko opišemo z naslednjimi enačbami:

$$\xi_{kr} = \left(0,13 + 0,85 * \left(\frac{2R}{R_{kr}} \right) \right) * \frac{\alpha}{90^\circ}$$

R_{kr} ... Radij krivine

α ... kot odklona od osi cevovoda

$$\text{Krivina: } \Delta E_{kr} = \xi_{kr} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$\text{Koleno: } \Delta E_{kol} = \xi_{kol} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Lokalne izgube ventilov in zapornic so odvisne od zaprtosti prereza cevovoda oz. pri polni odprtosti od posameznega tipa zasuna oz. zapornice ter načina vgradnje (Steinman 1992).

$$\Delta E_z = \xi_z * \frac{v^2}{2 * g}$$

K lokalnim izgubam pripomorejo tudi rešetke za zadrževanje plavja na vtočnem delu cevovoda. Učinek rešetak oz. grabelj je odvisen od koeficienta oblike palice, širine palice glede na smer toka, širine svetle odprtine med palicami in kota naklona palic (Steinman,1992).

$$\Delta E_{reš} = \xi_{reš} * \frac{v^2}{2 * g}$$

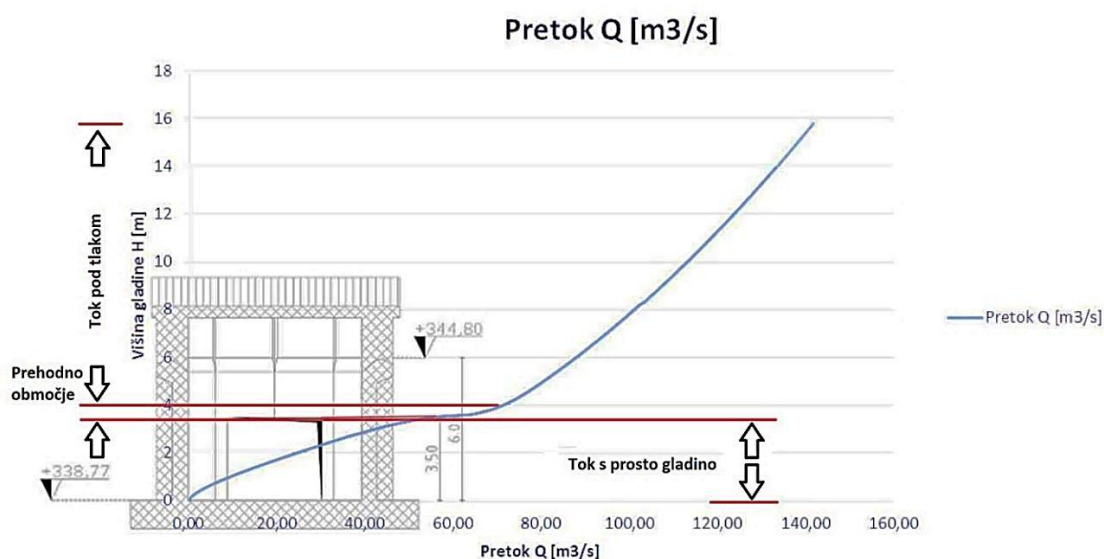
$$\xi_{reš} = \beta * \left(\frac{d}{a}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \alpha$$

- β ...koeficient oblike palic
- a ... svetla odprtina med palicami
- d ... širina palice glede na smer toka
- α ... nagib palice glede na vodoravno ravnino.

Da hidravlični sistem deluje in vodni tok teče, mora biti zagotovljeno:

$$\sum \Delta E_{lok,i} + \sum \Delta E_{lin,i} \leq \frac{p}{\rho * g} + z + \frac{v^2}{2 * g} \quad (\text{Blair, 1987})$$

Prehod iz vodnega toka s prosto gladino v tok vode pod tlakom se zgodi zvezno v prehodnem območju. Talni izpust prevaja tok vode s prosto gladino vse do popolne zapolnitve prereza na kar se zgodi prehod v tok vode pod tlakom kot je prikazano na grafikonu 1.



Grafikon 1: Spreminjanje vrste toka skozi talni izpust

6 ZADRŽEVALNIK DRTIJŠČICA

Pregrada Drtjščica je bila zgrajena leta 2002 z namenom zaščite pred visokimi vodami reke Radomlje in Drtjščice. V vodni zadrževalnik se steka reka Drtjščica s svojim umetno zgrajenim pritokom reke Radomlje in dvema manjšima potokoma. Pritok reke Radomlje reki Drtjščici poteka po vodnem rovu, ki teče iz Krašnje do Vinj. Zadrževalnik Drtjščica je med lokalnim prebivalstvom bolj znan pod imenom Gradiško jezero in drži pomembno vlogo tudi v sociološkem smislu. Predstavlja pomembno lokacijo za ribiško družino Bistrica Domžale prav tako pa tudi priljubljeno traso za vse ljubitelje teka in s svojo 290000m² veliko površino zajezbe odlično jezero za plovbo malih jadrnic (Mav 2003).

6.1 Tehnične značilnosti zadrževalnika

Pregrada glede na slovensko klasifikacijo pregrad spada med velike vodne pregrade državnega pomena in predstavlja značilno zemljinsko nasuto dolinsko pregrado. V sklopu projekta zadrževalnika sta bila zgrajena dva objekta: pregrada in vodni rov.

Na pregradi so zgrajeni štirje objekti, ki omogočajo njeno delovanje in varnost. Pregrada ima talni izpust, ki ob prosti gladini omogoča 50m³/s pretok, urejeno podslapje, osem-kotni vtočni objekt ter zapornični sistem za regulacijo pretoka, ki je umeščen v pregradno telo. Na pregradi je na koti 355,3 zgrajen 40m širok varnostni preliv, ki naj bi ob ekstremno visokih vodah in hkratni zamašitvi talnega izpusta omogočil prelitje pregrade (Hidrotehnik 2002).

- Pregrada je umeščena v dolinski profil reke Drtjščice, njen vrh z nadvišanjem seže do 18,2m ter dosega koto 357,9.
- Širina pregrade na vrhu znaša 6m.
- Naklon brežine na dolvodni strani pregrade je v razmerju 1:4 na vodni strani pa 1:3.
- Širina pregrade po dnu doline znaša 150m po osi pa 256m.
- Tesnilni del pregrade predstavlja poglobljeni osrednji in zračni del pregrade iz meljastega materiala.

(Hidrotehnik 2002)



Slika 12: Prečni prerez pregrade Drtjščica - materiali (Hidrotehnik, 2002)

Talni izpust zgrajen na desnem krilu pregrade je že v času gradnje omogočal preusmeritev oz. odtok voda, sedaj pa s svojim zaporničnim sistemom omogoča varno regulacijo dotoka vode v dolino Črnega grabna. Izpust je delno vkopan v desno pobočje, saj tla v osrednjem delu doline niso dovolj stabilna (Hidrotehnik 2002).

Vzdolžni naklon prepusta znaša 1,6‰ svetli prerez pa 4,0 x 3,5m. Ob nastopu visokih voda je predvideno izpuščanje 20m³/s iz varnostnih razlogov pa prepust, po projektnih podatkih, omogoča izpust pretoka do 80m³/s. Prepust iz armiranega betona ima tri različne debeline sten. Z obzirom na

obežbo je sredinski del najdebelejši in znaša 50cm, vmesna dela imata debelino 40cm, spodnji in zgornji del pa 30cm. Med elementi prepusta so izvedeni vodotesni dilatacijski stiki in dodatno podbetoniran temelj (Hidrotehnik 2002).

Na gorvodni strani izpusta je priključen vtočni objekt na dolvodni pa podslapje. Na vtočni objekt je priključen tudi objekt za odvzem vode za namen namakanja močvirnega habitata. Objekt je izveden v obliki vertikalnega jaška pod prelivnim poljem in omogoča odvzem vode na treh kotah. Z vsake kote vodi cev, ki je speljana do revizijskega jaška, na katerega je izveden priključek za namakanje habitata (Hidrotehnik 2002).

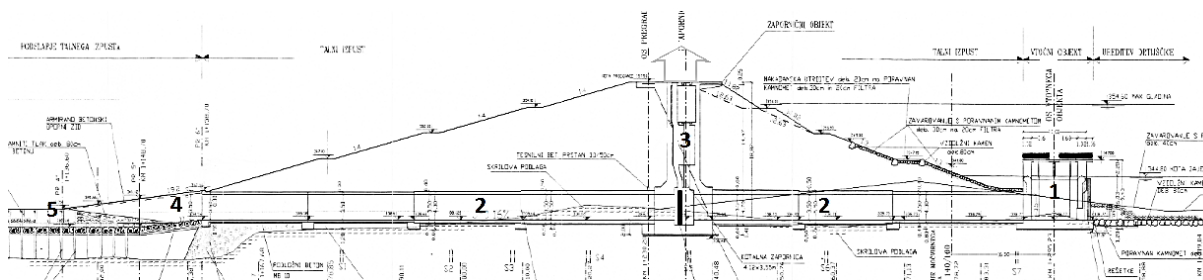
Zapornični sistem s hišico na kroni pregrade je vgrajen v sredino telesa pregrade in ima ob popolnem odprtju 4,0 x 3,5m svetlega profila. Skozi jašek je za potrebe vzdrževanja omogočen dostop do zapornice, prav tako pa za preprečevanje podtlaka skozi jašek poteka dodatna cev za dovod zraka v neposredno bližino zapornice. Upravljanje dviznega mehanizma je mogoč iz upravljalne hišice v kateri stoji tudi električni agregat (Hidrotehnik 2002).

Vtok v talni izpust je zgrajen na zgornjem koncu talnega izpusta in omogoča zaježitev na koti 344,80. V akumulaciji prihaja do majhnega nihanja gladine vode zato je vtočni objekt sestavljen iz osmih širokih prelivnih polj. Manjše nihanje gladine predstavlja manjšo obremenitev brežin in omogoča boljše koriščenje akumulacijskega prostora. Vtočni objekt je opremljen tudi z zapornico za popolno izpraznitev akumulacijskega prostora ter grobimi grabljami za preprečitev zamašitve talnega izpusta (Hidrotehnik 2002).

Prelivni rob vtočnega objekta ima obliko osem-kotnika s skupno prelivno širino 20,96m in je hidravlično oblikovan (Hidrotehnik 2002).

Stabilnost vtočnega objekta omogočajo vertikalni stebri z dimenzijami 0,30 x 1,32m, ki sežejo vse od zgornje nosilne konstrukcije do talne plošče. Na vrhu stebrov je izvedena tudi pohodna plošča do katere je mogoč dostop z dostopnega mosta (Hidrotehnik 2002).

Na dolvodni strani prepusta je zgrajeno podslapje, ki pa je bilo po poplavih leta 2010 poškodovano in kasneje sanirano.



Slika 13: Deli talnega izpusta na pregradi Drtijašica (Hidrotehnik, 2002)

Deli talnega izpusta zadrževalnika Drtijašica:

1. Vtočni objekt
2. Pravokotni prepust
3. Zapornični sistem
4. Iztok iz izpusta

5. Podslapje

Priključek iz podslapja na obstoječo strugo je bil izveden s krivino radija $R = 50\text{m}$, ki je zavarovana z vznožnim kamnom premera 80cm ter kamnometom premera 40cm (Hidrotehnik 2002).

Za zagotovitev vodotesnosti pregrade je bila izvedena tudi injekcijska zavesa dolžine 66m na desnem boku doline s koto $320,00$ (Hidrotehnik 2002).

6.2 Hidravlična analiza izpusta iz zadrževalnika Drtjščica

V sklopu diplomske naloge sem izvedel hidravlično analizo talnega izpusta zadrževalnika Drtjščica. Podatke za izračun pretokov sem pridobil iz projektne dokumentacije podjetja Hidrotehnik d.d.

6.2.1 Tok s prosto gladino

V prvem delu sem izračunal pretok skozi izpust s tokom s prosto gladino. Za izračun sem uporabil Manningovo enačbo.

6.2.1.1 Pretok preliva

Za pretok preliva sem glede na karakteristike vtočnega objekta predpostavil Craegerjev krivočrtni preliv z osmimi polji.

Podatki zbrani glede na karakteristike vtočnega objekta:

Pretočni koeficient preliva $\times 2/3 \dots$	$m [m] = 0,4956$
širina prelivnega polja...	$b [m] = 3$
koeficient oblike stebrov...	$a = 0,11$
koeficient kontrakcije...	$\epsilon_k \dots$ (se spreminja z gladino)
zožena širina zaradi kontrakcije...	$b_k [m] \dots$ (se spreminja z gladino)
gravitacijski pospešek...	$g [m/s^2] = 9,81$
Število stranic...	$n = 8$



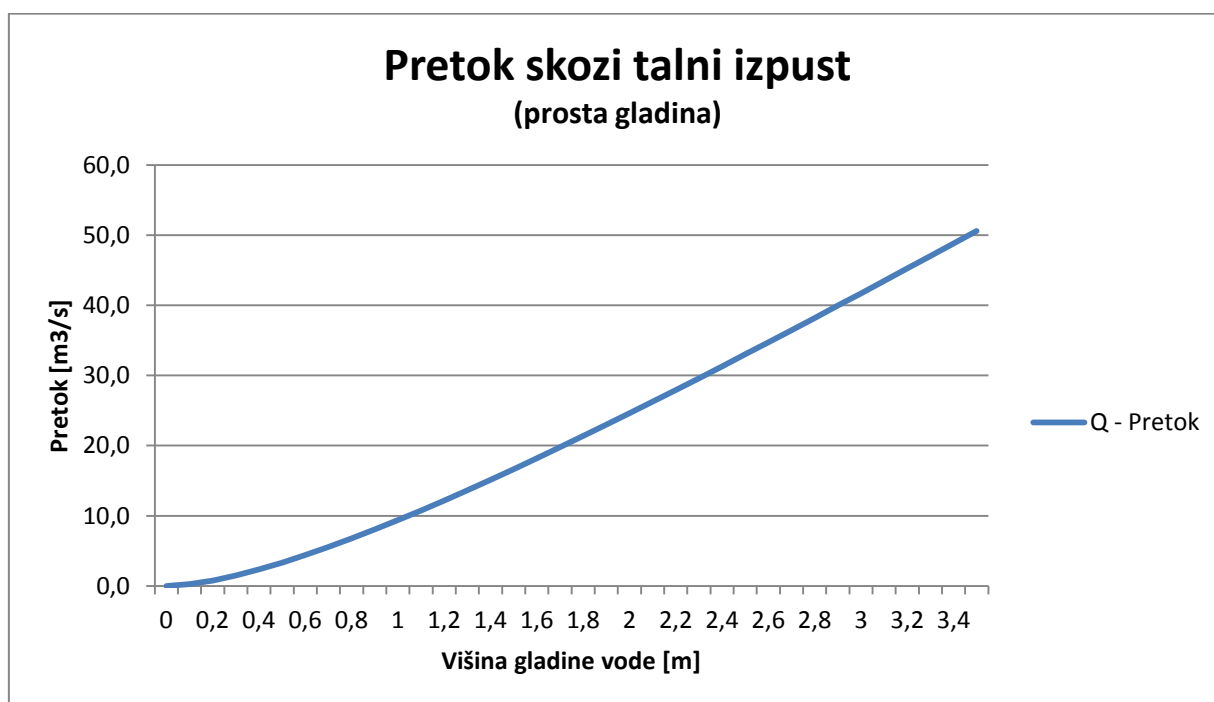
Grafikon 2: Pretok preliva vtočnega objekta

6.2.1.2 Pretok skozi talni izpust

Pri izračunu pretoka skozi talni izpust sem zanemaril energijske izgube na vtoku, saj je tam hitrost vode skoraj enaka 0m/s. V analizi talnega izpusta pri toku s prosto gladino sem upošteval le energijske izgube zaradi trenja.

Podatki zbrani glede na karakteristike talnega izpusta:

manningov koeficient...	$n_g = 0,013$
padec...	$I_0 [\text{‰}] = 1,6$
prez pretoka...	$S [\text{m}^2] = (\text{se spreminja z gladino})$
obseg omočenega profila...	$O [\text{m}] = (\text{se spreminja z gladino})$
širina prepusta...	$b [\text{m}] = 4$



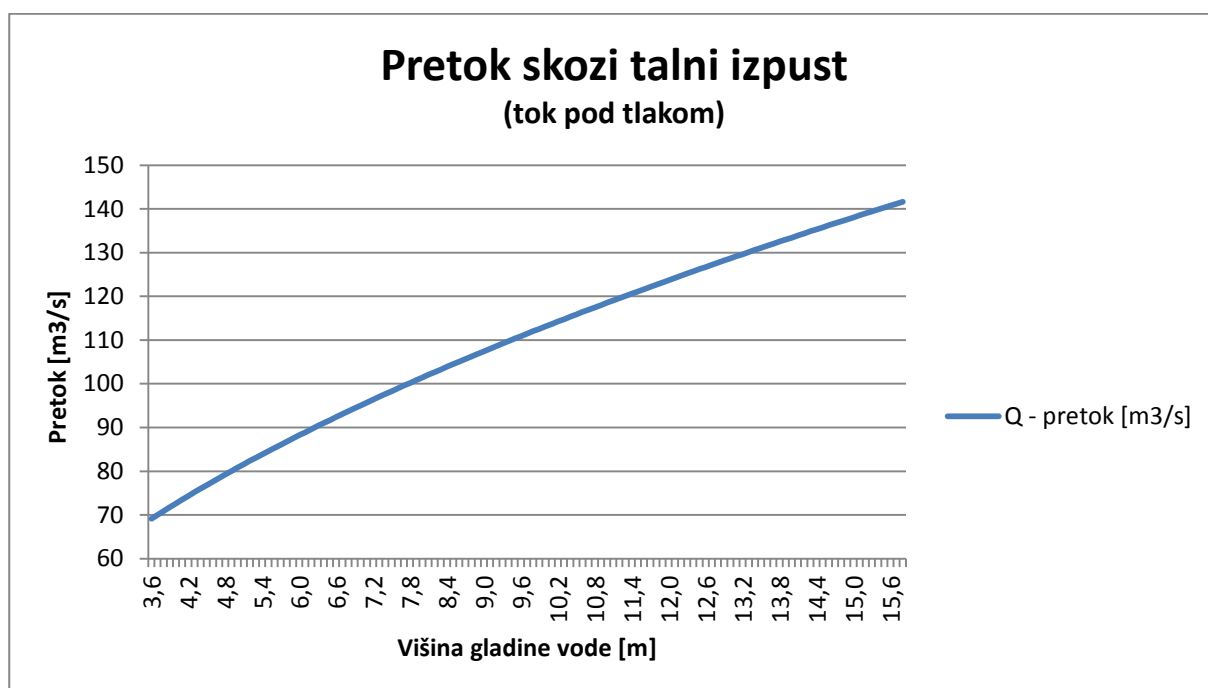
Grafikon 3: Pretok skozi talni izpust s prosto gladino

6.2.2 Tok pod tlakom

V drugem delu sem izračunal pretočnost hidravličnega izpustnega sistema zadrževalnika v primeru toka pod tlakom.

V analizi prepustnosti talnega izpusta s tokom pod tlakom sem predpostavil izgube na vtoku, izgube nastale zaradi zapornic, izgube na iztoku, izgube zaradi krivin na trasi izpusta ter linijske izgube.

Podatki:			
višinska razlika dna vtoka in dna izpusta	ΔH	[m]	0,21
gravitacijski pospešek	g	[m/s ²]	9,81
koeficient iztoka	C	/	0,82
dolžina prepusta	L	[m]	131,55
hidravlični radij	R	[m]	0,933
prečni prerez odprtine	S	[m ²]	14
omočeni obod	O	[m]	15
radij krivine 1	R ₁	[m]	65
radij krivine 2	R ₂	[m]	100
kot krivine 1	α_1	[°]	25
kot krivine 2	α_2	[°]	15
Koeficienti izgub:			
vtok	K _c	/	0,487
zapornica	K _g	/	0,1
iztok	K _v	/	2
krivina 1	K _{k1}	/	0,0361
krivina 2	K _{k2}	/	0,0217
linijske	λ	/	0,012



Grafikon 4: Pretok skozi talni izpust, tok pod tlakom

6.2.3 Celovita pretočna krivulja

V zadnjem delu pa sem povezal rezultate izračuna pretoka skozi talni izpust: toka vode s prosto gladino ter toka vode pod tlakom.

Prvotni graf se je na predpostavljenih višinah vode med 3,5m in 4m lomil. Lom grafa je predstavljal prehodno območje dveh različnih vrst toka. Od višine 0m pa do meje loma 3,5m vodni tok teče kot tok s prosto gladino. Na višini 3,5m pa se talni izpust zapolni in tok skozi 0,5m veliko prehodno območje preide na režim toka pod tlakom.

Pretok prepusta sem izračunal do višine 15,8m (kota maksimalne gladine akumulacije znaša 354,6) in ugotovil, da talni izpust omogoča računski pretok okoli $142\text{m}^3/\text{s}$.



Grafikon 5: Sestavljena pretočna krivulja, pretok skozi prepust (Strehar, 2015)

Hidravlične razmere, ki se pojavljajo na prehodu med režimoma toka računsko niso povsem pojasnjene, zato bi bilo potrebno na tem področju izvesti podrobnejše hidravlične analize in laboratorijske poskuse na fizičnem modelu.

6.3 Sanacija pregrade po poplavah leta 2010

Septembrske poplave leta 2010, ki so prizadele večji del Slovenije niso bile prizanesljive do vodne pregrade Drtiščica, ki je z zadrževanjem poplavnih voda odigrala pomembno varnostno vlogo. Pretoki skozi talni izpust, s popolnoma odprto zapornico, so bili ob poplavi zelo veliki in so na podslapju povzročili večje poškodbe, ki so jih kasneje sanirali (Hidrotehnik, 2002).

Po poplavah je bil levi bok podslapja dolvodno od betonskega zidu popolnoma uničen, prav tako so se tam pojavile velike poglobitve in zajede, material pa je voda odložila v zaključnem delu podslapja in naprej dolvodno. Silovit vodni tok je uničil talno zavarovanje podslapja in zavarovanje levega opornega zidu. Voda je poškodovala betonsko kanaletu pri iztoku v podslapje in se zajedla v vznožje pregrade (zračna stran) na levem boku talnega izpusta ter uničila betonski revizijski jašek in cevi namenjene namakanju habitata (Hidrotehnik, 2002).

Po analizi stanja izpusta po izrednem dogodku so s pomočjo fotografske dokumentacije in geodetskega posnetka ugotovili, da je bila matica toka usmerjena v levi bok podslapja. K poškodbam podslapja so skupaj pripomogli veliki turbulentni tokovi in sila toka (Hidrotehnik, 2002).

Sanacija poškodb je bila razdeljena v več segmentov:

- Saniranje levega boka podslapja
- Saniranje dna podslapja
- Saniranje iztočnega korita iz podslapja
- Saniranje merskega mesta na Radomlji

Izvedli pa so še nekaj dodatnih objektov:

- Prepust pod nasipom (na levem boku podslapja)
- Mersko mesto na Drtijiščici dolvodno od podslapja

Po sanaciji je bil na levem boku podslapja zgrajen kamnito-betonski oporni in zaključni zid. Zid je bil nadvišan z 1,5m visokim nasipom, saj je gladina vode ob visokih vodah, tudi zaradi valov, višja od zidu. Ob koncu zidu je bil za ojačitev podslapja izveden tudi talni prag. Dno podslapja in iztok iz podslapja so sanirali s poravnanimi kamni debeline 100cm, ki so zapeti z borovimi piloti in horizontalnimi okroglicami. Za odvajanje površinskih vod z zračne strani pregrade, je bil na levi strani podslapja skozi nasip izveden prepust. Na levem bregu dolvodno od podslapja se je izvedlo mersko mesto za merjenje pretokov, prav tako pa se je obnovilo uničeno mersko mesto na reki Radomlji (Hidrotehnik, 2002).

7 ZAKLJUČEK

Vodni zadrževalniki so zelo pomembni infrastrukturni objekti, ki so v zgodovini in bodo tudi v prihodnje odigrali pomembno vlogo pri razvoju in napredku družbe. Te objekte je potrebno preudarno in dobro preišljeno načrtovati, saj njihova umestitev v prostor vnese veliko sprememb, tako na okolje kot na družbo.

Talni izpusti iz vodnih pregrad so kompleksni hidravlični objekti, od katerih je velikokrat odvisna varnost pregrade, zato je le te potrebno skrbno in kritično načrtovati. Sistem talnega izpusta je zgrajen iz veliko različnih komponent, ki pa morajo biti pravilno vgrajene, da zagotavljajo dovolj varno obratovanje vodnega zadrževalnika.

Zadrževalnik Drtjščica je pomemben slovenski infrastrukturni objekt. Predstavlja zadnjo večjo pregrado, ki je bila zgrajena v namen zadrževanja poplavnih vod. V primeru načrtovanja dotičnega zadrževalnika je zelo dobro razvidno, kako pomembno je dobro načrtovanje talnega izpusta. Hidravličnih analiz pri projektiranju ne gre zanemariti.

VIRI

- Steinman, F. 1992. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 281 str.
- Novak, P., Moffat A.I.B., Nalluri C., Narayanan R. 2001. Hydraulic Structures. London, New York, Spon Press: 666 str.
- Goljevšček, M. 1960. Jezovi, dolinske pregrade in njihovi pogonski objekti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 91 str.
- Otrin A. (ur.), Porenta M. (ur.). 2004. Vodni zadrževalniki, razvojna nuja ali nedopustni posegi v naravo. Ljubljana. Ljubljana, Elektrotehniška zveza Slovenije: 131 str.
- Blair H. K., Rhone T. J., Hoffman C. J., et al. 1987. Design of small dams. Washington. Bureau of Reclamation: 435-489 str.
- Kocjan M. 2009. Zadrževalniki voda in vodni režim. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Kocjan): 66 str.
- Ranfl M. 2008. Poplave v urbanem območju – zadrževanje voda z zadrževalniki. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Ranfl): 44 str.
- Hidrotehnik. 2002. Zadrževalnik Drtijiščica. Projektni elaborat. Ljubljana, Hidrotehnik d.d.: 25 f.
- Zadnik B. (ur.). 1997. Tehnični slovar za pregrade. Ljubljana, Slovenski nacionalni komite za velike pregrade: 425 str.
- Steinman F., Banovec P. 2003. Hidrotehnika vodne zgradbe 1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 147 str.
- Logar J. 2009. Zemeljska dela. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Katedra za mehaniko tal: 138 str.
- Zakon o prostorskem načrtovanju. Uradni list RS št. 33/07, 70/08 – ZVO-1B, 108/09, 80/10 – ZUPUDPP, 43/11 – ZKZ-C, 57/12, 57/12 – ZUPUDPP-A, (109/12), 76/14 – odl. US in 14/15 – ZUUJFO.
- Mays W. L. 2005. Water Resources Engineering. New Jersey, John Wiley & Sons: 842 str.
- Chin D. A. 2013. Water Resource Engineering. New Jersey, Pearson Education, Inc.: 912 str.
- Water control gates. 2015. <http://gongol.net/gates/> (Pridobljeno 15. 8. 2015)
- Walsh M. J. 2003. Structural Design and Evaluation of Outlet Works. Washington. U.S. Army Corps of Engineers: 143 str.
http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-2400.pdf (Pridobljeno: 10.9.2015)
- Gradiško jezero. 2015. <http://vnaravi.si/posavsko-hribovje/gradisko-jezero> (Pridobljeno 16. 9. 2015)

Xiaofeng L. 2014. Handbook of Environmental Engineering. New York. Springer Science+Business Media: str. 134.

<file:///C:/Documents%20and%20Settings/Uporabnik/My%20Documents/Downloads/9781627035941-c1.pdf> (Pridobljeno: 16.9.2015)

Mav K. 2003. Predlog ureditvenega načrta akumulacije Drtijiščica in njenega zaledja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta (samozaložba K. Mav): 130 str.

Wikimedia Commons. 1932.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%22Looking_downstream_through_diversion_tunnel_No._2_from_point_near_inlet_portal.Tracks_over_which_gantry_crane..._-_NARA_-_293631.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%22Looking_downstream_through_diversion_tunnel_No._2_from_point_near_inlet_portal_Tracks_over_which_gantry_crane..._-_NARA_-_293631.jpg)

(Pridobljeno 10. 9. 2015)