

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:

Kete, A., 2015. Analiza varnosti sistema pregrad Moste-Završnica. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentorica Humar, N.): 54 str.

Datum arhiviranja: 30-09-2015

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:

Kete, A., 2015. Analiza varnosti sistema pregrad Moste-Završnica. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Humar, N.): 54 pp.

Archiving Date: 30-09-2015

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:

ANDRAŽ KETE

**ANALIZA VARNOSTI SISTEMA PREGRAD MOSTE-
ZAVRŠNICA**

Diplomska naloga št.: 52/B-VOI

**MOSTE - ZAVRŠNICA DAM SYSTEM SAFETY
ANALYSIS**

Graduation thesis No.: 52/B-VOI

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 24. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVEK

Strani z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Andraž Kete izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom

»**Analiza varnosti sistema pregrad Moste-Završnica**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2015

Andraž Kete

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI

UDK:	627.8(043.2)
Avtor:	Andraž Kete
Mentor:	doc.dr. Andrej Kryžanowski
Somentor:	Nina Humar, uni. dipl. inž. grad.
Naslov:	Analiza varnosti sistema pregrad Moste-Završnica
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	54str., 77 preg., 17sl.
Ključne besede:	tveganja, VODPREG, varnost, pregrada, hidroelektrarne, pregradno inženirstvo

Izvleček

Sistem pregrad Moste-Završnica s svojim akumulacijskim jezerom ter sposobnostjo hitrega vključevanja v energetske sistem zagotavlja velik del potrebne rezervne električne energije, vendar z zadrževanjem velike količine vode za pregradnim objektom predstavlja veliko tveganje za območje dolvodno. V prvem delu diplomske naloge je predstavljeno stanje vodnega potenciala, ki ga imamo na voljo v Sloveniji, kratek pregled literature na področju zagotavljanja varnosti pregrad ter zakonodaja na področju pregradnega inženirstva. Predstavljena je tudi zgodovina in tehnične lastnosti pregrad HE Moste ter HE Završnica. V drugem delu diplomske naloge je predstavljena metodologija VODPREG in na podlagi te izdelana ocena tveganj porušitve. S pomočjo evidenčnih listov, ki so bili narejeni v okviru projekta VODPREG, z obiskom sedeža Savskih elektrarn Ljubljana v Medvodah, s pridobitvijo ustreznih dokumentov ter terenskim ogledom obeh pregrad je bila izdelana ocena tveganja, ki ga posamezna pregrada za okolje in prebivalstvo predstavlja. Ugotovljeno je bilo, da pregradi predstavljata veliko tveganje, vendar se lahko z ustreznim delovanjem upravljavca zagotovi veliko stopnjo varnosti objekta.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	627.8(043.2)
Author:	Andraž Kete
Supervisor:	Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Co-supervisor:	Nina Humar, B. Sc
Title:	Moste-Završnica dam system safety analysis
Document Type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	54p., 77 tab., 17fig.
Keywords:	Risk analysis, VODPREG, safety, dam, hydroelectric power plant, Dam engineering

Abstract

The Moste-Završnica dam system along with the adjoining reservoir and its ability of rapid integration into the electrical power system provides a large part of the necessary reserve power; however, by keeping large amounts of water behind the dam, it presents a significant risk for the downstream area.

The first part of the thesis presents the current status of the water potential available in Slovenia, a short overview of the literature on the topic of ensuring dam safety, and the laws on dam engineering. It also offers some insight into the history and the technical characteristics of the HPP Moste and HPP Završnica dams.

The second part of the thesis explains the VOPREG methodology and the collapse risk assessment based on the said methodology. The risk assessment of the HPP Moste and HPP Završnica along with their influence on the population and environment has been established with the help of the record sheets created as part of the VOPREG project, consultation visits at the Savske elektrarne Ljubljana d.o.o. headquarters in Medvode, the acquisition of the required documents, and the *in situ* observations of both dams. The obtained information led to the conclusion that the dams present a high risk, which can be regulated with proper management and maintenance, and can thus ensure a high degree of security for these facilities.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc.dr. Andreju Kryžanowskemu ter somentorici Nini Humar, dipl. uni. inž. grad.

Zahvaljujem se tudi staršem in vsem ostalim, ki so mi bili v podporo v času študija.

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
1.1	Cilji diplomske naloge.....	2
2	VODNI POTENCIAL V SLOVENIJI	3
3	PREGRADE	7
3.1	Kriterij za delitev pregrad	7
3.2	Tipi pregrad.....	8
3.3	Varnost pregrad.....	9
4	ZAKONODAJA NA PODROČJU PREGRADNEGA INŽENIRSTVA	11
4.1	Zakonodaja v Jugoslaviji na področju pregradnega inženirstva	11
4.2	Zakonodaja v Republiki Sloveniji na področju pregradnega inženirstva	12
5	PREDSTAVITEV HE MOSTE IN HE ZAVRŠNICA	14
5.1	HE Moste.....	14
5.2	Sanacija in doinstalacija HE Moste	17
5.3	HE Završnica	19
6	PREDSTAVITEV METODOLOGIJE VODPREG	21
6.1	Opis projekta VODPREG.....	21
6.2	Predstavitev metodologije	21
7	IZDELAVA OCEN TVEGANJ PORUŠITVE	23
7.1	Ocenjevanje tveganj porušitve pregrade HE Moste	23
7.2	Ocenjevanje tveganj porušitve pregrade HE Završnica.....	37
8	KONČNA OCENA ZA PREGRADI HE MOSTE IN HE ZAVRŠNICA	48
8.1	Končna ocena za HE Moste.....	48
8.2	Končna ocena za HE Završnica	49
9	ZAKLJUČEK	50
	VIRI	51

Kazalo tabel

Tabela 1: Trenutno stanje izkoriščenosti potenciala (Kryžanowski, 2015).....	3
Tabela 2: Višina pregrade	23
Tabela 3: Volumen zadrževanja.....	23
Tabela 4: Pretok v pregradnem profilu.....	23
Tabela 5: Razmerje Q100-Qsr	23
Tabela 6: Razmerje Qporušitev-Q100	24
Tabela 7: Skupaj točk-parametri pregrad	24
Tabela 8: Projektna in izvedbena dokumentacija.....	24
Tabela 9: Razpoložljivost obratovalne dokumentacije.....	25
Tabela 10: Obratovalni pravilnik.....	25
Tabela 11: Projekt porušitve	25
Tabela 12: Akcijski program obveščanja in alarmiranja	26
Tabela 13: Skupaj točke-dokumentacija.....	27
Tabela 14: Akumulacija	27
Tabela 15: Monitoring	28
Tabela 16: Monitoring-geotehnika	28
Tabela 17: Monitoring-hidrologija.....	28
Tabela 18: Monitoring stanja objektov;	29
Tabela 19: Analize in pokalkulacije rezultatov	29
Tabela 20: Alarmiranje prebivalstva	29
Tabela 21: Skupaj točke-obratovanje.....	30
Tabela 22: Tveganje dolvodno	30
Tabela 23: Tveganje za infrastrukturo.....	31
Tabela 24: Tveganje za območja poselitve	31
Tabela 25: Vzdrževanje pregrad	31
Tabela 26: Sistem nadzora	32
Tabela 27: Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi.....	32
Tabela 28: Lastništvo in upravljanje objektov	32
Tabela 29: Dostopnost objekta.....	32
Tabela 30: Skupaj točke-tveganje.....	32
Tabela 31: Stanje pregrad.....	33
Tabela 32: Stanje vplivnega območja pregrad.....	33
Tabela 33: Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem	34
Tabela 34: Stanje talnega izpusta, vključno s podslapjem	35
Tabela 35: Stanje struge dolvodno	36
Tabela 36: Stanje mehanske opreme	36
Tabela 37: Stanje elektro opreme.....	36
Tabela 38: Skupaj točke-oprema	36
Tabela 39: Višina pregrade.....	37
Tabela 40: Volumen zadrževanja	37
Tabela 41: Pretok v pregradnem profilu.....	37
Tabela 42: Razmerje Q100-Qsr	37

Tabela 43: Razmerje Q100-Qsr	37
Tabela 44: Skupaj točke-parametri pregrad	38
Tabela 45: Projektna in izvedbena dokumentacija	38
Tabela 46: Razpoložljivost obratovalne dokumentacije	38
Tabela 47: Obratovalni pravilnik	39
Tabela 48: Projekt porušitve	39
Tabela 49: Akcijski program obveščanja in alarmiranja	39
Tabela 50: Skupaj točke-dokumentacija	40
Tabela 51: Akumulacija	41
Tabela 52: Monitoring	41
Tabela 53: Monitoring-geotehnika	41
Tabela 54: Monitoring-hidrologija	41
Tabela 55: Monitoring stanja objektov	42
Tabela 56: Analize in pokalkulacije rezultatov	42
Tabela 57: Alarmiranje prebivalstva	42
Tabela 58: Skupaj točke-obratovanje	42
Tabela 59: Tveganje dolvodno	43
Tabela 60: Tveganje za infrastrukturo	43
Tabela 61: Tveganje za območje poselitve in industrije	43
Tabela 62: Vzdrževanje pregrad	43
Tabela 63: Sistem nadzora	43
Tabela 64: Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi	44
Tabela 65: Lastništvo in upravljanje objektov	44
Tabela 66: Dostopnost objekta	44
Tabela 67: Skupaj točke-tveganje	45
Tabela 68: Stanje pregrad	45
Tabela 69: Stanje vplivnega območja pregrade	45
Tabela 70: Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem	45
Tabela 71: Stanje talnega izpusta, vključno s podslapjem	46
Tabela 72: Stanje struge dolvodno	46
Tabela 73: Stanje mehanske opreme	46
Tabela 74: Stanje elektro opreme	47
Tabela 75: Skupaj točke-stanje opreme	47
Tabela 76: Skupna ocena tveganja HE Moste	48
Tabela 77: Skupna ocena tveganja HE Završnica	49

Kazalo slik

Slika 1: Obstoječe stanje hidroelektrarn (Kryžanowski, 2015)	4
Slika 2: Dolgoročne razvojne možnosti (Kryžanowski, 2015).....	5
Slika 3: Delovanje hidroelektrarn (SEL, 2015).....	6
Slika 4: Pregrada hidroelektrarne Moste	14
Slika 5: Akumulacijsko jezero HE Moste (SLOCOLD, 2015).....	15
Slika 6: Sistem HE Moste po sanaciji (SEL, 2015)	18
Slika 7: Akumulacijsko jezero HE Završnica (SLOCOLD, 2015)	19
Slika 8: Akumulacija Završnica ter pregradni objekt (SLOCOLD, 2015)	20
Slika 9: Pregradni objekt HE Završnica, (SLOCOLD, 2015)	20
Slika 10: Potek obveščanja v primeru nastopa izrednih dogodkov ali večjih okvar (SEL, 2015)	26
Slika 11: Sirena na strehi komandne stavbe (Alarmiranje SEL, 2011)	27
Slika 12: Sanirano območje krušenja pobočja, spodaj pa sidran podporni zid.....	34
Slika 13: Prelivna polja ter posebne tablaste zapornice	35
Slika 14: Talni izpust	35
Slika 15: Potek obveščanja v primeru nastopa izredni dogodkov ali večjih okvar (SEL, 2015)	40
Slika 16: Talni izpust pregrade Završnica.....	44
Slika 17: Stanje podslapja pregrade Završnica	46

X

Kete, A. 2015. Analiza varnosti sistema pregrad Moste-Završnica.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

Ta stran je namenoma prazna

1 UVOD

Človeštvo za svoj razvoj že od nekdaj izkorišča naravne vire, ki so mu na voljo na nekem območju v določenem času. Na območju današnje Slovenije so ljudje skozi zgodovino nenehno gospodarsko izkoriščali vodotoke, saj je voda eden izmed redkih naravnih virov, ki je pri nas v izobilju. Ugodna geografska lega visokogorja na severu ter zahodu omogoča prehod zračnih mas, posledica pa je velika količina padavin na tem območju. Iz padavin se napajajo vodotoki severne in zahodne Slovenije, med katere spada tudi najdaljša slovenska reka, Sava (Savske elektrarne Ljubljana, 2015).

Vodotoke so sprva izkoriščali kot vir hrane (ribolov) in kot plovno pot, kasneje pa tudi za prevoz rečnih tovorov (plavljenje lesa) ali kot vodno silo za pogon mlinov in žag. S pojavom industrializacije se je način izrabe vodotokov spremenil. Ker je slednja uveljavila uporabo strojev za proizvodne namene se je povečalo povpraševanje po vodi kot gonilni sili za parne stroje, kasneje pa je elektrifikacija in prehod na »masovno« proizvodnjo povečal potrebe po električni energiji, zato so na vodotokih pričeli graditi hidroenergetske objekte. Pridobivanje hidroelektrične energije predstavlja najcenejši način pridobivanja električne energije. Največji strošek predstavlja sama izgradnja jezovne zgradbe in elektro-strojna oprema. Kasneje v času obratovanja so stroški nižji, saj je vir energije popolnoma brezplačen, predvsem pa je voda naravi prijazen energetski vir, ki se stalno obnavlja (Savske elektrarne Ljubljana, 2015).

Izgradnja velikih energetskih objektov predstavlja velik poseg v prostor, ki s seboj prinese določene spremembe za živa bitja, vendar pa se zaradi večanja prebivalstva in potrebe po energiji človeštvo ne more izogniti izgradnji novih objektov ter obratovanju obstoječih. Kljub veliki potrebi po energiji pa se mora pri projektiranju in gradnji takih objektov slediti načelom trajnostnega razvoja, ki naj bi zadovoljeval potrebe sedanjega človeškega rodu, ne da bi s tem ogrozil prihodnje rodove, da zadovoljijo svoje (Gro Harlem Brundtland, 1987).

Prednosti izrabe vodne energije:

- Je obnovljiv vir energije, ki ne povzroča izpustov toplogrednih plinov;
- Možnost shranjevanja energije, ustvarjanje zalog vode (akumulacije);
- Hiter odziv na povečano potrebo po energiji na trgu;
- Zaščita pred poplavami in visokimi vodami;
- Dolga življenjska doba, nizki obratovalni stroški;
- Možnost večkratne in večnamenske rabe.

Slabosti:

- Rečna favna in flora se spremeni;
- Tveganje porušitve;
- Nihanje proizvodnje glede na količino vode;
- Visoka investicijska vrednost;
- Ob neustreznem projektiranju, gradnji ter vzdrževanju imajo lahko velik škodni potencial, saj lahko pride do havarij z obsežnimi posledicami tako za poselitev, kot za infrastrukturo v vplivnem območju.

Poseg v okolje lahko omilimo z ustreznimi projektnimi zasnovami in modernejšimi pristopi k gradnji, s ciljem zagotavljati največjo možno varnost teh objektov. Pod pojmom varnost pregrad ne pojmuje le zagotavljanje varnega obratovanja ter mehanske stabilnosti objektov, temveč moramo problematiko razumeti širše. Ker se objekte gradi vse bližje urbanemu okolju in obratno, ker se poselitve zaradi vse bolj omejenih prostorskih možnosti za širitev vse bolj približujejo pregradnim objektom se v pojmu varnost skriva tudi čim boljša vključitev velikih objektov v okolje ter zagotavljanje varnosti za prebivalstvo, ki živi v vplivnem območju pregrad (Kryžanovski s sod, 2014).

Varnost pregrad je potrebno zagotavljati skozi celoten življenjski cikel pregrade, od načrtovanja in zasnove, preko gradnje, izvedbe ter prve polnitve, do obratovanja skozi življenjsko dobo, pa tudi ob sami porušitvi pregrade oziroma opustitvi izrabe objekta (Humar s sod. 2012).

1.1 Cilji diplomske naloge

Cilj te diplomske naloge je opredelitev stanja pregrad HE Moste in HE Završnica ter ocena varnosti pregradnih objektov in izdelava ocene tveganja na primeru energetskega sistema Moste-Završnice. V okviru naloge bomo izvedli naslednje aktivnosti:

- seznanitev z energetskega sistemom v obsegu pregleda obratovalne in dosegljive projektne in obratovalne dokumentacije;
- izvedba terenskega ogleda objektov;
- na osnovi metodologije VODPREG bomo izdelali oceno tveganja, ki ga hidroelektrarni predstavljata za prostor.

2 VODNI POTENCIAL V SLOVENIJI

V Sloveniji se približno 30% električne energije proizvede z izrabo vodnega potenciala, ki poganja hidroelektrarne, ostalih 70% električne energije pa proizvedejo termoelektrarne in jedrska elektrarna. Največje hidroelektrarne so na treh največjih slovenskih rekah Savi, Dravi in Soči, poleg teh pa je na manjših vodotokih postavljenih še več malih hidroelektrarn.

Energetski potencial Slovenije je ocenjen na 19440 GWh na leto, ker pa vsega ne moremo izkoristiti, znaša izkoristljiv potencial okrog 9000 GWh na leto. Od slednjega trenutno koristimo manj kot polovico.

Reka Drava ima izkoriščen skoraj celoten potencial, saj sklenjena veriga osmih hidroelektrarn na leto proizvede 2833 GW, medtem ko sta preostali največji reki Sava in Soča sorazmerno slabo izkoriščeni, popolnoma neizkoriščen potencial pa imata reki Mura ter Kolpa (Kryžanowski s sod., 2008).

VODOTOK	BRUTO POTENCIAL	TEHNIČNO IZKORISTLJIV POTENCIAL	IZRABLJEN POTENCIAL	DELEŽ ENERGETSKE IZRABE
	[GWh/leto]	[GWh/leto]	[GWh/leto]	[%]
Sava z Ljubljan	4.134	2.794	832	29,8
Drava	4.301	2.896	2.833	97,8
Soča z Idrijco	2.417	1.442	491	34,0
Mura	928	690	5	0,7
Kolpa	310	209	0	0,0
ostali vodotoki	7.350	1.114	284	25,5
skupaj	19.440	9.145	4.445	48,6

Tabela 1: Trenutno stanje izkoriščenosti potenciala (Kryžanowski, 2015)

Z gradnjo novih hidroelektrarn bi se lahko povečala izkoriščenost praktično vseh večjih slovenskih rek Save, Soče, Mure in Kolpe. Kljub temu, da so načrtovane nove hidroelektrarne na Muri in Savi pa je zaradi naravovarstvenih zahtev ter zahtev po ohranitvi okolja izgradnja novih energetskih objektov negotova.



Slika 1: Obstoječe stanje hidroelektrarn (Kryžanowski, 2015)

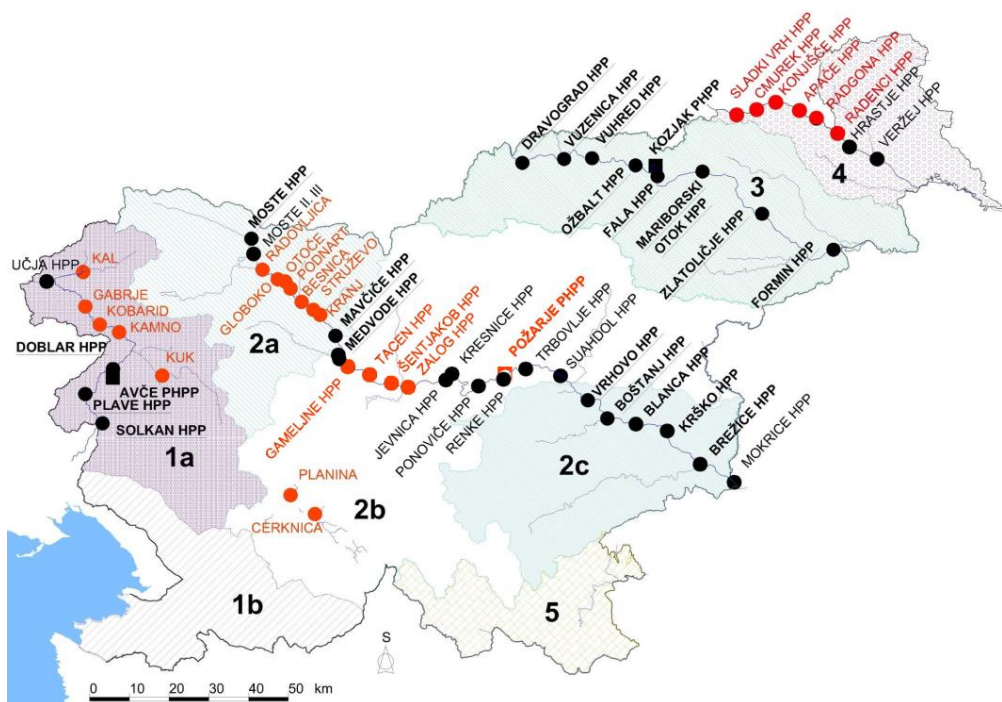
Reka Sava je druga po količini vodnega potenciala izmed slovenskih rek, vendar je veliko slabše izkoriščena kot reka Drava. Ideje o energetski izrabi Save so se pojavile že v začetku prejšnjega stoletja, z izgradnjo HE Moste in HE Medvode pa se je ta ideja začela uresničevati. Zaradi velike poselitve tega območja je bila ideja o gradnji obsežnejših akumulacij na Zgornji Savi opuščena. Trenutno na reki Savi deluje 7 elektrarn, ki izkoriščajo približno 30% tehnično izkoristljivega potenciala. Energetsko najbolj zanimiv je spodnji del reke Save, na katerem se je od leta 1993 do sedaj zgradilo štiri hidroelektrarne, HE Brežice je v izgradnji, medtem ko je izgradnja HE Mokrice še v fazi načrtovanja. Razpoložljiv je tudi potencial na območju srednje Save, z dograditvijo celotne verige na reki pa bi delež energetske izrabe narasel na 75 odstotkov (Kryžanowski s sod., 2011).

Na reki Soči trenutno obratuje 6 hidroelektrarn, načrtovana je bila še izgradnja HE Učja, z močjo 24MW, ker pa bi bila zgrajena na območju, ki je zavarovana naravna vrednota do začetka gradnje ni prišlo. Tako zaradi naravovarstvenega pomena reke Soče ni pričakovati načrtovanja novih hidroelektrarn, zato se lahko izkoriščenost hidropotenciala poveča le z obnovo obstoječih objektov.

Največji doprinos k povečanju izkoriščenosti bi lahko predstavljala reka Mura, ki je na slovenskem delu trenutno skoraj neizkoriščena. Medtem ko je na avstrijskem delu reka s šestimi hidroelektrarnami dobro izkoriščena, na slovenski strani, delujejo le male hidroelektrarne, vendar zaradi statusa naravovarstvene vrednote reke do nadaljnjega ne gre pričakovati načrtov za izgradnjo novih hidroelektrarn na reki Muri (Kryžanowski s sod., 2011).

S povečanjem izkoriščenosti vodnega potenciala, bi Slovenija ohranila energetsko neodvisnost in ne bi bila odvisna od uvoza električne energije iz drugih držav. Poleg tega bi

povečala zanesljivost energetskega sistema, ter povečala delež proizvodnje energije iz obnovljivih virov (Kryžanowski s sod., 2011).

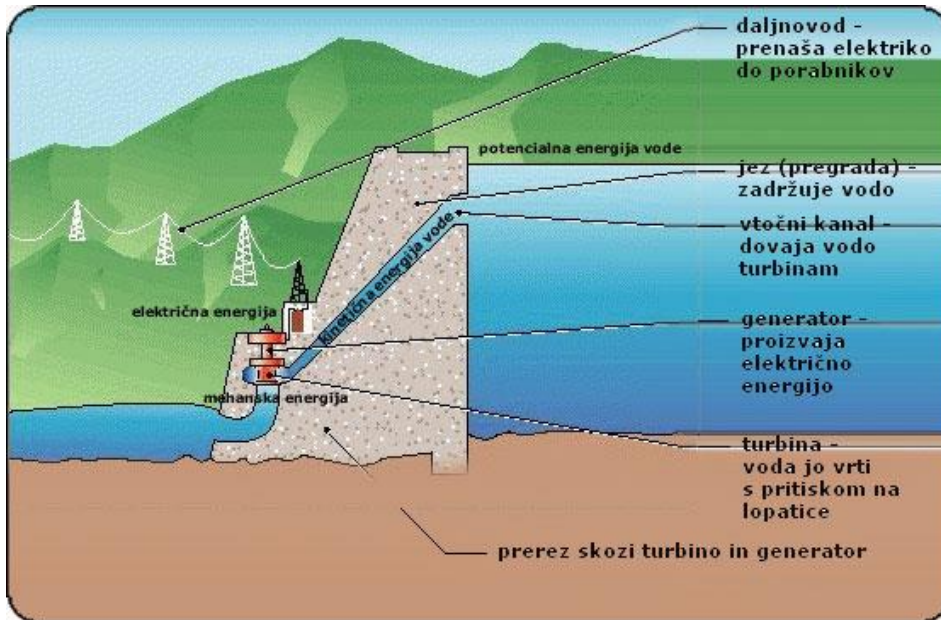


Slika 2: Dolgoročne razvojne možnosti (Kryžanowski, 2015)

Količina porabljene energije se tekom dneva spreminja, zjutraj in zvečer je poraba največja, medtem ko je poraba ponoči najmanjša. Čez dan porabo električne energije pokrivamo s termoelektrarnami in jedrsko elektrarno, v času povečane porabe pa poleg teh izkoriščamo še električno energijo pridobljeno s hidroelektrarnami. Zaradi akumulirane vode in sposobnosti hitrega zagona so hidroelektrarne primerne za pokrivanje koničnih obremenitev, s tem pa prispevajo k enakomernemu delovanju elektroenergetskega sistema, ter služijo kot rezerva v primeru nenadnega izpada drugih elektrarn. Tako izgradnja hidroelektrarn ne prinaša samo koristi v energetskega sistema, temveč tudi drugačne koristne učinke. Z zaježitvijo struge vodotoka ustvarimo jezero, ki ga prvenstveno uporabljamo za akumulacijo, vendar je uporabno tudi za drugo namensko rabo, ki pa mora biti podrejena osnovni funkciji rabe akumulacije. Poleg tega z izgradnjo hidroelektrarn povečamo poplavno varnost ogroženih območij, izboljšamo oskrbo s pitno vodo, dosežemo ureditev prometnega in energetskega omrežja ter razvoj turističnega potenciala (Kryžanowski s sod., 2011).

Princip delovanja hidroelektrarn je naslednji: osnovni objekt predstavlja jezovna zgradba. Ta omogoča shranjevanje vodnih količin v zadrževalniku in ustvarja potrebni energetski padec, torej potrebno potencialno energijo vode, ki se kasneje pretvarja v mehansko energijo. S pomočjo dovodnega sistema dovedemo vodo do turbin, kjer se potencialna energija skladiščene vode pretvori v delo vrtenja gonilnika turbine. Na turbinsko os je pritrjen rotor

generatorja, ki z vrtenjem v magnetnem polju inducira električni tok v statorju generatorja. Na ta način se mehanska energija skladiščene vode pretvori v električno energijo, ki jo preko transformatorjev pošiljamo v omrežje.



Slika 3: Delovanje hidroelektrarn (SEL, 2015)

3 PREGRADE

3.1 Kriterij za delitev pregrad

SLOCOLD (Slovenski nacionalni komite za velike pregrade), je nevladna organizacija, ki v Sloveniji skrbi razvoj na področju pregradnega inženirstva in je članica mednarodnega komiteja velikih pregrad ICOLD (International Commission on Large Dams), s sedežem v Parizu. Področje delovanja nacionalnega komiteja je pregradno inženirstvo, pri čem organizacija vse svoje napore vlaga v skrb za razvoj znanja, ter v pripravo materialov, ki bodo osnova za zakonsko ureditev tega področja v Sloveniji (Turk s sod, 2012).

Po starih kriterijih ICOLD, ki so bili uzakonjeni še v jugoslovanski regulativi (Pravilnik o tehničnem opazovanju iz leta 1966), ki pa ni več v veljavi, so velike pregrade opredeljene kot pregradni objekti katerih:

- višina znaša več kot 15m (merjeno od najnižje točke temeljev do krone pregrad);
- Zajezni objekti višji od 10m, kjer je krona pregrade daljša od 500m ali volumen zadrževalnika večji od 1 milijona m³, ali je pretok čez jezovni profil večji od 2000m³, ali so za izgradnjo pregrade potrebni posebni pogoji temeljenja ali izvedba pregrade.

Po novem statutu mednarodnega komiteja ICOLD iz leta 2011 pa se med velike pregrade uvrščajo objekti, ki:

- So višji od 15m;
- Višji od 5m, in zajezujejo akumulacijo večjo o 3milijonov m³.

Problem predstavlja dejstvo, da ti kriteriji upoštevajo predvsem tehnične karakteristike, zato se v številnih državah po svetu uveljavlja delitev pregrad glede na tveganje, ki ga predstavljajo za okolje (predvsem urbano). S to delitvijo se upošteva tudi tveganje, ki ga sama pregrada predstavlja za okolje zaradi ranljivosti pregradnega objekta, ki je podvržen staranju. Delitev pregrade deli na 3 razrede in pri delitvi upošteva število žrtev ter ekonomsko škodo, ki bi jo povzročila morebitna porušitev (Humar, 2008):

- Malo tveganje; – ko ni pričakovati človeških žrtev, gmotna škoda na lastnini in javni infrastrukturi pa ni velika;
- srednje tveganje – ko človeških žrtev ni pričakovati, gmotna škoda na javni infrastrukturi pa je velika;
- veliko tveganje – ko so možne človeške žrtve in srednja ali velika gmotna škoda.

Če pogledamo pregrade v Sloveniji, hitro ugotovimo, da so praktično vse večje pregrade zgrajene blizu urbanih naselij. Vse pregrade, ki po prej naštetih kriterijih spadajo med velike pregrade v Sloveniji lahko razvrstimo med pregrade z velikim škodnim potencialom, saj predstavljajo veliko –nevarnost. Njihova porušitev bi povzročila veliko škodo na infrastrukturi, poleg tega pa bi zaradi kratkega časa, ki bi bil na voljo za evakuacijo bila ogrožena številna človeška življenja.

3.2 Tipi pregrad

Jezovna zgradba oziroma pregrada je eden izmed ključnih objektov s katerim se srečamo pri projektiranju hidroelektrarn. Pri projektiranju moramo pri izbiri ustreznega tipa in zasnove pregrade upoštevati geološko sestavo tal, topografijo terena, hidrološke razmere ter seizmotektoniko, kot tudi druge danosti prostora, v katerega želimo pregrado umestiti.

Glede na način izvedbe ločimo:

- Nasute pregrade:
 - zemeljske pregrade; več kot 50% pregrade je iz zgoščenega drobnozrnatega materiala (gline, peska finih frakcij, kvalitetne zemljine);
 - skalometne; večina pregrade je iz kamna(lomljenec, naravni).
- Betonske pregrade:
 - Masivne in olajšane betonske pregrade; iz armiranega betona, lahko so tudi votle;
 - Stebrske težnostne pregrade; ki preko stebrov prenašajo del obtežbe v temeljna tla;
 - Ločne pregrade; tanjše kot masivne, saj z ločnim efektom premagujejo del sil, obremenitev.
- Jalovinske pregrade; nasuta pregrada iz odpadnih proizvodov predvsem od rudarjenja.

Glede na način prenosa obtežbe poznamo:

- Težnostne pregrade, s svojo težo preprečuje obtežbam premik pregrade:
 - Nasute;
 - Grajene (masivne ali stebrske).
- Ločne pregrade, z ločnim efektom prenašamo obtežbo na temeljno hribino.

Razvrstitev glede na polnitev:

- Pregrade s stalno ojezeritvijo;
- Pregrade z občasno ojezeritvijo – suhi zadrževalniki;
- Zaplavne pregrade poznane tudi kot prodne pregrade (erozijski in drobirski nanosi hudournikov, naplavine);
- Deponijske zbirne pregrade (lužina odpadli produkti industrijskih obratov).

3.3 Varnost pregrad

Pregrade se v zadnjem času gradijo vse bližje naseljem, zato je potrebno pri zagotavljanju varnosti upoštevati vse višje standarde. V tujini pojem varnost opredeljujejo kot zagotavljanje mehanske stabilnosti ter varnega obratovanja, poleg tega pa pod pojmom varnost upoštevajo še čim boljše vključitev pregradnih objektov v prostor ter varno sobivanje z objekti. (Humar s sod. 2012).

Izgradnja pregradnih objektov je zelo kompleksen proces, zato je pri izgradnji teh objektov pomembno, da varnost zagotavljamo skozi celotno življenjsko dobo od faze projektiranja do faze, ko objekt opustimo oziroma porušimo. Za zagotavljanje varnosti je zelo pomembno, da poznamo hidrološke lastnosti rek, porečja in podtalnice, ter geološko sestavo tal, saj je nepoznavanje teh podatkov eden izmed pomembnejših vzrokov za porušitev pregrad (Humar in Kryžanowski, 2012).

Zakonodaja določa, da je zagotavljanje varnosti pregrade v domeni lastnika oziroma upravljavca. Naloga upravljavca je, da zagotavlja:

- dobro kondicijsko stanje objektov;
- varno obratovanje opreme in objektov;
- izvajanje rednega monitoringa;
- izvedbo rednih vzdrževalnih del;
- odpravo napak, ki lahko omejijo delovanje objekta.

Poleg omenjenih aktivnosti mora upravljavec v sodelovanju z regijskimi štabi civilne zaščite izdelati tudi načrte in projekte, ki vključujejo ukrepe za zaščito prebivalstva in infrastrukture ter ukrepanje v primeru nastopa izrednih dogodkov (Humar s sod. 2012).

V Sloveniji je na področju zagotavljanja varnosti pregrad trenutno največji problem v odsotnosti zakonodaje, ki bi predpisovala ter nudila enotne usmeritve v pregradnem inženirstvu. Pregradne objekte sedanja zakonodaja uvršča med zahtevnejše objekte, kar

zagotovo so, vendar pa z enačenjem z drugimi objekti preveč poenostavlja problematiko izgradnje, vzdrževanja ter obratovanja pregrad.

4 ZAKONODAJA NA PODROČJU PREGRADNEGA INŽENIRSTVA

Pregrade so objekt, stalen ali začasen, ki meji prostor in s tem namensko zadržuje vodo. V primeru porušitve predstavlja tak objekt veliko nevarnost za okolje dolvodno od pregrade. Zaradi tega pregrade spadajo med zahtevnejše objekte za katere se zahteva izdelava temeljitih raziskav pred gradnjo, kontroliranje kakovosti same pregrade tekom izvedbe ter izvajanja vzdrževanja in monitoringa njenega obratovanja.

4.1 Zakonodaja v Jugoslaviji na področju pregradnega inženirstva

Pregradni objekti imajo, pod pogojem, da so dobro zgrajeni ter vzdrževani dolgo življenjsko dobo, zato se v času njihovega delovanja lahko spremeni zakonodaja na področju gradnje, lahko pa ozemlje pregrade preide pod drugo državo. Tako se lahko zgodi, da iz urejene zakonodaje na področju pregradnega inženirstva, kakršnega je imela predhodna država, preidemo na neurejeno zakonodajo. To se je zgodilo tudi v Sloveniji, saj so podzakonski akti v bivši državi Jugoslaviji faze projektiranja, gradnje in obratovanja dobro regulirali, z nastankom nove države pa je ta regulativa postala neveljavna, nova regulativa, ki bi nadomestila staro pa ni bila sprejeta. Zato se v praksi še vedno uporabljajo stari dokumenti, ob upoštevanju določil veljavne regulative. V bivši skupni državi so bili posebej za področje pregradnega inženirstva sprejeti naslednji podzakonski akti (Brinšek, 2006):

- Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov, Ur.list SFRJ, št. 7/66;
- Pravilnik o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih pregrad, Ur.list SFRJ, št. 6/88:
- Pravilnik o jugoslovanskem standardu za nasute jezove in hidrotehnične nasipe, Ur.list SFRJ, št. 25/80;
- Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za izvajanje raziskovalnih del pri graditvi velikih objektov, Ur.list SFRJ, št.3/70; ki po svojem značaju spada med preventivne;
- Uputstvo o izradi dokumentacije za određivanja posledica usled iznenadog rušenja ili prelivanja visokih brana, Savezni komitet za poljoprivedu, strogo poverljivo, ev.br. 6/56, januar 1975; ki ima v primeru nepravilnosti obnašanja objektov kurativni značaj.

Trenutno noben od naštetih dokumentov uradno ni v veljavi. Pravilnik o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih pregrad, Ur.list SFRJ, št. 6/88 je bil deloma nadomeščen z novim slovenskim Pravilnikom o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (Ur.list RS, št 92/99,44/03), ki je bil napisan na podlagi 70. člena Zakona o varstvu voda (Ur.list RS, št.32/93, 1/96), vendar se njegova določila v praksi niso izvajala Poleg tega je bil pripravljen tudi predlog zamenjave Pravilnika o tehničnih ukrepih in pogojih za izvajanje raziskovalnih

del pri graditvi velikih objektov, Ur.list SFRJ, št.3/70, ki naj bi ga zamenjalo Navodilo za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitev pregrad, napisan na podlagi 44. člena Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Ur.list RS, št. 64/94), vendar pa navodilo ni dobilo zadostne podpore in ni bilo nikoli sprejeto (Brinšek, 2006).

4.2 Zakonodaja v Republiki Sloveniji na področju pregradnega inženirstva

Slovenska regulativa na področju varnosti pregrad je razdeljena na dva dela, od katerih en del ureja splošno regulativo za gradbene objekte, drugi del pa pokriva Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov, poleg tega pa se uporablja še Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade ter Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov. Lahko bi rekli, da je zakonodaja za področje pregradnega inženirstva razpršena, nepopolna ter nepregledna. Splošna regulativa, ki pokriva problematiko pregradnega inženirstva je razdeljena sledeče (Zadnik, 2012):

- Zakon o graditvi objektov (ZGO-1, Ur. l. RS št. 110/2002 in novelacije), zakon ureja pogoje za graditev vseh objektov, nastopi v veljavo, ko iz načrtovanja preidemo v projektiranje. Zakon določa bistvene zahteve glede lastnosti objektov ter določa procese in udeležence ter njihove odgovornosti v procesu graditve. Graditev je po tem zakonu opredeljena kot projektiranje, gradnja in vzdrževanje. V zakonu so pregrade opredeljene kot zahtevni objekti, če so višje od 10 metrov in če je svetla razdalja med opornikoma daljša od 8 metrov. Poleg tega je v Uredbi o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje (Ur. list RS, št18/13) zahtevni objekt opredeljen kot objekt, v katerem se zadržuje večje število oseb, ali objekt, ki ima velike dimenzije, ali objekt, za katerega je vedno obvezna presoja vplivov na okolje po zakonu, ki ureja varstvo okolja, ali drug objekt, če je tako določeno s posebnimi predpisi, kar potrди da pregradni objekt spada pod zahtevne objekte.
- Zakon o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt, Ur. list RS št. 33/2007 in novelacije); ureja prostorsko načrtovanje, opremljanje stavbnih zemljišč, ter vrste prostorskih aktov.
- Zakon o gradbenih proizvodih (ZGPro, Ur. list RS št. 52/2000 in novelacije); zakon določa pogoje pod katerimi lahko gradbeni proizvod pride na trg.
- Zakon o vodah (ZV-1, Ur. list RS, št. 67/2002 z dopolnitvami).

Zakonodaja, ki jo je potrebno upoštevati ob graditvi objektov:

- Zakon o varstvu okolja (ZVO), Ur. list RS, št. 39/06, in kasnejši;
- Zakon o vodah (ZVod), Ur. list RS, št. 67/02 in 110/02, in kasnejši;

- Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD), Ur. list RS, št. 56/99, 64/01;
- Zakon o varstvu pred požarom (ZVPoz), Ur. list RS, št. 105/06;
- Zakon o standardizaciji (ZSta), Ur. list RS, št. 59/99;
- Zakon o akreditaciji (ZAkr), Ur. list RS, št. 59/99;
- Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD), Ur. list RS, št. 16/08;
- Zakon o ohranjanju narave (ZON), Ur. list RS, št. 32/08;
- Zakon o rudarstvu (Zrud-1), Ur. list RS, št. 14/14.

Pred vsako graditvijo je treba biti pozoren še na občinske predpise, ki določajo prostorske pogoje. Hkrati pa moramo smiselno upoštevati tudi podzakonske akte in tehnične smernice ter standarde.

9. člen ZGO-1 določa, da se z gradbenimi predpisi za posamezne vrste objektov določijo njihove tehnične značilnosti tako, da ti objekti glede na svoj namen izpolnjujejo eno, več ali vse izmed naslednjih šestih bistvenih zahtev (Zadnik, 2012):

- mehansko odpornost in stabilnost,
- varnost pred požarom,
- higiensko in zdravstveno zaščito in zaščito okolice,
- varnost pri uporabi,
- zaščito pred hrupom in
- varčevanje z energijo in ohranjanja toplote.

Posebno mesto v ZGO-1 ima Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov. Ta predpis predpiše minister, pristojen za prostorske in gradbene zadeve in velja za vse objekte. Pravilnik predpisuje tudi upoštevanje in uporabo evropskih standardov Eurocode (EC) – evrokodi, ki vsebujejo harmonizirana načela in pravila za projektiranje konstrukcij (Zadnik, 2012).

Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov je praktično edini predpis v Sloveniji, ki nekoliko bolj celovito ureja vidik projektiranja in gradnje, vendar imamo na področju pregradnega inženirstva še dva pravilnika, ki sta bila že omenjena. To sta:

- Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade, Ur. list RS, št. 92/99 in
- Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov, Ur. list SFRJ, št. 7/66

5 PREDSTAVITEV HE MOSTE IN HE ZAVRŠNICA

5.1 HE Moste

Pregrada hidroelektrarne Moste, Kavčke je s 60 metri višine najvišja pregrada v Sloveniji in je bila načrtovana kot akumulacijska elektrarna s tedensko izravnavo pretokov, katere namen je proizvodnja vršne energije. Pregrada je masivna betonska, ločno-težnostnega tipa. V začetku načrtovanja je bila zasnovana kot ločna pregrada. V času gradnje se je pojavila bojazen, da hribina v temelju pregrade ne bi zdržala obremenitev za ta tip pregrade. Zato so zasnovo ločne pregrade nadomestili s težnostno pregrado, ki pa je zaradi že izkopanih temeljev ohranila ločno obliko (SEL, 2015).



Slika 4: Pregrada hidroelektrarne Moste

Sistem hidroelektrarne Moste sestavljajo naslednji objekti: Pregrada v soteski Kavčke ustvarja akumulacijsko jezero s prostornino okoli 6,9 milijona m³ (od tega je koristnega volumna okoli 3,5 milijona m³). Na levem bregu je neposredno ob pregradi situiran vtočni

objekt, ki je opremljen z glavnimi in pomožnimi zapornicami, grobimi in finimi grabljami ter čistilnim strojem. Od tod je speljan derivacijski tlačni rov premera 3m, dolžine 640m do vodostana, ki je nameščen na gornji rečni terasi nad strojnico. Poleg vodostana je prostor z varnostno in pomožno zapornico, loputo. Vodostan je s strojnico povezan s tlačnim rovom premera 2,6m in dolžine 310m. Strojnica je vkopana in se nahaja neposredno ob savski strugi. Izток iz strojnice je speljan po 1,5km dolgem odtočne rovu, premera 4m, ki vodo odvede do iztočnega objekta v Zasipu. Voda po rovu teče s prosto gladino.



Slika 5: Akumulacijsko jezero HE Moste (SLOCOLD, 2015)

Prvotno so bili v strojnici nameščen 3 pogonski agregati (Francis turbine) s skupno požiralnostjo $28,5\text{m}^3/\text{s}$ in instalirano močjo 17MW. Leta 1977 je bil v strojnico vgrajen četrti agregat s požiralnostjo $6\text{m}^3/\text{s}$, ki je bil zasnovan kot nadomestni agregat HE Završnica in hkrati, kot reverzibilni agregat z možnostjo izkoriščanja akumulacije Završnica. V času presežka energije bi vodo iz Save črpali v višje ležeči bazen Završnica, v času večjih potreb pa to vodo porabili za pridobivanje električne energije. Ta ideja zaradi ekoloških vidikov ni bila realizirana. Poleg tega je bil ta agregat prototip in je imel slab izkoristek, tako da so ga leta 1999 rekonstruirali, ter izločili elemente, ki so omogočali črpanje. Zaradi dotrajanosti in nefunkcionalnosti so bili v letu 2008 prvi trije agregati nadomeščeni z dvema pogonskima agregatoma (Francis turbine) s skupno požiralnostjo $2 \times 13\text{m}^3/\text{s}$ in instalirano močjo 14MW.

Strojnica trenutno obratuje s 3 francisovimi turbinami, ki pod pogojem da delujejo s polno močjo, v omrežje lahko pošljejo 21 MW moči. Srednja letna proizvodnja znaša 56GWh.

Opis objektov:

V nadaljevanju opisa se bomo omejili na tiste ključne objekte, ki so pomembni iz vidika zagotavljanja obratovalne varnosti in zaradi dotrajanosti ali drugih razlogov predstavljajo povečano tveganje.

1. Pregrada

Prvotno je bila pregrada zasnovana kot fiksni jez s prelivom na koti 523,5m nmv. Pregrada ima štiri prelivna polja, ki so bila leta 1965 nadvišana z lesenimi pomožnimi zapornicami višine 1,25m. Prevodnost prelivnih polj pri prostem prelivanju znaša 570m³/s, poleg tega pa je kot varovalni ukrep zgrajen še temeljni izpust za primer potrebe po evakuaciji visokih voda. Ker lesene pomožne zapornice niso omogočale regulacije pretoka preko pregrade, so bile v letu 2004 zamenjane z regulacijskimi tablastimi jeklenimi zapornicami. Z zamenjavo zapornic je ostala zajezna višina enaka. Rekonstrukcija zaporničnega mehanizma, pa nudi možnost nadvišanja zapornic za dodaten 1,25m. S tem ukrepom je bila povečana varnost obratovanja pri evakuaciji visokih voda, saj sedanja izvedba omogoča znižanje gladine vode v akumulaciji, česar prejšnje fiksne zapornice niso omogočale. v letu 1999 so bili na pregradi izvedeni obsežni sanacijski ukrepi (preplastitev vidnih betonov, čiščenje drenažnega sistema pregrade, injektiranje šibkih con na stiku pregrade s temelji, namestitev koordimetrov na pregradi,...) s katerimi je upravljavec občutno pripomogel k povečanju varnosti pregrade.

2. Talni izpust

Na obratovalno varnost pregrade neposredno vpliva tudi zaprojenost akumulacijskega prostora. Ob izgradnji pregrade HE Moste v soteski Kavčke je bil v desnem boku soteske zgrajen obtočni tunel premera 5,25m in dolžine 110 m, ki prevaja pri maksimalni koti zaježitve 127m³/s. Po končani izgradnji pregrade je bil z dograditvijo vtoka predelan v talni izpust z vgrajeno kotalno tablasto zapornico, ki je imela funkcijo samo zapiranja vtoka in ni omogočala reguliranja pretoka. Tekom let in o obilni pomoči Jeseniške železarne se je za pregrado v akumulacijskem bazenu nabralo veliko usedlin z znatnimi količinami težkih kovin in fenolov. Ob zadnjem preizkusu delovanja talnega izpusta v letu 1974 je prišlo pri praznjenju akumulacije do pogina vodnega življa v dolvodni strugi. Posledično je bila izdana prepoved obratovanja s talnim izpustom. Na iztočnem delu talnega izpusta je bila dograjena varnostna zapornica s katero je omogočen remont glavne zapornice, ne pa obratovanje

talnega izpusta, ki še vedno ni v funkciji. Sanacija talnega izpusta je v teku (Škofic Franc s sod, 2003).

3. Strojnica HE Moste

Celoten sistem hidroelektrarne Moste, je zgrajen na težavnem geološkem terenu, zato so se že vse od izgradnje pojavljali problemi na hidrotehničnih objektih. Dolina, ki jo je Sava vrezala je iz erodibilnih kamnin, ki ležijo na neprepustni podlagi. Celotno območje leži na prekonsolidirani glini (sivica), ki predstavlja velik problem, saj v stiku z vodo zelo nabreka. Strojnica je zgrajena na plazečem območju, s tem pa se ustvarjajo veliki pritiski, ki pritiskajo na strojnico. Poleg tega je plazenje povzročalo neenakomerno drsenje strojnice, zato so se pojavljali problemi z osmi generatorjev. Tekom obratovanja hidroelektrarne so izvajali različne sanacije, kot so sidranje hribine, injektiranje in krajšanje osi samih agregatov, vendar nobena od sanacij ni izpolnila pričakovanj. Tako so v letu 2008 izvedli celovito sanacijo z zamenjavo celotne elektro-strojne opreme in ojačitvijo zgradbe strojnice s katero so trenutno preprečeni premiki strojnice. Na mestu izpraznjenega prostora so izvedli ojačitve strojnice z armiranobetonsko konstrukcijo, ter s tem ublažili zemeljske pritiske na samo strojnico. Ob tem so izvedli še rekonstrukcijo stikališča, opuščeno je bilo prostozračno in zamenjano s plinsko izoliranim (SEL, 2015).

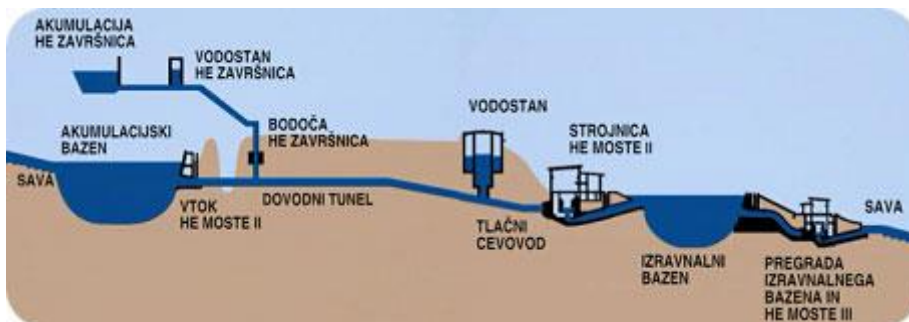
Sanacija strojnice izvedena v letu 2008 predstavlja zgolj začasno rešitev, saj še vedno ni odpravljena nevarnost popolne zaustavitve elektrarne, ki bi lahko nastala kot posledica preplavitve strojnice zaradi aktiviranja plazljivega pobočja na levem bregu nad strojnico. Da je nevarnost realna je bilo dokazano v letu 1999, ko se je po dolgotrajnem deževju aktiviralo plazišče v skupnem obsegu 800.000m³. S stabilizacijo brežin na desnem bregu in dreniranjem plazišča je bil obseg pobočnih procesov zmanjšan, ne pa tudi zaustavljen. Tveganje pri obratovanju elektrarne na sedanji lokaciji bo ostalo veliko, dokler ne bo v celoti realiziran projekt doinstalacije HE Moste s prestavitvijo lokacije strojnice v dolino Piškovce.

5.2 Sanacija in doinstalacija HE Moste

S sanacijo in doinstalacijo HE Moste, bi dosegli optimalno energetska izrabo, poleg tega pa izboljšali kakovost okolja na vplivnem območju HE Moste. Načrtovani sistem sanacije obsega sanacijo obstoječe akumulacije in pregrade, ki bi jo s pomočjo zapornic še nadvišali. Predvidena je izgradnja novega vtočnega objekta, nov dovodni tunel, ki bi se zaključil v novi strojnici HE Moste II. V novi strojnici bi bili nameščeni dve francisovi turbini, v stari strojnici pa bi obratoval agregat 4, ki je bil leta 1999 obnovljen in izkorišča vodo iz potoka Završnica. Po izteku življenjske dobe agregata 4 bi bila voda s pregrade Završnica priključena na dovodni tunel do HE Moste II, stara strojnica HE Moste pa bi bila v celoti preurejena v

tehnični spomenik. Poleg strojnice HE Moste II bi bil lociran izravnalni bazen, v katerega bi bil speljan iztok iz HE Moste II. Izravnalni bazen bi omogočal izravnavo nihanja pretokov, ki nastajajo zaradi koničnega obratovanja HE Moste. Izravnalni bazen bi bil pregrajen s pregrado, v kateri bi bila nameščena strojnica HE Moste III z dvema kaplanovima turbinama.

Doinstaliran sistem HE Moste, bi proizvodnjo povečal s sedanjih 59GWh na leto na 98,1GWh na leto in s tem dodal veliko rezervne in regulacijske moči za enakomerno delovanje energetskega sistema. S sanacijo bi odpravili izgube, zaradi poddimenzioniranosti derivacijskih objektov, kar se trenutno odraža v proizvodnji energije. V okviru sanacije bi se izvedla tudi sanacija samega akumulacijskega bazena HE Moste ter zaledja, v katerem so se nabrale toksične usedline, ki so vzrok prenekateremu ekološkemu problemu in znatno vplivajo na obratovalno varnost pregradnega objekta, saj so razlog da evakuacije visokih voda trenutno ni mogoče izvajati preko evakuacijskega tunela. Z izgradnjo izravnalnega bazena, bi odpravili delovanje degradacijskih procesov, s katerimi se srečujemo zaradi neenakomernega delovanja hidroelektrarne. Z nastankom jezera pa bi se lahko razvile različne obvodne aktivnosti (SEL, 2015).



Slika 6: Sistem HE Moste po sanaciji (SEL, 2015)

5.3 HE Završnica

Hidroelektrarna Završnica je bila prva javna elektrarna v Sloveniji, ki je že leta 1914 začela oskrbovati zgornjo Gorenjsko z elektriko. Pregrada Završnica je masivna betonska pregrada s krono dolžine 105 metrov. Po kroni je čez pregrado speljana lokalna cesta širine 4 metre. Pregrada ima štiri prelivna polja, vsako širine 7,5 metra. Višina pregrade od temeljev do preliva pa znaša 13 metrov.



Slika 7: Akumulacijsko jezero HE Završnica (SLOCOLD, 2015)

Hidroelektrarno Završnica sestavljajo naslednji objekti: Pregrada v dolini Završnice, ki ustvarja akumulacijsko jezero s prostornino okoli 264.000m³ (od tega koristne prostornine 120.000m³). Na levem bregu ob pregradi je situirano stolpno zajetje z zapornicami opremljenimi z grobimi grabljami. Od tod je speljan derivacijski tlačni rov, podkvastega prereza, višine 2m, dolžine 800m do vodostana, ki se nahaja nad naseljem Žirovnica. Vodostan je s strojnico povezan s tlačnim rovom premera 1m in dolžine 900m. Strojnica je postavljena v dolini reke Save, neposredno ob strojnici HE Moste. Prvotno sta bila instalirani dve Pelton turbini, s skupno požiralnostjo 2x1m³/s in močjo 2MW in srednjo letno proizvodnjo 5GWh.



Slika 8: Akumulacija Završnica ter pregradni objekt (SLOCOLD, 2015)

Elektrarna je neprekinjeno obratovala devetdeset let, tudi med obema vojnoma. Leta 2005 so staro strojnico zaprli in jo spremenili v tehnični spomenik. Pomembna prelomnica je bilo leto 1977, ko so v strojnico HE Moste vgradili še četrti agregat, ki je sočasno s staro strojnico omogočal energetska izrabo akumulacije v turbinsko-črpalnem režimu. Od leta 1977 pa do 2005 je elektrarna Završnica delovala izmenično s četrtim agregatom HE Moste, oziroma so slednjega uporabljali v primeru povečanih potreb po energiji. Z izjemo stare elektrarne Završnica ostali objekti obratujejo neprekinjeno že več kot 100 let.



Slika 9: Pregradni objekt HE Završnica, (SLOCOLD, 2015)

6 PREDSTAVITEV METODOLOGIJE VODPREG

6.1 Opis projekta VODPREG

VODPREG, s celotnim imenom Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS, se je začel leta 2011, končal pa leta 2012. Osnovni namen je bil izdelava pregledne karte z evidenco stanja vseh vodnih pregrad in zadrževalnikov, ki so prvenstveno namenjene varstvu pred škodljivim delovanjem voda, namakanju ali drugim rabam vode, izvezete pa so bile pregrade in zadrževalniki, ki so namenjeni hidroenergetski rabi (Kryžanowski s sod., 2013).

Pričakovani rezultati projekta:

- Karta za vnos pomembnih vodnih oziroma pregradnih objektov,
- Opis stanja objektov (geološke, geotehnične, hidrološke, meteorološke, hidravlične, tehnološke podatke, poleg tega pa aktualni sistem monitoringa ter seznam razpoložljive dokumentacije),
- Zbirka obstoječih podatkov o izdelanih študijah posledic porušitve pregrad s predlogi za potrebne dopolnitve in nove izračune za pregrade, ki niso bile obravnavane,
- Predlog monitoringa in priprava načrtov alarmiranja prebivalstva,
- Evidentiranje stanja objektov in predlog sanacijskih ukrepov,
- Navodila ukrepov za prebivalce.

Raziskovalni projekt VODPREG je postavil dobre smernice za začetek vpeljave sistema vodenja evidenc pregradnih objektov. Ker takšnega sistema, ki bi omogočal preglednost in podajal realno oceno stanja pregrad v Sloveniji ni, je še toliko bolj pomembno, da bi se tak sistem vpeljal. Pomembno je, da se zavedamo, da je zagotavljanje varnosti kritičnih objektov, med katere spadajo tudi pregrade, zelo pomembno saj pregrade predstavljajo veliko nevarnost za prebivalce in infrastrukturo v bližini. Zagotavljanje varnosti, je zapleten proces, v katerega morajo biti vključeni lastniki oziroma upravljavci pregrad, državne inštitucije ter prebivalstvo, ki živi v bližini pregrad (Kryžanowski s sod., 2013).

6.2 Predstavitev metodologije

Na podlagi pridobljenih podatkov, izvedenih popisov ter terenskega ogleda je bila izvedena kvalitativna ocena stopnje tveganja, ki ga objekt predstavlja na vplivnem območju. Ocena je bila izdelana na podlagi parametrov razdeljenih v pet skupin:

- **Osnovi parametri:** V tej skupini je ocenjeno tveganje, ki izhaja iz osnovnih parametrov pregrad, s katerimi delimo objekte na velike in male pregrade po kriterijih ICOLD-a: višina pregrade, velikost akumulacijskega prostora, maksimalni pretok v pregradnem profilu, razmerje maksimalni - srednji pretok ter razmerje maksimalni pretok - pretok pri poružitvi.
- **Stanje razpoložljive dokumentacije:** Ocenjeno je tveganje, ki izhaja iz razpoložljivosti in dostopnosti projektne in obratovalne dokumentacije: projektna in izvedbena dokumentacija, razpoložljivost obratovalne dokumentacije, obratovalni pravilnik, projekt poružitve ter akcijski program obveščanja in alarmiranja.
- **Obratovalni parametri:** Tveganje, ki ga predstavlja samo obratovanje pregrade obsega dejansko rabo akumulacije, prepis izvajanja monitoringa, geotehnični monitoring, hidrolški monitoring, monitoring stanja objektov, izvajanje analiz opazovanja in pokalkulacija rezultatov ter sistem obveščanja in alarmiranja prebivalstva. Tako so v tej skupini zajeti parametri s katerimi se spremlja obratovalne karakteristike, stanje objektov, ter urejenost ukrepov v primeru nastopa visokih voda ali poružitve pregrade.
- **Tveganja pri obratovanju:** Ocenjeno je tveganje posledic obratovanja in vplivov objektov na okolico: tveganje za prebivalstvo, ki živi dolvodno, tveganje za infrastrukturo, tveganje za območja poselitve in industrije, vzdrževanje pregrad, sistem nadzora, projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi, lastništvo in upravljanje objektov ter dostopnost objekta.
- **Stanje objekta in opreme:** V tej skupini je ocenjeno tveganje, ki izhaja iz stanja objektov in posledic obratovanja objektov: stanje pregrad, stanje na vplivnem območju pregrade, površinski evakuacijski objekti – stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem, talni evakuacijski objekti – stanje talnega izpusta, vključno s podslapjem, stanje struge dolvodno, stanje hidromehanske opreme ter stanje elektro opreme.

Vsak parameter je bil vrednoten po tristopenjski lestvici (1-velik, 2- srednji in 3-majhen vpliv) z upoštevanjem stopnje vpliva določenega parametra na končno skupno tveganje, ki pa je razdeljeno na petstopenjsko lestvico (malo, malo do srednje, srednje, srednje do veliko ter veliko tveganje) (Kryžanowski s sod., 2012).

7 IZDELAVA OCEN TVEGANJ PORUŠITVE

7.1 Ocenjevanje tveganj porušitve pregrade HE Moste

Analizo tveganja za pregrado Kavčke (HE Moste) smo naredili na podlagi evidenčnih listov, ki so bili pripravljene v okviru projekta VODPREG. Evidenčnih listov posebej nismo spreminjali, saj smiselno vključujejo vse potrebne elemente za velike pregrade, pod katere spada tudi pregrada Kavčke. Analiza temelji na terenskem ogledu objektov, ki sem ga opravil 6. maja 2015. V sklopu ogleda sem izvedel pregled objektov, hidromehanske opreme in elektro-strojne opreme. V nadaljevanju podajam oceno na podlagi opravljenega terenskega ogleda in pregledane projektne in obratovalne dokumentacije.

7.1.1 Osnovni parametri pregrad:

A1)višina pregrade:			
h>15	1	1	h=59,6m
h>10	2		
h>5	3		

Tabela 2: Višina pregrade

A2)volumen zadrževanja:			
V> 1hm ³	1	1	V= 5,464 hm ³
V> 0,5hm ³	2		
V<0,5hm ³	3		

Tabela 3: Volumen zadrževanja

- Volumen zadrževanja je z začetnih 6,9hm³ zaradi napolnjenosti z usedlinami zmanjšan na 5,464hm³.

A3)pretok v pregradnem profilu:			
Q>2000m ³ /s	1	3	Q=570m ³ /s
Q>1000m ³ /s	2		
Q<1000m ³ /s	3		

Tabela 4: Pretok v pregradnem profilu

A4)razmerje Q100 - Qsr:			
n>200	1	3	n=29,4
n>100	2		
n<100	3		

Tabela 5: Razmerje Q100-Qsr

- Q100= 400m³/s; Qsrednji=13,6m³/s

A5)razmerje Qporušitev - Q100:			
n>2	1	2	n=1,75
n>1	2		
n<1	3		

Tabela 6: Razmerje Qporušitev-Q100

- $Q100 = 400 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q \text{ porušitve} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$

Skupaj točke - parametri pregrad:		24	Vse možne točke: 40
--	--	-----------	----------------------------

Tabela 7: Skupaj točk-parametri pregrad

Posamezne karakteristike potrebne za izdelavo ocene so podane pod komentarjem, skupna ocena osnovnih parametrov pregrade pa je izračunana po formuli (Kryžanowski, 2012):

$$\bullet \quad \sum A = 2^{(4-A1)} + 2^{(4-A2)} + 2^{(4-A3)} + 2^{(4-A4)} + 2^{(4-A5)},$$

v kateri A1 predstavlja oceno pri višini pregrade, A2 pri volumnu zadrževanja, A3 pretok v pregradnem profilu, A4 razmerje med stoletno vodo ter srednjim pretokom, ter A5 razmerje med porušitvenim pretokom ter stoletno vodo.

7.1.2 Stanje projektne in izvedbene dokumentacije

B1)projektna in izvedbena dokumentacija:			
nepopolna	1	2	Dokumentacija, za gradnjo je razpršena, dokumentacija o vzpostavitvi tehničnega opazovanja je popolna
pomanjkljiva ali razpršena	2		
popolna	3		

Tabela 8: Projektna in izvedbena dokumentacija

- Projekt tehničnega opazovanja za visoki jez HE Moste, ZRMK, DN 1380/66, Ljubljana, 1967;
- Poročilo o vzpostavitvi sistema opazovanja na HE Moste, ZRMK, DN186/68, Ljubljana, februar 1972;
- Dokumentacija za gradnjo je razpršena, ker se dokumentni in načrti po koncu izgradnje niso zbrali ter uredili.

B2)razpoložljivost obratovalne dokumentacije:			
nepopolna ali razpršena - ni dnevnikov obratovanja	1	3	Savske elektrarne Ljubljana imajo vso potrebno dokumentacijo. Dnevnik predstavljajo trije dokumenti.
popolna in /ali razpršena - obstaja dnevnik obratovanja	2		
popolna z vso potrebno dokumentacijo o objektu	3		

Tabela 9: Razpoložljivost obratovalne dokumentacije

- Knjiga obratovanja, kamor se vpisuje aktivnosti kot so čas zagona ali zaustavitve agregatov, odpiranje in zapiranje polj, opažanja, na primer izpad agregata, porast dotoka, delovanje zaščit in sporočila drugih oseb, ribičev, nadrejenih oseb ali vzdrževalnega osebja.
- Dnevno obratovalno poročilo, v katerega se vpisujejo urne vrednosti gladin, dotoka v akumulacijo, pretoke skozi turbine in prelivne organe, moči agregatov, proizvedena energija.
- Tretji dokument pa so računalniški zapisi obratovalnih stanj, ki se tvorijo iz signalov obratovalnih stanj posameznih naprav in meritev, shranjenih v bazi podatkov.

B3)obratovalni pravilnik:			
ne obstaja ali so podatki nepopolni	1	3	Savske elektrarne Ljubljana imajo vso potrebno dokumentacijo.
obstaja, vendar ni ažuriran in potrjen	2		
potrjen in ažuriran	3		

Tabela 10: Obratovalni pravilnik

- Pravila vodnega režima za HE Moste in HE Završnica, v katerem so navedene omejitve hitrosti spreminjanja gladine akumulacijskega jezera in hitrosti naraščanja oziroma upadanja pretoka pod hidroelektrarno.
- Pravilnik o izvajanju nalog obratovanja, Savske elektrarne Ljubljana.

B4)projekt porušitve:			
ne obstaja	1	3	Posledice porušitve pregrade opisujeta dva dokumenta.
obstaja, vendar z nepopolnimi ali neažuriranimi podatki	2		
popoln in ažuriran projekt	3		

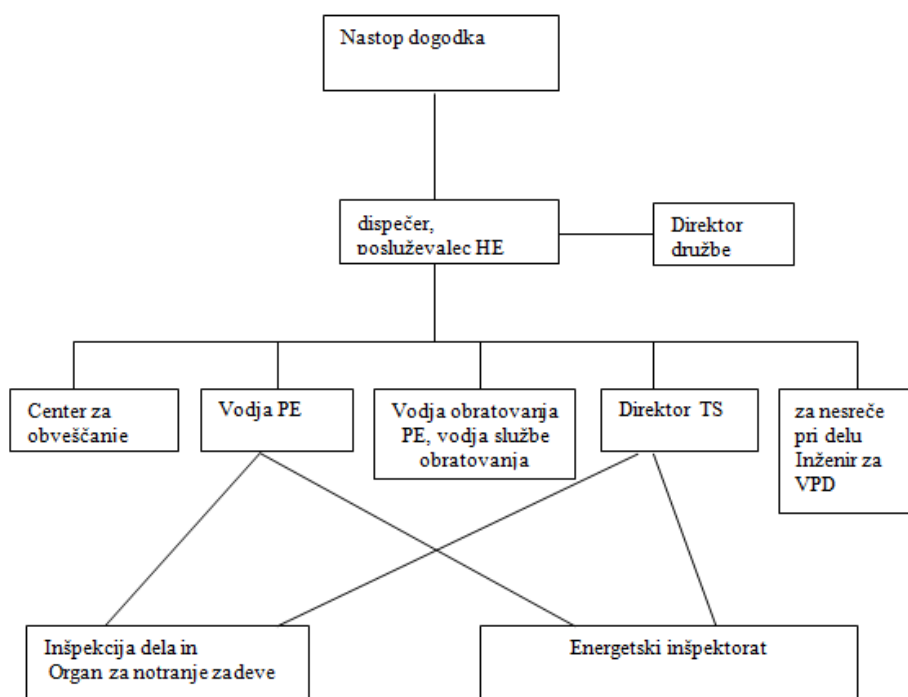
Tabela 11: Projekt porušitve

- Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade HE Moste, Vodogradbeni laboratorij Ljubljana, maj 1975.
- Leta 1999 so na podlagi načrtov za sanacijo HE Moste naredili nov preračun, podatki so zbrani v dokumentu Račun hidravličnih posledic morebitne porušitve pregrad HE Moste in HE Moste III, Univerza v Ljubljani, FGG Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, junij 1999.

B5) akcijski programi obveščanja in alarmiranja:			
program je nepopoln	1	3	Program obveščanja in alarmiranja vzpostavljen.
program obstaja, vendar ni ažuriran	2		
ažuriran in potrjen program	3		

Tabela 12: Akcijski program obveščanja in alarmiranja

- Navodila o poteku obveščanja ob okvarah in izrednih razmerah v Savskih elektrarnah Ljubljana, februar 2015, v katerem je opredeljen način obveščanja v primerih, ko nastopi izredni dogodek.
- V načrtu zaščite in reševanja za pregrado Moste je opisan protokol obveščanja služb pristojnih za ukrepanje ob izjemnih dogodkih.



Slika 10: Potek obveščanja v primeru nastopa izrednih dogodkov ali večjih okvar (SEL, 2015)

- Uredba o organizaciji in delovanju sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja, Ur. list RS, št. 105/07, ki je osnova za izdelavo protokolov obveščanja in ukrepanja.
- Postavitev elektronskih siren za alarmiranje HE Moste, junij 2011. Alarmiranje je vzpostavljeno, sirena je na strehi komandne stavbe, komandna omarica pa je montirana v hodniku komandnega prostora. Elektronska sirena v HE Moste je sestavljena iz: zvočnika, nizkofrekvenčnega ojačevalnika s potrebno krmilno elektroniko, panela za lokalno krmiljenje in nadzor, panela za daljinsko krmiljenje in nadzor, vhodno/izhodnih enot, sistema osnovnega napajanja in radijske postaje ter komunikacijskega vmesnika (Alarmiranje SEL, 2011).



Slika 11: Sirena na strehi komandne stavbe (Alarmiranje SEL, 2011)

Skupaj točke - dokumentacija:		12	Vse možne točke: 40
-------------------------------	--	----	---------------------

Tabela 13: Skupaj točke-dokumentacija

Pod preglednicami so napisani dokumenti, ki urejajo posamezno področje. Skupna ocena je izračunana po formuli:

$$\bullet \sum B = 2^{(4 \cdot B1)} + 2^{(4 \cdot B2)} + 2^{(4 \cdot B3)} + 2^{(4 \cdot B4)} + 2^{(4 \cdot B5)} \quad (\text{Kryžanowski, 2012}),$$

kjer B1 predstavlja oceno za projektno in izvedbeno dokumentacijo, B2 za razpoložljivost obratovalne dokumentacije, B3 za obratovalni pravilnik, B4 za projekt porušitve ter B5 za oceno akcijskega programa obveščanja in alarmiranja.

7.1.3 Obratovanje

C1)akumulacija:			
akumulacija ne služi namenu - obratovanje je ovirano	1	3	Akumulacija služi svojemu namenu, upravljalec ima pripravljene dokumente v primeru kriznih situacij.
akumulacija delno služi namenu - obratovanje je delno ovi	2		
akumulacija polno služi namenu	3		

Tabela 14: Akumulacija

- Akumulacija služi svojemu namenu;
- Navodila za varnostno praznjenje akumulacijskih bazenov Savskih elektrarn v primeru nevarnosti rušenja pregrad, Medvode, avgust 1999;
- Zahteve za lokalno in daljinsko vodenje zapornic na pregradi HE Moste.

C2)monitoring:			
monitoring ni predpisan s projektom ali obratoval. prav.	1	3	Monitoring je predpisan s Projektom tehničnega opazovanja
monitoring je predpisan - (pomanjkljivo ali zastarelo)	2		
monitoring je ustrezno predpisan	3		

Tabela 15: Monitoring

- Projekt tehničnega opazovanja za visoki jez HE Moste, ZRMK, DN 1380/66, Ljubljana, 1967;
- Podatke monitoringa se zbira v letnih poročilih, ki jih izdeluje Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG);
- V monitoringu se izvajajo naslednje meritve: meritve deformacij objektov, vizualni pregledi, meritve podtalnice v vrtnah ter toplotno analizo.

C3)monitoring (pregrada in akumulacija) - geotehnika:			
se ne izvaja oz neredno ali je pomanjkljiv	1	3	Monitoring je predpisan s Projektom tehničnega opazovanja
delno se izvaja skladno po projektu	2		
izvaja se ustrezno	3		

Tabela 16: Monitoring-geotehnika

- Projekt tehničnega opazovanja za visoki jez HE Moste, ZRMK, DN 1380/66, Ljubljana, 1967
- Podatke monitoringa se zbira v letnih poročilih, ki jih izdeluje Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG);
- Geotehnične meritve se izvajajo na pregradnem objektu, v podslapju, na kaštnih zidovih in sidranem opornem zidu, poleg tega pa se merijo še nagibi pregrade in delovanje dilatacij.

C4)monitoring - hidrologija:			
se ne izvaja ali je pomanjkljiv	1	3	Spremlja se nivo vode v akumulaciji in podtalnici
se izvaja delno (na pregradi)	2		
se izvaja v celoti s spremljanjem količin	3		

Tabela 17: Monitoring-hidrologija

- Meri se piezometrične pritiske v vrtnah, iztok vode iz kontaktnih opazovalnih vrtn, meritve filtracijskih hitrosti vode ter ugotavlja se izvor vode., poleg tega pa se meri tudi višino vode v akumulacijskem bazenu, ter pretok skozi turbine.
- Rezultati meritev so zbrani v letnih poročilih Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG)

C5) monitoring stanja objektov:			
se ne izvaja	1	3	Izvoja na podlagi Projekta tehničnega opazovanja
se izvaja delno s strani upravljalca	2		
se izvaja po programu	3		

Tabela 18: Monitoring stanja objektov;

- Projekt tehničnega opazovanja za visoki jez HE Moste, ZRMK, DN 1380/66, Ljubljana, 1967;
- Letna poročila o tehničnem opazovanje Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG);
- Poleg samih meritev objektov, se izvajajo še vizualni pregledi, v katerih odkrivajo razpoke in poškodbe na objektih, pregledujejo kvaliteto betona, ter pregledi brežin akumulacije in podslapja.

C6) analize in pokalkulacije rezultatov:			
se ne izvajajo	1	2	Izvoja na podlagi Projekta tehničnega opazovanja
se izvajajo delno zgolj s komentarjem rezultatov	2		
se izvajajo v celoti s stalnim noveliranjem programov	3		

Tabela 19: Analize in pokalkulacije rezultatov

- Letna poročila o tehničnem opazovanje Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG), v katerih so zbrani podatki meritev, vendar se pokalkulacije ne izvajajo v celoti, temveč se izvajajo samo z ustreznim komentarjem. SEL d.d.o.

C7) alarmiranje prebivalstva:			
sistem ni vzpostavljen	1	3	Alarmiranje in obveščanje vzpostavljeno s strani SEL.
sistem je delno vzpostavljen (obveščanje ali alarmiranje)	2		
sistem je v celoti vzpostavljen in funkcionalen	3		

Tabela 20: Alarmiranje prebivalstva

- Uredba o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja, Ur. list RS 3/2002;
- Uredba o organizaciji in delovanju sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja, Ur. list RS, št. 105/07;
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami, Ur. list RS 51/2006;
- Navodilo o pripravi ocen ogroženosti, Ur. list RS 39,1995;
- Upravljavec, v tem primeru Savske elektrarne Ljubljana so po zakonu dolžne zagotoviti alarmiranje v območju, ogrožanja ljudi, živali, premoženja in kulturne dediščine;
- Načrt zaščite in reševanja za pregrado HE Moste, kateri zajema območje HE Moste v primeru povečanega pretoka Save nad 150 m³/s in nenadzorovanega izliva ali preliva vode akumulacijskega bazena, zaradi česa bi bili ogroženi ljudje in njihovo premoženje.

Skupaj točke - obratovanje:	16	Vse možne točke: 56
------------------------------------	-----------	----------------------------

Tabela 21: Skupaj točke-obratovanje

Pod preglednicami so navedeni zakoni oziroma dokumenti, na podlagi katerih sem lahko izdelal oceno. Skupna ocena je izračunana po formuli:

$$\bullet \sum C = 2^{(4 \cdot C1)} + 2^{(4 \cdot C2)} + 2^{(4 \cdot C3)} + 2^{(4 \cdot C4)} + 2^{(4 \cdot C5)} + 2^{(4 \cdot C6)} + 2^{(4 \cdot C7)} \quad (\text{Kryžanowski, 2012}),$$

kjer C1 predstavlja oceno akumulacije, C2 monitoringa, C3 geotehničnega monitoringa, C4 monitoringa hidrologije, C5 monitoringa stanja objektov, C6 analize in pokalkulacij ter C7 oceno alarmiranja prebivalstva.

7.1.4 Tveganje

D1)tveganje dolvodno:			
veliko žrtev	1	1	Upravljalac ima pri izračunih porušitve ocenjeno tudi tveganje dolvodno
malo žrtev - možna evakuacija	2		
nič žrtev	3		

Tabela 22: Tveganje dolvodno

- Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade, Vodogradbeni laboratorij Ljubljana, maj 1975;
- Leta 1999 so na podlagi načrtov za sanacijo HE Moste naredili nov preračun, podatki so zbrani v dokumentu Račun hidravličnih posledic morebitne porušitve pregrad HE Moste in HE Moste III, Univerza v Ljubljani, FGG Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, junij 1999;
- V študijah je bilo izračunano, da bi bilo v najhujših primerih med 300 in 600 ogroženih prebivalcev. Življenjsko ogroženi so predvsem prebivalci naselij Lancovo, Podnart, Gobovce, Zasip, Piškovci. Ovsišje, mogoče tudi delavci v industrijskih objektih na levem bregu Save v Kranju, ter delavci na sami hidroelektrarni Moste ter turisti v kampu Šobec.

D2)tveganje za infrastrukturo:			
prekinitev infrastrukturnih povezav	1	1	Upravljalac ima pri izračunih porušitve ocenjeno tudi tveganje dolvodno
delno prelitje infrastrukture	2		
manjše ali nič škode	3		

Tabela 23: Tveganje za infrastrukturo

- Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade, Vodogradbeni laboratorij Ljubljana, maj 1975;
- Leta 1999 so na podlagi načrtov za sanacijo HE Moste naredili nov preračun, podatki so zbrani v dokumentu Račun hidravličnih posledic morebitne porušitve pregrad HE Moste in HE Moste III, Univerza v Ljubljani, FGG Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, junij 1999;
- Ocenjeno je, da bi se utegnil porušiti cestni most v Radovljici, porušila bi se sama pregrada HE Moste, poplavljen bi bil Blejski most, ostala infrastruktura pa ne bi bila ogrožena.

D3)tveganje za območja poselitve in industrije:			
porušitev objektov	1	1	Upravljalac ima pri izračunih porušitve ocenjeno tudi tveganje dolvodno
preplavitev - možna sanacija	2		
občasno poplavljanje	3		

Tabela 24: Tveganje za območja poselitve

- Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade, Vodogradbeni laboratorij Ljubljana, maj 1975;
- Leta 1999 so na podlagi načrtov za sanacijo HE Moste naredili nov preračun, podatki so zbrani v dokumentu Račun hidravličnih posledic morebitne porušitve pregrad HE Moste in HE Moste III, Univerza v Ljubljani, FGG Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem, junij 1999;
- Ogrožena poselitev se nahaja v naseljih Lancovo, Podnart, Gobovce, Zasip, Piškovci, ogrožena bi bila industrija v Kranju na levem bregu Save, velika škoda pa bi se pojavila na sami energetske infrastrukturi saj bi zaradi poplavitve strojnice hidroelektrarne Moste prišlo do izpada hidroelektraren Moste ter Završnica.

D4)vzdrževanje pregrad:			
neredno vzdrževanje	1	2	Vzdrževanje se izvaja po potrebi
občasno (letno) vzdrževanje	2		
redno (mesečno) vzdrževanje	3		

Tabela 25: Vzdrževanje pregrad

- Vzdrževanje se izvaja po potrebi, na podlagi letnih poročil o tehničnem opazovanju, ki jih izdeluje Zavod za gradbeništvo Slovenije.

D5) sistem nadzora:			
pregrada ni nadzorovana	1	3	Pregrada je nadzorovana z lokalnim sistemom ter ima vzpostavljeno daljinsko vodenje
pregrada je nadzorovana z lokalnim sistemom	2		
pregrada je daljinsko nadzorovana	3		

Tabela 26: Sistem nadzora

- Projekt tehničnega opazovanja za visoki jez HE Moste, ZRMK, DN 1380/66, Ljubljana, 1967.

D6) projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi:			
objekti niso ustrezno zasnovani ali so poddimenzionirani	1	1	Talni izpust, ki je namenjen evakuaciji vršnih voda je potreben sanacije, ki se trenutno izvaja.
objekti pogojno zagotavljajo obratovalno varnost	2		
zasnova objektov je skladna s pravili stroke	3		

Tabela 27: Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi

- Dokler talni izpust ni saniran je ocena 1, saj nefunkcionalnost predstavlja veliko tveganje.

D7) lastništvo in upravljanje objektov:			
ni jasnega lastništva, ne upravljalca	1	3	Upravljalca in lastnik so Savske elektrarne Ljubljana
upravljanje objektov je deloma urejeno	2		
upravljanje objektov je urejeno	3		

Tabela 28: Lastništvo in upravljanje objektov

D8) dostopnost objekta:			
pregrada in objekti niso zavarovani	1	2	Dostop do pregrade je možen, vendar je sama oprema zavarovana.
dostop do pregrade je možen, oprema je zavarovana	2		
dostop do pregrade in objektov je omejen in nadzorovan	3		

Tabela 29: Dostopnost objekta

- Na terenskem ogledu smo opazili, da imajo kljub znakom in zapornicam ljudje dostop do pregradnih objektov, ne pa tudi v samo telo objekta, poleg tega gibanje nadzorujejo z video nadzorom. Sama strojnica je bolj varovana saj je ograjena in dostop do strojne in ostale opreme ni mogoč.

Skupaj točke - tveganja:		44	Vse možne točke: 64
---------------------------------	--	-----------	----------------------------

Tabela 30: Skupaj točke-tveganje

Pod preglednicami so navedeni zakoni oziroma dokumenti ter opažanja, na podlagi katerih sem lahko izdelal oceno. Skupna ocena je izračunana po formuli:

- $\sum D = 2^{(4 \cdot D1)} + 2^{(4 \cdot D2)} + 2^{(4 \cdot D3)} + 2^{(4 \cdot D4)} + 2^{(4 \cdot D5)} + 2^{(4 \cdot D6)} + 2^{(4 \cdot D7)} + 2^{(4 \cdot D8)}$ (Kryžanowski, 2012),

kjer D1 podaja oceno, ki jo predstavlja tveganje dolvodno, D2 tveganje za infrastrukturo, D3 tveganje za območje poselitve, D4 vzdrževanje pregrad, D5 sistem nadzora, D6 projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi, D7 lastništva in upravljanja objektov ter D8 dostopnost objektov.

7.1.5 Stanje objektov in opreme

E1) stanje pregrad:			
na pregradi so jasno vidni degradacijski procesi večjega obseva	1	2	Pregrada je enaka kot v projektne stanju, na napake se opozori v letnem poročilu tehničnega opazovanja
mestoma se pojavljajo degradacijski procesi	2		
pregrada je enaka projektne stanju	3		

Tabela 31: Stanje pregrad

- Izvajajo se letne meritve glede stabilnosti, ter vizualno opazovanje pregrade, podatke o meritvah ter opažanja so zbrani v letnih poročilih o tehničnem opazovanju pregrade, ki jih izdeluje Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG);
- Izdeluje se tudi kataster razpok in poškodb, zadnji je bil izdelan leta 2014;
- Leta 2003 so bila na pregradi izvedena obširna vzdrževalna dela, kjer se je vidne betonske razpoke saniralo;
- Poleg tega opravljajo tudi pregled betona pregradnega objekta, beton je v dobrem stanju in ne predstavlja nevarnosti.

E2) stanje vplivnega območja pregrade:			
stalna prisotnost degradacijskih procesov	1	1	Degradacijski procesi se občasno pojavljajo gorvodno ter dolvodno od pregrade, ne levem ter desnem bregu.
občasna prisotnost degradacijskih procesov	2		
ni značilnih vplivov	3		

Tabela 32: Stanje vplivnega območja pregrad

- Opravlja se vizualni pregled vplivnega območja, opažanja so zbrana v letnih poročilih o tehničnem opazovanju, dokumentirano je s slikami ter opisom stanja, namen opazovanj pa je ugotavljanje kritičnih točk brežin, kjer bi lahko prišlo do večjega krušenja in plazanja;
- Degradacijski procesi so opaženi na levem in desnem bregu, krušenje ne ogroža akumulacije, plazovi pa so sanirani, vendar to še vedno predstavlja veliko tveganje.



Slika 12: Sanirano območje krušenja pobočja, spodaj pa sidran podporni zid

E3) stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem:			
preliv ni v funkciji - sanacija je nujna	1	2	Prelivna polja polno funkcionalna, podslapje slabo temeljeno
preliv je v funkciji - potreben sanacije	2		
preliv je polno funkcionalen	3		

Tabela 33: Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem

- Prelivna polja so bila obnovljena leta 2004, ko so do takrat leseno nadvišane zamenjali s posebnimi tablastimi zapornicami.
- Podslapje je temeljno v sivici, kar predstavlja problem, vendar je v načrtu sanacija podslapja



Slika 13: Prelivna polja ter posebne tablaste zapornice

E4)stanje talnega izpusta, vključno s podslapjem:			
izpust ni v funkciji - sanacija je nujna	1	1	Talni izpust ni v funkciji, potreben sanacije
izpust je v funkciji - potreben sanacije	2		
izpust je polno funkcionalen	3		

Tabela 34: Stanje talnega izpusta, vključno s podslapjem

- Trenutno talni izpust ni v funkciji, ker na vtoku odloženi mulj predstavlja oviro za obratovanje. Mulj je toksičen, zato predstavlja odprtje talnega izpusta problem, saj bi prišlo do onesnaženja voda dolvodno in s tem poslabšanja ekološkega stanja na vodotoku. Projekt sanacije talnega izpusta je v teku.



Slika 14: Talni izpust

E5) stanje struge dolvodno:			
priključek evakuacijskih objektov ni funkcionalen	1	2	Struga dolvodno je urejena in omogoča normalen pretok, pojavljajo pa se degradacijski procesi.
izvedba je funkcionalna - potrebni sanacijski ukrepi	2		
evakuacija voda dolvodno poteka nemoteno	3		

Tabela 35: Stanje struge dolvodno

- Izvaja se letno opazovanje stanja struge dovodno, podatke se beleži v letnih poročilih o tehničnem opazovanju;
- Struga je urejena, v preteklosti so strugo ogrožali plazovi, ki so sanirani z opornimi zidovi;
- kot posledica zaježitve in prekinjenega transporta plavin ter nestacionarnega obratovanja se vzdolž celotnega odseka pod pregrado pojavljajo erozijski procesi (poglabljanje struge, bočna erozija...). Problem je rešljiv samo z izgradnjo kompenzacijskega bazena pod pregrado.

E6) stanje mehanske opreme:			
večina opreme ni v funkciji	1	2	Mehanska oprema je bila pred kratkim zamenjana
oprema je delno v funkciji	2		
vsa oprema je funkcionalna	3		

Tabela 36: Stanje mehanske opreme

- Med letoma 2008-2010 je bila v sklopu rekonstrukcije zamenjana vsa mehanska oprema;
- Zaradi nedelovanja in neustreznosti opreme talnega izpusta je ocena nižja.

E7) stanje elektro opreme:			
večina opreme ni v funkciji	1	3	Elektro oprema je bila pred kratkim zamenjana
oprema je delno v funkciji	2		
vsa oprema je funkcionalna	3		

Tabela 37: Stanje elektro opreme

- Med letoma 2008-2010 je bila v sklopu rekonstrukcije zamenjana vsa elektro oprema.

Skupaj točke - oprema:		34	Vse možne točke: 48
-------------------------------	--	-----------	----------------------------

Tabela 38: Skupaj točke-oprema

Pod preglednicami so navedeni zakoni oziroma dokumenti ter opažanja, na podlagi katerih sem lahko izdelal oceno. Skupna ocena je izračunana po formuli:

$$\bullet \sum E = 2^{(4 \cdot E1)} + 2^{(4 \cdot E2)} + 2^{(4 \cdot E3)} + 2^{(4 \cdot E4)} + 2^{(4 \cdot E5)} + 2^{(4 \cdot E6)} + 2^{(4 \cdot E7)} \quad (\text{Kryžanowski, 2012}),$$

kjer E1 predstavlja oceno za stanje pregrade, E2 za stanje vplivnega območja, E3 za stanje prelivnih objektov, E4 za stanje talnega izpusta, E5 za stanje struge dolvodno, E6 za stanje mehanske opreme ter E7 za stanje elektro opreme.

7.2 Ocenjevanje tveganj porušitve pregrade HE Završnica

7.2.1 Osnovni parametri pregrade

A1)višina pregrade:			
h>15	1	1	h= 18m
h>10	2		
h>5	3		

Tabela 39: Višina pregrade

A2)volumen zadrževanja:			
V> 1hm ³	1	3	V= 0,135hm ³
V> 0,5hm ³	2		
V<0,5hm ³	3		

Tabela 40: Volumen zadrževanja

A3)pretok v pregradnem profilu:			
Q>2000m ³ /s	1	1	Ni podatka
Q>1000m ³ /s	2		
Q<1000m ³ /s	3		

Tabela 41: Pretok v pregradnem profilu

- Ker podatek o pretoku v pregradnem profilu ne obstaja, to predstavlja veliko stopnjo tveganja zato je ocena najnižja.

A4)razmerje Q100 - Qsr:			
n>200	1	1	Nemogoče izračunati, saj ne obstaja podatek o Q100
n>100	2		
n<100	3		

Tabela 42: Razmerje Q100-Qsr

- Ker podatek o Q100 ne obstaja to predstavlja največjo stopnjo tveganja.

A5)razmerje Qporušitev - Q100:			
n>2	1	1	Ne obstaja noben od podatkov
n>1	2		
n<1	3		

Tabela 43: Razmerje Q100-Qsr

- Ker noben ob podatkov Qporušitve in Q100 ne obstaja, to predstavlja največjo stopnjo tveganja.

Skupaj točke - osnovni parametri		34	Skupaj točke: 40
----------------------------------	--	-----------	------------------

Tabela 44: Skupaj točke-parametri pregrad

Posamezne karakteristike, potrebne za izdelavo ocene so podane pod komentarjem, skupna ocena osnovnih parametrov pregrade pa je izračunana po formuli:

- $\sum A = 2^{(4-A1)} + 2^{(4-A2)} + 2^{(4-A3)} + 2^{(4-A4)} + 2^{(4-A5)}$ (Kryžanowski, 2012),

v kateri A1 predstavlja oceno pri višini pregrade, A2 pri volumnu zadrževanja, A3 pretok v pregradnem profilu, A4 razmerje med stoletno vodo ter srednjim pretokom, ter A5 razmerje med porušitvenim pretokom ter stoletno vodo.

7.2.2 Stanje projektne in obratovalne dokumentacije

B1) projektna in izvedbena dokumentacija:			
nepopolna	1	2	Dokumentacija za gradnjo je razpršena, dokumentacija o vzpostavitvi tehničnega opazovanja obstaja.
pomanjkljiva ali razpršena	2		
popolna	3		

Tabela 45: Projektna in izvedbena dokumentacija

- Poročilo o preiskavi pregradnega objekta HE Moste- Završnica, ZRMK, DN1467/71, oktober 1971.

B2) razpoložljivost obratovalne dokumentacije:			
nepopolna ali razpršena - ni dnevnikov obratovanja	1	3	Savske elektrarne Ljubljana imajo vso potrebno dokumentacijo.
popolna in /ali razpršena - obstaja dnevnik obratovanja	2		
popolna z vso potrebno dokumentacijo o objektu	3		

Tabela 46: Razpoložljivost obratovalne dokumentacije

- Knjiga obratovanja, kamor se vpisuje aktivnosti kot so čas zagona ali zaustavitve agregatov, odpiranje in zapiranje polj, opažanja, na primer izpad agregata, porast dotoka, delovanje zaščit in sporočila drugih oseb, ribičev, nadrejenih oseb ali vzdrževalnega osebja;
- Dnevno obratovalno poročilo, v katerega se vpisujejo urne vrednosti gladin, dotoka v akumulacijo, pretoke skozi turbine in prelivne organe, moči agregatov, proizvedena energija;
- Tretji dokument pa so računalniški zapisi obratovalnih stanj, ki se tvorijo iz signalov obratovalnih stanj posameznih naprav in meritev, shranjenih v bazi podatkov.

B3) obratovalni pravilnik:			
ne obstaja ali so podatki nepopolni	1	2	Savske elektrarne Ljubljana imajo vs o potrebno dokumentacijo.
obstaja, vendar ni ažuriran in potrjen	2		
potrjen in ažuriran	3		

Tabela 47: Obratovalni pravilnik

- Pravila vodnega režima za HE Moste in HE Završnica, v katerem so navedene omejitve hitrosti spreminjanja gladine akumulacijskega jezera in hitrosti naraščanja oziroma upadanja pretoka pod hidroelektrarno;
- Pravilnik o izvajanju nalog obratovanja, Savske elektrarne Ljubljana.

B4) projekt porušitve:			
ne obstaja	1	1	Ne obstaja
obstaja, vendar z nepopolnimi ali neažuriranimi podatki	2		
popoln in ažuriran projekt	3		

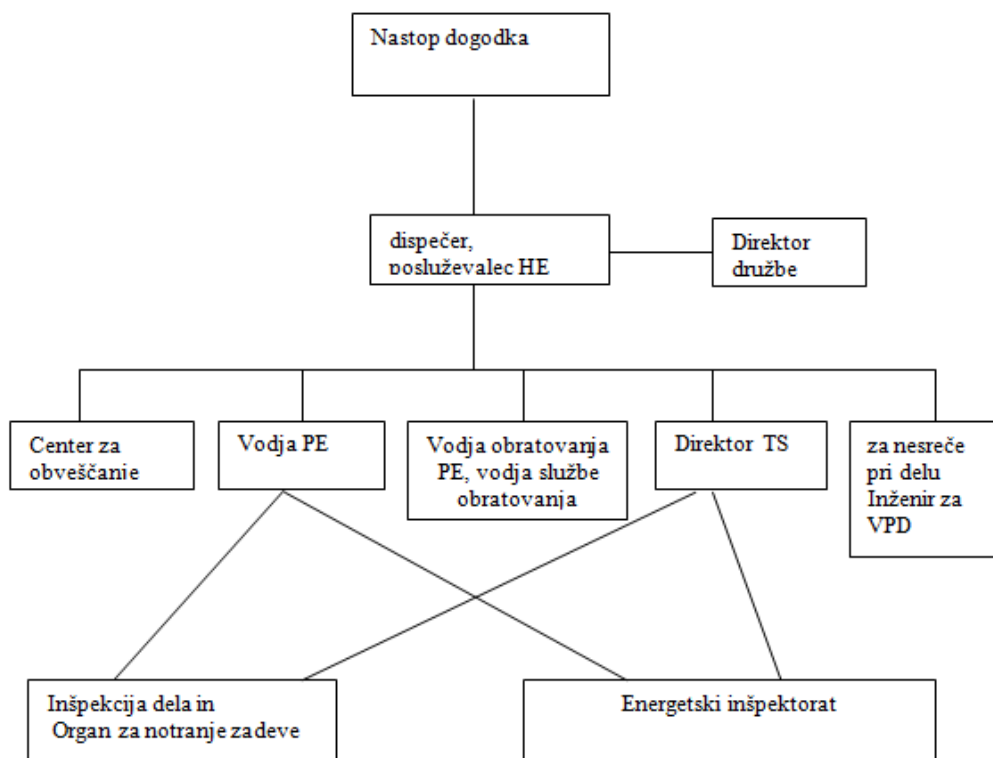
Tabela 48: Projekt porušitve

- Projekt porušitve za pregrado Završnica ne obstaja, zato predstavlja veliko stopnjo tveganja.

B5) akcijski programi obveščanja in alarmiranja:			
program je nepopoln	1	1	Obveščanje je vzpostavljeno, alarmiranje pa ni.
program obstaja, vendar ni ažuriran	2		
ažuriran in potrjen program	3		

Tabela 49: Akcijski program obveščanja in alarmiranja

- Na sami pregradi Završnica alarmiranje ni vzpostavljeno;
- Sistem obveščanja vzpostavljen s strani SEL, v primeru pojava izrednih razmer;
- Načrt zaščite in reševanja za pregrado Završnica ne obstaja.



Slika 15: Potek obveščanja v primeru nastopa izredni dogodkov ali večjih okvar (SEL, 2015)

Skupaj točke - dokumentacija:	26	Skupaj točke: 40
-------------------------------	----	------------------

Tabela 50: Skupaj točke-dokumentacija

Pod preglednicami so napisani dokumenti, ki urejajo posamezno področje. Skupna ocena je izračunana po formuli:

$$\bullet \sum B = 2^{(4 \cdot B1)} + 2^{(4 \cdot B2)} + 2^{(4 \cdot B3)} + 2^{(4 \cdot B4)} + 2^{(4 \cdot B5)} \quad (\text{Kryžanowski, 2012}),$$

kjer B1 predstavlja oceno za projektno in izvedbeno dokumentacijo, B2 za razpoložljivost obratovalne dokumentacije, B3 za obratovalni pravilnik, B4 za projekt porušitve ter B5 za oceno akcijskega programa obveščanja in alarmiranja.

7.2.3 Obratovanje

C1)akumulacija:			
akumulacija ne služi namenu - obratovanje je ovirano	1	2	
akumulacija delno služi namenu - obratovanje je delno ovirano	2		
akumulacija polno služi namenu	3		

Tabela 51: Akumulacija

- Akumulacija delno služi svojemu namenu, deloma je obratovanje ovirano zaradi drstnega potoka nad akumulacijo.

C2)monitoring:			
monitoring ni predpisan s projektom ali obratoval. prav.	1	3	Monitoring je predpisan z poročilom o preiskavi.
monitoring je predpisan - (pomanjkljivo ali zastarelo)	2		
monitoring je ustrezno predpisan	3		

Tabela 52: Monitoring

- Poročilo o preiskavi pregradnega objekta HE Moste- Završnica, ZRMK, DN1467/71, oktober 1971.

C3)monitoring (pregrada in akumulacija) - geotehnika:			
se ne izvaja oz neredno ali je pomanjkljiv	1	3	Meritve se izvajajo enkrat letno za pregrado in akumulacijo, podatki meritev se zbirajo v letnih poročilih
delno se izvaja skladno po projektu	2		
izvaja se ustrezno	3		

Tabela 53: Monitoring-geotehnika

- Poročilo o preiskavi pregradnega objekta HE Moste- Završnica, ZRMK, DN1467/71, oktober 1971;
- Izvaja se geodetske meritve premikov vertikalnih komponent, stanje brežin akumulacije in podslapja pa z inženirsko-geološkimi pregledi.

C4)monitoring - hidrologija:			
se ne izvaja ali je pomanjkljiv	1	2	Se delno izvaja.
se izvaja delno (na pregradi)	2		
se izvaja v celoti s spremljanjem količin	3		

Tabela 54: Monitoring-hidrologija

- Poročilo o preiskavi pregradnega objekta HE Moste- Završnica, ZRMK, DN1467/71, oktober 1971;
- S pomočjo opazovalnih vrtin se meri spremembe piezometričnih nivojev v podtalnici, poleg tega pa je v akumulaciji vzpostavljen avtomatski sistem za merjenje piezometričnih nivojev ter temperature vode;
- Ocena je nižja, ker se ne izvaja meritev glede dotoka v jezero, količine dežja.

C5) monitoring stanja objektov:			
se ne izvaja	1	3	Se izvaja, ugotovitve so zbrane v letnih poročilih za HE Završnica
se izvaja delno s strani upravljalca	2		
se izvaja po programu	3		

Tabela 55: Monitoring stanja objektov

- Poročilo o preiskavi pregradnega objekta HE Moste- Završnica, ZRMK, DN1467/71, oktober 1971;
- Izvaja se vizualni pregled stanja objekta, na podlagi tega se naredi kataster razpok in poškodb, poleg tega se izvaja še pregled kvalitete betona.

C6) analize in pokalkulacije rezultatov:			
se ne izvajajo	1	2	Analize se izvajajo le s komentarjem ter strokovnimi mnenji
se izvajajo delno zgolj s komentarjem rezultatov	2		
se izvajajo v celoti s stalnim noveliranjem programov	3		

Tabela 56: Analize in pokalkulacije rezultatov

- Rezultate in ugotovitve meritev ter pregledov se zbira v letnih poročilih za HE Završnica, pokalkulacij se ne izvaja se pa analizira podatke s komentiranjem rezultatov.

C7) alarmiranje prebivalstva:			
sistem ni vzpostavljen	1	1	Alarmiranje ni vzpostavljeno, obveščanje je.
sistem je delno vzpostavljen (obveščanje ali alarmiranje)	2		
sistem je v celoti vzpostavljen in funkcionalen	3		

Tabela 57: Alarmiranje prebivalstva

- Obveščanje je vzpostavljeno s Navodili o poteku obveščanja ob okvarah in izrednih razmerah v Savskih elektrarnah Ljubljana.
- Ocena je tako nizka zaradi tega, ker ne vemo obsega posledic porušitve pregrade.

Skupaj točke - obratovanje:		26	Skupaj točke: 56
------------------------------------	--	-----------	-------------------------

Tabela 58: Skupaj točke-obratovanje

Pod preglednicami so navedeni zakoni oziroma dokumenti, na podlagi katerih sem lahko izdelal oceno. Skupna ocena je izračunana po formuli:

- $\sum C = 2^{(4 \cdot C1)} + 2^{(4 \cdot C2)} + 2^{(4 \cdot C3)} + 2^{(4 \cdot C4)} + 2^{(4 \cdot C5)} + 2^{(4 \cdot C6)} + 2^{(4 \cdot C7)}$ (Kryžanowski, 2012),

kjer C1 predstavlja oceno akumulacije, C2 monitoringa, C3 geotehničnega monitoringa, C4 monitoringa hidrologije, C5 monitoringa stanja objektov, C6 analize in pokalkulacij ter C7 oceno alarmiranja prebivalstva.

7.2.4 Tveganje

D1)tveganje dolvodno:			
veliko žrtev	1	1	Ne obstaja noben dokument, kjer bi bila izdelana ocena tveganja
malo žrtev - možna evakuacija	2		
nič žrtev	3		

Tabela 59: Tveganje dolvodno

D2)tveganje za infrastrukturo:			
prekinitev infrastrukturnih povezav	1	1	Ne obstaja noben dokument, kjer bi bila izdelana ocena tveganja
delno prelitje infrastrukture	2		
manjše ali nič škode	3		

Tabela 60: Tveganje za infrastrukturo

D3)tveganje za območja poselitev in industrije:			
porušitev objektov	1	1	Ne obstaja noben dokument, kjer bi bila izdelana ocena tveganja
preplavitev - možna sanacija	2		
občasno poplavljanje	3		

Tabela 61: Tveganje za območje poselitve in industrije

- Za pregrado Završnica, projekt porušitve ni izdelan, zato ni nikjer točno opredeljeno, kakšno je tveganje za ljudi, infrastrukturo ter ostalo dolvodno;
- Na podlagi tega, da ni znano kakšne bi bile žrtve in kakšna bi bila škoda sem dal visoko oceno tveganja.

D4)vzdrževanje pregrad:			
neredno vzdrževanje	1	2	Izvaja se letno vzdrževanje
občasno (letno) vzdrževanje	2		
redno (mesečno) vzdrževanje	3		

Tabela 62: Vzdrževanje pregrad

- Izvaja se letno vzdrževanje za odpravo večjih težav, na težave pa se opozori v letnih poročilih o tehničnem opazovanju

D5)sistem nadzora:			
pregrada ni nadzorovana	1	2	Pregrada je delno nadzorovana
pregrada je nadzorovana z lokalnim sistemom	2		
pregrada je daljinsko nadzorovana	3		

Tabela 63: Sistem nadzora

- Na objektu so nameščene kamere, preko katerih je mogoč nadzor, poleg tega vsake toliko časa uslužbenci opravljajo opazovanje pregrade.

D6) projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi:			
objekti niso ustrezno zasnovani ali so poddimenzionirani	1	2	Pregrada ima talni izpust za izpust vode, v primeru povečanih voda.
objekti pogojno zagotavljajo obratovalno varnost	2		
zasnova objektov je skladna s pravili stroke	3		

Tabela 64: Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi

- Talni izpust je bil leta 1996 saniran v sklopu sanacije pregradnega objekta, vendar oceno zmanjšuje dejstvo da je potok Završnica hudournik, kar predstavlja večje tveganje ob nastopu visokih voda.



Slika 16: Talni izpust pregrade Završnica

D7) lastništvo in upravljanje objektov:			
ni jasnega lastništva, ne upravljalca	1	3	Upravljalec in lastnik je SEL
upravljanje objektov je deloma urejeno	2		
upravljanje objektov je urejeno	3		

Tabela 65: Lastništvo in upravljanje objektov

D8) dostopnost objekta:			
pregrada in objekti niso zavarovani	1	2	Objekt je dostopen za vsakogar.
dostop do pregrade je možen, oprema je zavarovana	2		
dostop do pregrade in objektov je omejen in nadzorovan	3		

Tabela 66: Dostopnost objekta

- Objekt je dostopen za vsakogar, na akumulacijskem jezeru je omogočena dodatna raba jezera, zraven jezera je tudi parkirišče. Sama oprema pregrade je zavarovana.

Skupaj točke - tveganja:		42	Skupaj točke: 56
---------------------------------	--	-----------	-------------------------

Tabela 67: Skupaj točke-tveganje

Pod preglednicami so navedeni zakoni oziroma dokumenti ter opažanja, na podlagi katerih sem lahko izdelal oceno. Skupna ocena je izračunana po formuli:

- $\sum D = 2^{(4 \cdot D1)} + 2^{(4 \cdot D2)} + 2^{(4 \cdot D3)} + 2^{(4 \cdot D4)} + 2^{(4 \cdot D5)} + 2^{(4 \cdot D6)} + 2^{(4 \cdot D7)} + 2^{(4 \cdot D8)}$ (Kryžanowski, 2012),

kjer D1 podaja oceno, ki jo predstavlja tveganje dolvodno, D2 tveganje za infrastrukturo, D3 tveganje za območje poselitve, D4 vzdrževanje pregrad, D5 sistem nadzora, D6 projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi, D7 lastništva in upravljanja objektov ter D8 dostopnost objektov.

7.2.5 Stanje opreme in objektov

E1) stanje pregrad:			
na pregradi so jasno vidni degradacijski procesi večjega d	1	2	Na pregradi je večje število razpok, mestoma se lušči krovni beton.
mestoma se pojavljajo degradacijski procesi	2		
pregrada je enaka projektne stanju	3		

Tabela 68: Stanje pregrad

- Stanje pregrade je opazovano z letnimi vizualnimi pregledi, ugotovitve so zapisane v letnih poročilih za HE Završnica;
- Med letoma 1980-1995 so se opazovali večji degradacijski procesi na pregradnem objektu, leta 1996 pa je bila pregrada temeljito sanirana od takrat naprej pa se večji degradacijski procesi ne pojavljajo več.

E2) stanje vplivnega območja pregrade:			
stalna prisotnost degradacijskih procesov	1	3	Obrežje akumulacije in podslapja je globalno stabilno.
občasna prisotnost degradacijskih procesov	2		
ni značilnih vplivov	3		

Tabela 69: Stanje vplivnega območja pregrade

- V sklopu tehničnega opazovanja se izvaja inženirsko-geološki pregled, kjer je ugotovljeno da je obrežje stabilno. Pojavljajo se le območja lokalnih erozijskih procesov.

E3) stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem:			
preliv ni v funkciji - sanacija je nujna	1	2	Preliv je nadvišan z lesenim provizorijem
preliv je v funkciji - potreben sanacije	2		
preliv je polno funkcionalen	3		

Tabela 70: Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem

- Stanje prelivnih objektov je dobro, saj se jih je v letu 1996 obnovilo, edini problem predstavlja leseno nadvišanje, za katerega je predvidena sanacija.

E4) stanje talnega izpusta, vključno s podslapjem:			
izpust ni v funkciji - sanacija je nujna	1	3	Izpust je polno funkcionalen.
izpust je v funkciji - potreben sanacije	2		
izpust je polno funkcionalen	3		

Tabela 71: Stanje talnega izpusta, vključno s podslapjem



Slika 17: Stanje podslapja pregrade Završnica

E5) stanje struge dolvodno:			
priključek evakuacijskih objektov ni funkcionalen	1	3	Evakuacija voda dolvodno poteka nemoteno
izvedba je funkcionalna - potrebni sanacijski ukrepi	2		
evakuacija voda dolvodno poteka nemoteno	3		

Tabela 72: Stanje struge dolvodno

E6) stanje mehanske opreme:			
večina opreme ni v funkciji	1	3	Mehanska oprema je v sklopu HE Moste
oprema je delno v funkciji	2		
vsa oprema je funkcionalna	3		

Tabela 73: Stanje mehanske opreme

- Mehanska oprema je v strojnici HE Moste, ki izkorišča pregrado HE Završnice in njene cevi za zadrževanje ter dotok vode v turbine;
- Vsa mehanska oprema je funkcionalna, obnovljena je bila leta 1999.

E7) stanje elektro opreme:			
večina opreme ni v funkciji	1	3	Polno funkcionalna
oprema je delno v funkciji	2		
vsa oprema je funkcionalna	3		

Tabela 74: Stanje elektro opreme

- Elektro oprema je v strojnici HE Moste, obnovljena je bila leta 1999

Skupaj točke - stanje opreme:		18	Skupaj točke: 56
--------------------------------------	--	-----------	-------------------------

Tabela 75: Skupaj točke-stanje opreme

Pod preglednicami so navedeni zakoni oziroma dokumenti ter opažanja, na podlagi katerih sem lahko izdelal oceno. Skupna ocena je izračunana po formuli:

- $\sum E = 2^{(4 \cdot E1)} + 2^{(4 \cdot E2)} + 2^{(4 \cdot E3)} + 2^{(4 \cdot E4)} + 2^{(4 \cdot E5)} + 2^{(4 \cdot E6)} + 2^{(4 \cdot E7)}$ (Kryžanowski, 2012),

kjer E1 predstavlja oceno za stanje pregrade, E2 za stanje vplivnega območja, E3 za stanje prelivnih objektov, E4 za stanje talnega izpusta, E5 za stanje struge dolvodno, E6 za stanje mehanske opreme ter E7 za stanje elektro opreme.

8 KONČNA OCENA ZA PREGRADI HE MOSTE IN HE ZAVRŠNICA

8.1 Končna ocena za HE Moste

KRITERIJI OCENJEVANJA:	skupna ocena vrednotenja	TVEGANJE					
		MALO	MALO DO SREDNJE	SREDNJE	SREDNJE DO VELIKO	VELIKO	
A) Osnovni parametri pregrad:	24	10 - 13	14 - 18	19 - 24	25 - 31	32 - 40	srednje tveganje
B) Stanje projektne in obratovne dokumentacije:	12	10 - 13	14 - 18	19 - 24	25 - 31	32 - 40	malo do srednje
C) Obratovanje:	16	14 - 17	18 - 23	24 - 31	32 - 42	43 - 56	majhno tveganje
D) Tveganja:	44	16 - 20	21 - 26	27 - 36	37 - 49	50 - 64	srednje do veliko
E) Stanje objektov in opreme:	34	14 - 17	18 - 23	24 - 31	32 - 42	43 - 56	srednje do veliko
Skupna ocena:	130	64 - 79	80 - 105	105 - 140	141 - 191	192 - 256	srednje tveganje

Tabela 76: Skupna ocena tveganja HE Moste

Pregrada Moste, po delitvi uporabljeni v projektu VODPREG predstavlja srednje tveganje za okolico, vendar bi zaradi velikosti akumulacije in same pregrade pričakovali, da bo pregrada spadala v območje velikega tveganja. Iz tabele je razvidno, da največje tveganje predstavljajo osnovni parametri pregrade ter tveganje, ki izhaja iz obratovanja pregrade. To je razumljivo, saj je pregrada Moste z višino 60 metrov trenutno največja v Sloveniji, poleg tega pa je tudi akumulacija za pregrado precej velika. Ker je postavljena v gornjem toku reke Save so karakteristični pretoki sorazmerno majhni, čeprav predstavljajo nesorazmerno večje tveganje za prebivalce in infrastrukturo dolvodno, kot bi pričakovali po metodologiji. Stanje dokumentacije predstavlja majhno tveganje: stanje dokumentacije je relativno urejeno, za dokumentacijo pa skrbi upravljavec pregradnega objekta. Upravljavec tudi redno izvaja meritve ter ogled pregradnega objekta, ugotovitve pa zbira v letnih poročilih. Na podlagi teh poročil se pripravlja program vzdrževanja objektov in opreme, ki je podlaga za izvedbo del. Vzdrževanje se izvaja redno tako, zato tudi stanje objektov in opreme ne predstavlja velikega tveganja.

8.2 Končna ocena za HE Završnica

KRITERIJI OCENJEVANJA:	skupna ocena vrednotenja	TVEGANJE					
		MALO	MALO DO SREDNJE	SREDNJE	SREDNJE DO VELIKO	VELIKO	
A) Osnovni parametri pregrad:	34	10 - 13	14 - 18	19 - 24	25 - 31	32 - 40	veliko tveganje
B) Stanje projektne in obratovalne dokumentacije:	26	10 - 13	14 - 18	19 - 24	25 - 31	32 - 40	srednje do veliko
C) Obratovanje:	26	14 - 17	18 - 23	24 - 31	32 - 42	43 - 56	srednje tveganje
D) Tveganja:	42	16 - 20	21 - 26	27 - 36	37 - 49	50 - 64	srednje do veliko
E) Stanje objektov in opreme:	18	14 - 17	18 - 23	24 - 31	32 - 42	43 - 56	malo do srednje
Skupna ocena:	146	64 - 79	80 - 105	105 - 140	141 - 191	192 - 256	srednje do veliko

Tabela 77: Skupna ocena tveganja HE Završnica

Pregrada Završnica po delitvi VODPREG predstavlja večje tveganje za okolico kot pregrada Moste, vendar predvsem zaradi dejstva, da ni bil izveden projekt porušitve in zaradi pomanjkanja nekaterih podatkov (zaradi različnih razlogov). Poleg tega nekateri dokumenti ne obstajajo ali so zastareli. Za te parametre, smo pripisali najnižjo oceno, ker težko ocenimo, kakšno tveganje pomenijo za okolico.

Iz tabele vidimo, da osnovni parametri predstavljajo veliko tveganje, vendar lahko oceno s pridobitvijo manjkajočih podatkov izboljšamo. Stanje projektne in obratovalne dokumentacije predstavlja srednje tveganje, vendar bi se z izdelavo projekta porušitve in akcijskega programa obveščanja in alarmiranja ocena drastično zmanjšala. Parameter tveganja bi lahko zmanjšali s vzpostavitvijo daljinskega nadzora ter izdelavo projekta porušitve, kjer bi opredelili nevarnost za območja poselitev dolvodno. Parametra obratovanja bi se lahko izboljšalo z vzpostavitvijo alarmiranja in obveščanja ter vzpostavitvijo sistema za merjenje hidroloških količin. Stanje objektov in opreme je na meji med malim in srednjim tveganjem, zato je ocena glede na stanje in vlogo objekta zelo realna.

9 ZAKLJUČEK

Pregrade lahko uvrstimo med kritično infrastrukturo, saj predstavlja njihova umestitev v prostor velik poseg v okolje, po izgradnji pa še vedno predstavljajo grožnjo za javno infrastrukturo in poselitev dolvodno. Potrebno se je zavedati, da je za take objekte potrebno ustrezno poskrbeti za varnosti skozi celotno življenjsko dobo objekta. Zagotavljanje varnosti se prične že v fazi načrtovanja in umeščanja v prostor z izbiro pravih rešitev in sprejemanjem ustreznih odločitev, se nadaljuje s kvalitetno gradnjo, z izbiro ustreznih materialov in skrbnim nadzorom nad izvedenimi deli in se nadaljuje v času izrabe z ustreznim obratovanjem in vzdrževanjem objektov, za kar pa so v prvi vrsti zadolženi upravljavci teh objektov.

V okviru raziskovalnega projekta VODPREG so bile izdelane ocene samo za vodne pregrade, energetske objekti pa niso bili zajeti, ker je prevladalo mnenje, da so ti objekti redno vzdrževani in v boljšem kondicijskem stanju, kot vodnogospodarski objekti. V diplomski nalogi smo po privzeti metodologiji vrednotenja VODPREG izvedli analizo tveganja, ki ga pregradi Moste in Završnica predstavljata za prostor. Ker je bila metodologija VODPREG razvita za vodne pregrade, ki večinoma ležijo na stranskih vodotokih, mogoče ocena za pregradi HE Moste in HE Završnica ni popolnoma realna in ne da povsem objektivnih primerljivih rezultatov. Obe obravnavani pregradi sta zgrajeni v bližini poseljenih področji, prepredenih z javno infrastrukturo in zadržujeta veliko količino vode, zato predstavljata veliko tveganje za okolje ter prebivalce v vplivnem območju.

Upravljavci objektov so dolžni zagotavljati varno delovanje v skladu s pogoji, ki jih predpisujejo pravilniki (obratovalna dokumentacija) oziroma zakonodaja. Na HE Moste in HE Završnica se v skladu s temi pravilniki izvaja redni monitoring, opazovanja ter redna vzdrževanja na podlagi ugotovitev analiz meritev in opazovanj ter ugotovitev pridobljenih pri ogledih, poleg tega pa so dokumenti zbrani pri upravljavcu pregrad in so jim dostopni v vsakem trenutku.

Na podlagi analize, ki smo jo opravili v sklopu diplomske naloge lahko sklepamo, da stopnje tveganja, ki ga pregradi HE Moste in HE Završnica predstavljata ne moremo izničiti, lahko pa jo zmanjšamo z ustreznim obratovanjem (ki upošteva podana izhodišča in upošteva stanje objekta), z vzpostavitvijo sistema nadzora in spremljanja delovanja in kondicijskega stanja pregrade, z rednim vzdrževanjem objektov in opreme, ter z vzpostavitvijo sistema kontrole s čemer želimo zmanjšati možnost pojava človeških napak in s katerim zagotovimo varno delovanje objekta.

VIRI

Kryžanowski, A., Širca, A., Humar, N., Ravnikar Turk, M., Žvanut, P., Četina, M., Rajar, R., Detela, I., Polič, M. 2012. Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS – VODPREG. Razvojno raziskovalni projekt. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo. http://www.sos112.si/slo/tdocs/naloga_97.pdf (Pridobljeno 21. 8. 2015)

Kryžanowski A., Horvat A., Brilly M. 2008. Možnosti izkoriščanja energetskega potenciala v Sloveniji. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, Slovenija, 8. December 2008. Maribor, Vodnogospodarski biro: 244-253. <http://mvd20.com/LETO2008/R32.pdf> (Pridobljeno 25. 8. 2015)

Zavod za gradbeništvo Slovenije. 2014. Poročilo o tehničnem opazovanju na pregradnem objektu in bazenu HE Moste v letu 2013. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 24 str.

Zavod za gradbeništvo Slovenije. 2014. Poročilo o tehničnem opazovanju na pregradnem objektu in bazenu HE Završnica v letu 2013. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 17 str.

Mikro Medica Radenci. 2014. Poročilo o seizmičnem opazovanju za leto 2013: Pregrada: HE Moste. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 45 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 1999. Račun hidravličnih posledic morebitne porušitve pregrad HE Moste in HE Moste III. Ljubljana, FGG katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 17 str.

Rajar R., Verbovšek V., Kovačič I., Starca M. 1975. Dokumenti poplavnega vala HE Moste. Vodogradbeni laboratorij, Ljubljana: 10 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2015a. <http://www.sel.si/HE-moste> (Pridobljeno 5. 9. 2015)

Savske elektrarne Ljubljana. 2015b. <http://www.he-moste.sel.si/index.php?id=31> (Pridobljeno 10 .9. 2015)

Savske elektrarne Ljubljana. 2015c. <http://www.sel.si/HE-završnica> (Pridobljeno 5. 9. 215)

Jularđija N., Škofic F., Rodošek S., 2003: Elaborat sanacije vtoka v talni izpust pregrade Moste. Brežice. Čargo: 20 str.

Zadnik B., Rajar R., Brinšek R. 1996. Predlog navodila za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitve pregrad. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: 10 str.

Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov: Ur. list SFRJ št. 7/1996. Str. 128 – 129.

http://www.e-konstrukcije.si/user_files/vsebina/Zakonodaja/SFRJ_66_7_81.pdf (Pridobljeno 3. 9. 2015)

Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade. Ur. list RS, št. 92/1999.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV2172> (3.9.2015)

Brinšek R. 2006. Pobuda za harmonizacijo regulative na področju pregradnega inženirstva z obstoječo zakonodajo. Trzin: 3 str.

Galonja S. 2010. Pregled tehničnih predpisov s področja graditve pregrad. V: Andrej Sedej (ur.), Andrej Širca (ur.), Mojca Ravnikar Turk (ur.). 12. posvetovanje SLOCOLD: Varnost pregrad v Sloveniji, Krško, Slovenija, marec 2010: 7-11.

http://www.slocold.si/zbornik/Z_12.pdf (Pridobljeno 2. 9. 2015)

Navodila o poteku obveščanja ob okvarah in izrednih razmerah v Savskih elektrarnah Ljubljana. Savske elektrarne Ljubljana. 2015. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 6 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2009a. Načrt zaščite in reševanja pregrade HE Moste. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 12 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2009b. Ocena ogroženosti za objekt HE Moste. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 9 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2011. Postavitev elektronskih siren za alarmiranje HE Moste, HE Mavčiče, HE Medvode, HE Vrhovo. Ljubljana, ELEK Svetovanje: 72 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2010. Zahteve za lokalno in daljinsko vodenje jezovnih zapornic HE Moste, Savske elektrarne Ljubljana: 4 str.

Moste. 2015. <http://www.slocold.si/galerija/moste/moste.htm> (Pridobljeno 9. 8. 2015)

Završnica. 2015. <http://www.slocold.si/galerija/zavrsnica/zavrsnica.htm> (Pridobljeno 9. 8. 2015)

Ravnikar Turk M., Žvanut P., Širca A., Humar N. 2012. Varnost pregradnih objektov. V: I. kongres o vodah Slovenije 2012. http://ksh.fgg.uni-lj.si/kongresvoda/03_prispevki/01_vabljeniZnanstStrok/02_RavnikarTurk.pdf (Pridobljeno 19. 8. 2015)

Obnova HE Moste. Modro sožitje. 2015. <http://www.he-moste.sel.si/index.php?id=31> (Pridobljeno 9. 9. 2015)

Humar N., Kryžanowski A. 2014. Kako lahko z minimalnimi organizacijskimi ukrepi izboljšamo varnost vodnih pregrad v Sloveniji. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 25. Mišičev vodarski dan 2014, Maribor, Slovenija, 4. December 2014. Maribor, Vodnogospodarski biro: 172-179. <http://mvd20.com/LETO2014/R26.pdf> (Pridobljeno 20. 8. 2015)

Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade. Ur. list RS, št. 92/1999. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV2172> (Pridobljeno 2. 9. 2015)

Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov, Ur. list RS, št. 101/2005. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV6452> (Pridobljeno 2. 9. 2015)

Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami. Ur. list RS št. 51/2006 <https://www.uradni-list.si/1/content?id=73400> (Pridobljeno 2. 9. 2015)

Uredba o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja. Ur. list RS 3/2002. <https://www.uradni-list.si/1/content?id=107977> (Pridobljeno 2. 9. 2015)

Uredba o organizaciji in delovanju sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja. Ur. list RS, št. 105/2007. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4341> (Pridobljeno 1. 9. 2015)

Savske elektrarne Ljubljana. 2015. Navodila o poteku obveščanja ob okvarah in izrednih razmerah v Savskih elektrarnah Ljubljana. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 6 str.

Zadnik B., Rajar R., Brinšek R. 1996. Predlog navodila za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitve pregrad. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: 9 str.

Humar N. 2008. Skrb za varnost pregrad v Sloveniji in možnosti za zmanjšanje tveganja. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, Slovenija, 8. december 2008. Maribor, Vodnogospodarski biro: 269–278. <http://mvd20.com/LETO2008/R35.pdf> (Pridobljeno 2. 9. 2015)

Zadnik. B, Širca A., Turk M., 2012. Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov. Inženirska zbornica Slovenije: 48 str.

Humar N., Kryžanowski A. 2012. Zadrževalniki v Sloveniji. Ljubljana, I. kongres o vodah Slovenije 2012. http://ksh.fgg.uni-lj.si/kongresvoda/03_prispevki/02_strokovni/26_Humar_Kryzanowski.pdf (Pridobljeno 29. 8. 2015)

Kryžanowski A. 1999. Sanacija in doinstalacija HE Moste. <http://zavest.net/projekt-sanacije-in-doinstalacije-he-moste-informacija/> (Pridobljeno 9. 9. 2015)

Wikipedija. 2015. https://sl.wikipedia.org/wiki/Trajnostni_razvoj (Pridobljeno 20. 8. 2015)