

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:

Tallarini, M., 2015. Analiza varnosti sistema pregrad Mavčiče-Medvode. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentorica Humar, N.): 50 str.

Datum arhiviranja: 01-10-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Tallarini, M., 2015. Analiza varnosti sistema pregrad Mavčiče-Medvode. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Humar, N.): 50 pp.

Archiving Date: 01-10-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO

Kandidat:

MIHA TALLARINI

**ANALIZA VARNOSTI SISTEMA PREGRAD MAVČIČE-
MEDVODE**

Diplomska naloga št.: 49/B-VOI

**SAFETY ANALYSIS OF THE MAVČIČE - MEDVODE
DAM CASCADE**

Graduation thesis No.: 49/B-VOI

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 24. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Miha Tallarini izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Analiza varnosti sistema pregrad Mavčiče-Medvode«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2015

Miha Tallarini

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.82(497.4)(043.2)
Avtor:	Miha Tallarini
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Somentor:	Nina Humar univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Analiza varnosti sistema pregrad Mavčiče-Medvode
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	50 str., 8 pregl., 15 sl., 5 en.
Ključne besede:	Pregrada, HE Mavčiče, HE Medvode, ocena tveganja, analiza varnosti, tehnično opazovanje, VODPREG, klasifikacija pregrad

Izvleček

Vodne pregrade se od nekdanj gradijo zaradi koristi, vendar pa hkrati predstavljajo grožnjo oziroma določeno tveganje za okolje in ljudi v njihovem vplivnem območju. Zato sta zagotavljanje varnosti pregrad in poznavanje tveganja, ki ga pregrada predstavlja v prostoru, eni izmed ključnih nalog v pregradnem inženirstvu. V okviru diplomske naloge je analizirana varnost sistema pregrad Mavčiče-Medvode. Predstavljene so osnovne značilnosti obravnavnih pregrad ter dokumentacija in sistemi, s katerimi se zagotavlja in spremlja obratovalna varnost objektov. Na podlagi dokumentacije in terenskega ogleda je s pomočjo metodologije projekta VODPREG opredeljena stopnja tveganja. Ocena tveganja dejansko ni narejena strogo po definiciji, temveč temelji na vrednotenju bistvenih parametrov, s katerimi najbolj povzamemo stopnjo nevarnosti, ki jo obravnavani sistem pregrad predstavlja za okolico.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	627.82(497.4)(043.2)
Author:	Miha Tallarini
Supervisor:	Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, PhD.
Cosupervisor:	Nina Humar univ. dipl. inž. grad.
Title:	Safety Analysis of the Mavčiče-Medvode dam cascade
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	50 p., 8 tab., 15 fig., 5 eq.
Keywords:	Dam, Hydroelectric power plant Mavčiče, Hydroelectric power plant Medvode, risk evaluation, safety system, technical observation, VODPREG, water barriers classification

Abstract

Dams have always been built because of the benefits they offer, however, they are a threat to the environment and the people living nearby. To this end, ensuring the safety of dams and being aware of the risks they pose to the environment are two of the main tasks of dam engineering. As part of the thesis, we analysed the safety of the Mavčiče-Medvode dam cascade. The thesis presents the main characteristics of the dams and deals with the documentation and systems ensuring and monitoring their operational safety. Based on the documentation and field inspection, the level of risk was determined using the methodology of the VODPREG project. The risk assessment was not performed in strict accordance with the definition, but rather by assessing the key parameters that accurately represent the level of risk the dam poses to its vicinity.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu ter somentorici Nini Humar, univ. dipl. inž. grad. za vso pomoč in strokovne nasvete pri izdelavi diplomske.

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

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	VARNOST PREGRAD IN VZROKI ZA NJIHOVE POŠKODBE.....	2
2.1	Splošno o varnosti pregrad	2
2.2	Vzroki za poškodbe in porušitve pregrad	3
3	KLASIFIKACIJA PREGRAD	5
4	ZAKONODAJA NA PODROČJU VARNOSTI PREGRAD V SLOVENIJI	7
4.1	Splošna regulativa	7
4.2	Regulativa, ki ureja varnost pregradnega inženirstva v fazi projektiranja, gradnje in vzdrževanja – preventive.....	8
4.3	Regulativa, s katero se zagotavlja varnost v primeru porušitve pregrad – predpisi kurativnega značaja	9
5	OPIS OBRAVNAVANIH PREGRAD.....	11
5.1	Hidroelektrarna Mavčiče	11
5.2	Hidroelektrarna Medvode.....	13
6	PREGLED DOKUMENTACIJE IN SISTEMOV ZAGOTAVLJANJA IN SPREMLJANJA OBRATOVALNE VARNOSTI.....	17
6.1	Tehnično opazovanje.....	17
6.1.1	HE Mavčiče	17
6.1.2	HE Medvode.....	18
6.2	Seizmološko opazovanje	18
6.2.1	HE Mavčiče	19
6.2.2	HE Medvode.....	20
6.3	Projekt porušitve – izračun poplavnega vala	20
6.3.1	HE Mavčiče	21
6.3.2	HE Medvode.....	22
6.4	Ocene ogroženosti.....	24
6.4.1	HE Mavčiče	24
6.4.2	HE Medvode.....	25
6.5	Načrt zaščite in reševanja ter alarmiranje	25

6.6	Obratovanje akumulacijskih jezer in celotnega sistema	30
6.6.1	HE Mavčiče	31
6.6.2	HE Medvode.....	31
6.6.3	Obratovanje verige HE Mavčiče in HE Medvode	31
7	OCENA TVEGANJA SISISTEMA PREGRAD MAVČIČE-MEDVODE	32
7.1	Metodologija ocenjevanja	32
7.2	Ocenjevanje stopnje tveganja pregrad HE Mavčiče in HE Medvode	33
7.3	Analiza rezultatov ocene tveganja	41
7.3.1	Osnovni parametri pregrad	41
7.3.2	Stanje razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije	42
7.3.3	Obratovanje – parametri vezani na obratovalno varnost	42
7.3.4	Parametri tveganja kot posledica obratovanja.....	43
7.3.5	Stanje objektov in opreme	44
7.3.6	Skupna ocena tveganja	44
8	SKLEP.....	46
	VIRI.....	47

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrščanje pregrad po Uredbi o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje.....	5
Preglednica 2: Razvrstitev pregrad po Pravilniku o tehničnem opazovanju visokih jezov.	6
Preglednica 3: Ocenjevanje tveganja na podlagi osnovnih parametrov pregrade.....	33
Preglednica 4: Ocenjevanje tveganja na podlagi stanja razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije	34
Preglednica 5: Ocenjevanje tveganja na podlagi obratovanja – parametrov vezanih na obratovalno varnost	35
Preglednica 6: Ocenjevanje tveganja na podlagi parametrov tveganja kot posledica obratovanja.....	37
Preglednica 7: Ocenjevanje tveganja na podlagi stanja objektov in opreme.....	39
Preglednica 8: Končna ocena tveganja na podlagi ocen posameznih razredov	40

KAZALO SLIK

Slika 1: Ortofoto posnetek HE Mavčiče (ARSO, 2015).....	11
Slika 2: Prerez strojnice HE Mavčiče (vir: SEL, 1994).....	12
Slika 3: Prerez pretočnega polja HE Mavčiče (vir: SEL, 1994).....	12
Slika 4: Hidroelektrarna Mavčiče (GEN Energija, 2015a).....	13
Slika 5: Ortofoto posnetek HE Medvode (ARSO, 2015).....	14
Slika 6: Prerez strojnice HE Medvode (vir: SEL, 1994).....	15
Slika 7: Prerez pretočnega polja HE Medvode (vir: SEL, 1994).....	15
Slika 8: Hidroelektrarna Medvode (GEN Energija, 2015b).....	16
Slika 9: Opazovalna mreža akceleroagrafov HE Mavčiče (Mikro Medica Radenci, 2014a)....	19
Slika 10: Opazovalna mreža akceleroagrafov HE Medvode (Mikro Medica Radenci, 2014b).	20
Slika 11: Del karte poplavnih področij, ki bi nastala pri porušitvi HE Mavčiče (Rajar in Zakrajšek, 1979).....	23
Slika 12: Shema obveščanja v SEL (SEL, 2009c; SEL, 2009d).....	28
Slika 13: Doseg sirene na HE Mavčiče (SEL, 2011).....	29
Slika 14: Doseg sirene na HE Medvode (SEL, 2011).....	29
Slika 15: Graf rezultatov ocen tveganja pregrad HE Mavčiče in HE Medvode.....	41

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO	Agencija republike Slovenije za okolje
FGG UL	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani
HE	Hidroelektrarna
ICOLD	International Commission on Large Dams
IZS	Inženirska zbornica Slovenije
ReCO	Regijski center za obveščanje
RS	Republika Slovenija
SEL	Savske elektrarne Ljubljana
SFRJ	Socialistična federativna republika Jugoslavija
SLOCOLD	Slovenski nacionalni komite za velike pregrade
ZAG	Zavod za gradbeništvo Slovenije

1 UVOD

V današnjem svetu je zadrževanje vode za namen namakanja, proizvodnje električne energije, industrijske rabe in zaščite pred njo zaradi poplavljanja ključnega pomena.

Na področju pregradnega inženirstva v Sloveniji se je v zadnjem desetletju pričel ciklus gradnje pregrad. Ker se pregrade vse bolj gradijo v bližini poseljenih območij, se moramo zavedati, da je potreba po čedalje bolj zahtevnih kriterijih glede varnosti obratovanja in izrabe vse večja (Humar in Kryžanowski, 2012).

Zaradi slabe ozaveščenosti družbe o sami varnosti pregrad in pomanjkanje informacij, ki so potrebne za organizacijo zaščite in reševanja v primeru porušitve pregrade, je Uprava RS za zaščito in reševanje v letu 2011 naročila obsežen pregled pregradnih objektov in zadrževalnikov (Humar in sod., 2013).

Sodelujoče organizacije (FGG UL, Hidrotehnik d.d., IBE d.d., ZAG) so v okviru razvojno raziskovalnega projekta *Zemeljske in betonske pregrade strateškega pomena v RS – VODPREG* obravnavali pregrade, ki niso namenjene pridobivanju električne energije, saj naj bi bile le-te redno vzdrževane in opazovane (G.P., 2013). Torej v kategorijo pregrad, ki niso bile del projekta, sodita tudi pregradi HE Mavčiče in HE Medvode.

Cilj diplomske naloge je izdelava analize varnosti pregrad v nizu Mavčiče-Medvode na reki Savi na osnovi pregleda obstoječe dokumentacije, terenskega ogleda objektov in opreme ter izdelave ocene tveganja na osnovi metodologije projekta VODPREG.

2 VARNOST PREGRAD IN VZROKI ZA NJIHOVE POŠKODBE

2.1 Splošno o varnosti pregrad

Učinkovito upravljanje z vodnimi viri zahteva pregrade, ki ustvarijo zadrževalni prostor, s katerim zagotovijo urejeno odvajanje vode, zaščito pred poplavami in zadosten gravitacijski padec vode za proizvodnjo električne energije.

Pregrada je definirana kot stalen ali začasen objekt, ki deli vodno telo z namenom akumuliranja vode in izravnave nihanj pretokov, dviga hidravlične višine, reguliranja vodotoka ali omejitve neke snovi od ostalega prostora (Humar in Kryžanowski, 2010).

Z izgradnjo pregrade sprejmemo tveganja, ki so pogosto neenakomerno porazdeljena, kar pomeni, da tisti, ki imajo koristi od pregrade, niso nujno tisti, ki so izpostavljeni k največjemu tveganju. Da se pregrade in zaježitvene dejavnosti štejejo za upravičene, morajo vse koristi v celoti odtehtati vsa tveganja, ki jih ustvarijo. Pregrade naj se gradijo in obratujejo le, če z njimi pridobimo koristi za družbo (ICOLD, 2011).

Temeljni cilj varnosti pregrad je varovanje ljudi, njihovega premoženja in okolja pred škodljivimi učinki obratovanja ali porušitve pregrade. Za doseganje tega cilja je pomembno, da so sprejeti vsi smiselno izvedljivi ukrepi, s katerimi preprečimo poškodbe pregrade oziroma zmanjšamo posledice poškodb, če do le-teh pride, in da obstaja visoka stopnja verjetnosti, da je možnost dogodka, ki bi povzročil resne posledice, izjemno majhna (ICOLD, 2011).

K sami varnosti pregrad je veliko doprinesla Mednarodna komisija za velike pregrade – ICOLD (ang. International Commission on Large Dams), ki je v preteklosti izdala veliko priporočil oziroma smernic na področju varnosti pregradnih objektov. Pod okriljem ICOLD je bilo v Sloveniji leta 1993 ustanovljeno društvo SLOCOLD (Slovenski nacionalni komite za velike pregrade), katerega primarna dejavnost je področje pregradnega inženirstva. S svojim delovanjem želi osveščati slovensko javnost o pomenu pregradnega inženirstva in o problematiki zagotavljanja varnosti pregradnih objektov zaradi neustrezne zakonodaje na tehničnem področju (Zadnik, 2012).

V današnjem času se zaradi okoljskih in socioloških vidikov že v najzgodnejših fazah načrtovanja in umeščanja pregrad v prostor soočamo s sprejemljivostjo njihove izvedbe. Upravičenost takšnih posegov v prostor še vedno najlažje izrazimo s tehničnimi in ekonomskimi kriteriji, vendar pa se danes vse bolj upošteva vloga deležnikov v prostoru, ki soodločajo o nameravanih posegih. Vse bolj se uveljavlja načelo, da naj se s takšnimi objekti

pridobi neko novo dodano vrednost in da je ob primarni rabi možen razvoj tudi drugih vodnih in obvodnih dejavnosti – turizem, rekreacija itd. (Humar in Kryžanowski, 2012).

Humar in Kryžanowski (2012) navajata, da je v tujini zagotavljanje varnosti pregrad veliko bolj razumljeno kot v Sloveniji. V tujini varnost pregrad povezujejo z zagotavljanjem varnosti prebivalstva in same pregrade v vseh razmerah in ne kot pri nas, kjer je varnost omejena zgolj na zagotavljanje varnega obratovanja in stabilnosti. Omenjata tudi, da bi bilo potrebno vzpostaviti celovit sistem, s katerim bi zagotavljali bolj učinkovito varnost pregrad. Sistem bi zajemal preverjanje in zagotavljanje kakovosti ter ustreznost v vseh fazah od načrtovanja, gradnje, obratovanja, monitoringa do opustitve pregrade, ki bi morala biti predvidena že v fazi samega planiranja.

Leta 2012 je bilo s strani IZS (Inženirske zbornice Slovenije) izdano delo *Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov* (v nadaljevanju Smernice), ki je izhodišče in osnova za izdelavo tehničnih predpisov na področju varnosti pregradnih objektov. Smernice se lahko uporabljajo kot delovni pripomoček, saj zajemajo celotno področje pregradnih objektov: raziskovalna dela, projektiranje, izgradnjo, obratovanje in tehnično opazovanje (Zadnik, 2012).

2.2 Vzroki za poškodbe in porušitve pregrad

Po statističnih podatkih Mednarodne komisije za velike pregrade – ICOLD (ICOLD, 1987) sta za poškodbe pregrad daleč najbolj prevladujoča dva vzroka: prelivanje pregrade in poškodbe temeljev. Ob tem lahko omenimo tudi dejstvo, da so poškodbe in porušitve betonskih pregrad predvsem posledica zdrsa temeljev ter zmanjšanja stabilnosti pregrade zaradi precejanja vode skozi pregrado in temeljna tla (notranja erozija, hidravlični lom in regresivna erozija).

Johnson in Illes sta leta 1976 ugotovila, da je v 114 primerih porušitev do porušitve pregrade prišlo (Širca in Četina, 2010):

- ob prvem polnjenju v 38 % primerov;
- zaradi prelitja v 38 % primerov;
- ob normalnem obratovanju v 24 % primerov.

Širca in Četina (2010) sta vzroke za poškodbe in porušitev pregrad razdelila v tri večje skupine:

- 1) konstrukcijske napake, med katere sodijo poškodbe zaradi hidravličnega zloma ali razpok pri nasutih pregradah, zdrs ali prevrnitve pri betonskih pregradah in seizmične obremenitve;
- 2) prelivanje, do katerega pride zaradi neustreznega obratovanja ali nezadostne pretočne sposobnosti prelivnih organov;
- 3) človeški vplivi (sabotaže oziroma teroristična dejanja).

Mehanizem nastanka poškodb je na splošno kompleksen proces. Običajno se začne z manjšimi poškodbami ali deformacijami, ki poslabšajo stanje pregrade. Pogosto se jih v začetku ne opazi, vendar lahko povzročijo nadaljnjo škodo ali celo porušitev. Zato samo opazovanje in analiza podatkov ter njihova interpretacija igrajo pomembno vlogo pri zagotavljanju varnosti pregrad (ICOLD, 1987).

3 KLASIFIKACIJA PREGRAD

Pregradne objekte zaradi potencialne nevarnosti, ki jo predstavljajo za okolico, po navadi delimo na velike pregrade in jezove. Po kriterijih mednarodnega komiteja za velike pregrade – ICOLD je velikost pregrade eden izmed ključnih kriterijev za njihovo klasifikacijo, saj je najlažje opredeljiv in vsaj posredno povzema tudi škodni potencial. Glede na višino se pregrade delijo na velike pregrade (pregrade večje od 15 metrov) in jezove (pregrade manjše od 15 metrov). Zaradi teženj številnih držav po svetu je ICOLD nekoliko zaostrel kriterije in med velike pregrade uvršča (Humar in Kryžanowski, 2012):

- pregrade višje od 15 metrov (merjeno od najnižje točke temeljenja do krone pregrade);
- pregrade med 5 in 15 metri višine z akumulacijskim prostorom najmanj 3 milijone kubičnih metrov.

V Sloveniji obstajata dve uradni klasifikaciji pregrad. Prva klasifikacija je na podlagi določil drugega odstavka 8. člena *Zakona o graditvi objektov (ZGO-1)* opredeljena s podrejenim predpisom in sicer z *Uredbo o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje* (Ur. list RS, št. 18/2013). V uredbi piše, da med zahtevne objekte spadajo vsi jezovi, vodne pregrade in drugi vodni objekti, ki po *Pravilniku o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade* (Ur. List RS, št. 92/1999) spadajo med velike pregrade (Preglednica 1).

Preglednica 1: Razvrščanje pregrad po Uredbi o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje.

Zahtevni objekti		Ostali objekti	
Velike pregrade			
Vsaka pregrada, ki je večja od 15 metrov.		Vse pregrade in zaježitveni objekti, ki ne izpolnjujejo pogojev za velike pregrade. Za njih veljajo milejši pogoji pri prostorskem umeščanju in obratovanju.	
Vsaka pregrada med 10 in 15 metrov višine.	+		Dolžina krone ni manjša od 500 metrov.
			Vsebina zbiralnika, ki ga ustvari pregrada, ni manjša od 10^6 kubičnih metrov.
			Maksimalna visoka voda, ki vpliva na pregrado, ni manjša od 2000 kubičnih metrov na sekundo.
			Težki pogoji temeljenja.
		Pregrada je neobičajna konstrukcija.	

Druga klasifikacija je definirana v podzakonskem aktu bivše skupne države (SFRJ) – *Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov* (Ur. list SFRJ, št. 7/1966), ki povzema staro ICOLD nomenklaturo. Pravilnik sicer uradno ni več veljaven dokument, vendar pa se ga v praksi še vedno smiselno upošteva (Preglednica 2).

Preglednica 2: Razvrstitev pregrad po Pravilniku o tehničnem opazovanju visokih jezov.

Velike pregrade			Ostale pregrade
Gradbena višina presega 15 metrov (višina od najnižje kote temeljev do najvišjega dela krone pregrade).			Vse ostale pregrade in zaježitveni objekti, ki ne ustrezajo kriterijem za velike pregrade.
Gradbena višina pregrade je med 10 in 15 metri.	+	Krona je daljša od 500 metrov.	
		Prostornina akumulirane vode presega 10^6 kubičnih metrov.	
		Maksimalni pretok vode čez evakuacijske strukture pregrade presega 2000 kubičnih metrov na sekundo.	

Omenjeni klasifikaciji sta si načeloma zelo podobni, vendar pa se nobena od njiju direktno ne poslužuje tveganja, ki ga pregrada predstavlja za okolje in poselitev dolvodno od nje, kot glavnega parametra. Omenjeni delitvi upoštevata predvsem tehnične karakteristike.

V svetu se vse bolj uveljavlja tudi delitev glede na tveganje, ki ga pregrada predstavlja v prostoru. S to delitvijo posredno zajamemo tudi vidik varnosti pregrad. Delitev glede na tveganje zajema (Humar in Kryžanowski, 2010):

- malo tveganje – življenja niso ogrožena, pričakovana je majhna gmotna škoda;
- srednje tveganje – življenja niso ogrožena, pričakovana je velika gmotna škoda;
- veliko tveganje – življenja so ogrožena, pričakovana je srednja do velika gmotna škoda.

Humar in Kryžanowski (2010) poudarjata, da v Sloveniji obstaja tudi nekaj pregrad, ki sicer ne spadajo med velike pregrade ali med zahtevnejše objekte, bi jih pa po kriteriju tveganja, ki ga predstavljajo za okolico (neposredna bližina poseljenih območij), morali razvrstiti med pregrade velikega tveganja.

4 ZAKONODAJA NA PODROČJU VARNOSTI PREGRAD V SLOVENIJI

Zagotavljanje varnosti pregrad skozi celoten življenjski cikel zaradi relativno dolge življenjske dobe predstavlja svojevrsten problem. Trenutno v Sloveniji nimamo regulative, ki bi v celoti pokrivala področje pregradnega inženirstva. Vsa problematika od načrtovanja, gradnje, obratovanja do zagotavljanja varnosti pregrad je vključena v zakonodajo in predpise, ki obravnava gradbene objekte na splošno. Posamezni deli regulative, ki se nanašajo na področje pregradnih objektov, so razpršeni, nepregledni in nepopolni. Strokovnjaki na tem področju že leta poskušajo doseči, da bi se zakonodaja uredila, saj bi s tem zagotavljali večjo varnost pregradnih objektov (Ravnikar Turk in sod., 2012).

4.1 Splošna regulativa

Splošna regulativa, ki pokriva problematiko pregradnega inženirstva, je razdeljena sledeče (Ravnikar Turk in sod., 2012):

Prostorska oziroma gradbena zakonodaja, ki se direktno nanaša na:

- Zakon o graditvi objektov (ZGO-1, Ur. list RS, št. 110/2002 in novejši)
- Zakon o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt, Ur. list RS, št. 33/2007 in novejši)
- Zakon o umeščanju prostorskih ureditev državnega pomena v prostor (ZUPUDPP, Ur. list RS, št. 80/2010 in novejši)
- Zakon o gradbenih proizvodih (ZGPro-1, Ur. list RS, št. 82/2013)
- Zakon o vodah (ZV-1, Ur. list RS, št. 67/2002 in novejši)

Zakonodaja, ki jo je potrebno upoštevati ob graditvi objektov:

- Zakon o varstvu okolja (ZVO-1, Ur. list RS, št. 39/2006 in novejši)
- Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1, Ur. list RS, št. 43/2011)
- Zakon o varstvu pred požarom (ZVPoz, Ur. list RS, št. 71/1993 in novejši)
- Zakon o standardizaciji (ZSta-1, Ur. list RS, št. 59/1999 in novejši)
- Zakon o akreditaciji (ZAkr, Ur. list RS, št. 59/1999)
- Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1, Ur. list RS, št. 16/2008)
- Zakon o ohranjanju narave (ZON, Ur. list RS, št. 56/1999 in novejši)
- Zakon o rudarstvu (ZRud-1, Ur. list RS, št. 14/2014)

4.2 Regulativa, ki ureja varnost pregradnega inženirstva v fazi projektiranja, gradnje in vzdrževanja – preventive

Pri projektiranju in gradnji gradbenih konstrukcij v pregradnem inženirstvu je praktično edini slovenski predpis, ki se ga lahko dovolj celovito uporablja, *Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov* (Ur. list RS, št. 101/2005). V njem so vključeni tudi evropski standardi (Evrokodi), ki vsebujejo usklajena načela in pravila za projektiranje konstrukcij. S pomočjo Evrokodov se določa tiste tehnične značilnosti objekta, ki so po 9. členu *Zakona o graditvi objektov* (ZGO-1) potrebne, da glede na svoj namen izpolnjujejo vseh šest bistvenih zahtev (Zadnik, 2012):

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

Vzdrževanje pregradnih objektov je eden izmed ključnih elementov zagotavljanja varnega obratovanja. Za to je potrebna zakonodaja preventivnega značaja. V Sloveniji imamo trenutno dva specifična dokumenta, ki pa urejata zelo ozek segment vzdrževanja pregradnih objektov (Zadnik, 2012).

Prvi je podzakonski akt bivše države (SFRJ) – *Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov* (Ur. list SFRJ, št. 7/1966). Po tem pravilniku tehnično opazovanje obsega pregledovanje, merjenje in druge preizkuse elementov, s katerimi se da ugotoviti stanje celotne pregrade ali posameznih elementov ter stanje tal ob pregradi in v akumulacijskem prostoru. Stanje se določi na podlagi stabilnosti, vodne prepustnosti ter učinkovanja kemičnih in drugih vplivov na korozijo in mehansko odpornost materiala. V 5. členu pravilnika je opredeljeno, da je za tehnično opazovanje pregrade v dobi od začetka gradnje pa do njene uporabe odgovoren investitor, od začetka uporabe pa je tehnično opazovanje dolžnost investitorja oziroma gospodarske organizacije, ki ji je pregrada dana v uporabo – uporabnik. Uporabnik pregrade mora glede na 8. člen upravljati naslednje dejavnosti:

- opazovati pregrado po projektu tehničnega opazovanja;
- skrbeti, da so naprave in instrumenti za tehnično opazovanje ter signalne naprave nizvodno od pregrade v brezhibnem stanju;
- obdelovati in razlagati podatke, ki jih dobi s tehničnim opazovanjem;

- skrbeti, da se izvrši vse ukrepe in posege kot jih zahteva obdelava in razlaga podatkov opazovanja;
- brez odlašanja obvestiti pristojni upravni organ o vseh deformacijah in premikih, ki bi utegnili pomeniti, da nekaj ni v redu s konstrukcijo pregrade, njenimi temelji ali brežinami v akumulaciji;
- ob neposredni nevarnosti storiti vse nujne ukrepe, ki jih za zavarovanje predpisuje projekt tehničnega opazovanja, in vse ostalo kar je potrebno.

Uporabnik pregrade lahko tehnično opazovanje s pogodbo poveri strokovni organizaciji (zavodu, laboratoriju, inštitutu).

Drugi dokument je *Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade* (Ur. list RS, št. 92/1999 in 44/2003), ki predpisuje (Ravnikar Turk in sod., 2012):

- način opazovanja inducirane seizmičnosti, ki jo povzroča voda v zbiralniku, zajezena z veliko pregrado;
- način opazovanja dinamičnega obnašanja telesa in temelja velikih pregrad, zbiralnikov oziroma prostora za njimi ter prostega površja v njihovi neposredni bližini ob delovanju potresov;
- tehnične normative seizmoloških inštrumentov in normative za njihovo vzdrževanje;
- pogoje, ki jih mora izpolnjevati izvajalec opazovanja vpliva seizmičnosti na velike pregrade.

4.3 Regulativa, s katero se zagotavlja varnost v primeru porušitve pregrad – predpisi kurativnega značaja

V bivši skupni državi (SFRJ) je bil na tem področju leta 1975 izdan pravilnik – *Uputstvo o izradi dokumentacije za određivanje posledica usled iznenadnog rušenja ili prelivanja visokih brana* (Navodila za pripravo dokumentacije za določanje posledic zaradi nenadne porušitve ali prelivanja visokih pregrad). V njem je bilo določeno, da je potrebno za vsako visoko pregrado v državi izdelati izračune morebitne porušitve in izdelati vso predpisano dokumentacijo (Četina, 1995).

Po osamosvojitvi v Sloveniji nimamo veljavne zakonodaje, s katero bi bili v celoti predpisani vsi ključni aspekti zagotavljanja varnosti v primeru nepravilnosti obnašanja vodnih pregradnih objektov. Leta 1996 je dr. Rajar s pomočjo sodelavcev na podlagi četrtega odstavka 44. člena *Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami* (Ur. list RS, št. 64/1994) izdelal podzakonski akt – *Navodilo za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitev pregrad* (v nadaljevanju Navodila), ki pa ni bil nikoli sprejet. Navodila urejajo vsebino in način priprave

ocene hidravličnih posledic porušitve pregrad in ocen ogroženosti. V njih je določeno (Kryžanowski in sod., 2012):

- lastnik ali upravljavec pregrade je po zakonu dolžan poskrbeti za izdelavo izračunov in dokumentacije o hidravličnih posledicah možnih porušitev po kriterijih, ki so določeni v Navodilih;
- lastnik ali upravljavec pregrade mora izdelati načrt zaščite in reševanja pred posledicami možnih porušitev ter zagotoviti vsa potrebna sredstva za zagotavljanje varnosti – ureditev alarmnih naprav za obveščanje prebivalstva, izračune in dokumentacijo.

Kljub temu, da Navodila še do danes niso bila sprejeta, se od leta 1996 dalje uporabljajo za izdelavo izračunov morebitne porušitve pregrad, vendar pa se pri tem pojavlja vprašanje o upravičenosti uporabe in sprejetju poročil o izračunih (Kryžanowski in sod., 2012).

Na podlagi *Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami* (Ur. list RS, št. 64/1994) je do danes v zvezi z varnostjo ob možni porušitvi pregrad zakonsko sprejeto:

- *Navodilo o pripravi ocen ogroženosti* (Ur. list RS, št. 39/1995), ki pravi, da se ocena ogroženosti pripravi za vsako posamezno nevarnost naravne in druge nesreče. Ocene ogroženosti pripravijo pristojni državni in občinski organi ter gospodarske družbe, zavodi in druge organizacije.
- *Uredba o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja* (Ur. list RS, št. 24/2012). V njej je določeno, da načrte zaščite in reševanja izdelajo država, občine in gospodarske družbe, zavodi in druge organizacije. Načrti zaščite in reševanja temeljijo na ocenah ogroženosti zaradi naravne ali druge nesreče.
- *Uredba o organizaciji in delovanju sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja* (Ur. list RS, št. 105/2007). S to uredbo se ureja organizacija in delovanje opazovalnega omrežja centrov za obveščanje in alarmiranje. Gospodarske družbe, zavodi in druge organizacije morajo glede na dejavnost, ki jo upravljajo, sporočiti podatke, ki so pomembni za varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami na rekah, jezerih in vodnih zbiralnikih.

Vsi zgoraj navedeni podzakonski akti so splošnega pomena in niso izrecno določeni za področje pregradnega inženirstva, vendar se jih da smiselno uporabiti.

5 OPIS OBRAVNAVANIH PREGRAD

5.1 Hidroelektrarna Mavčiče

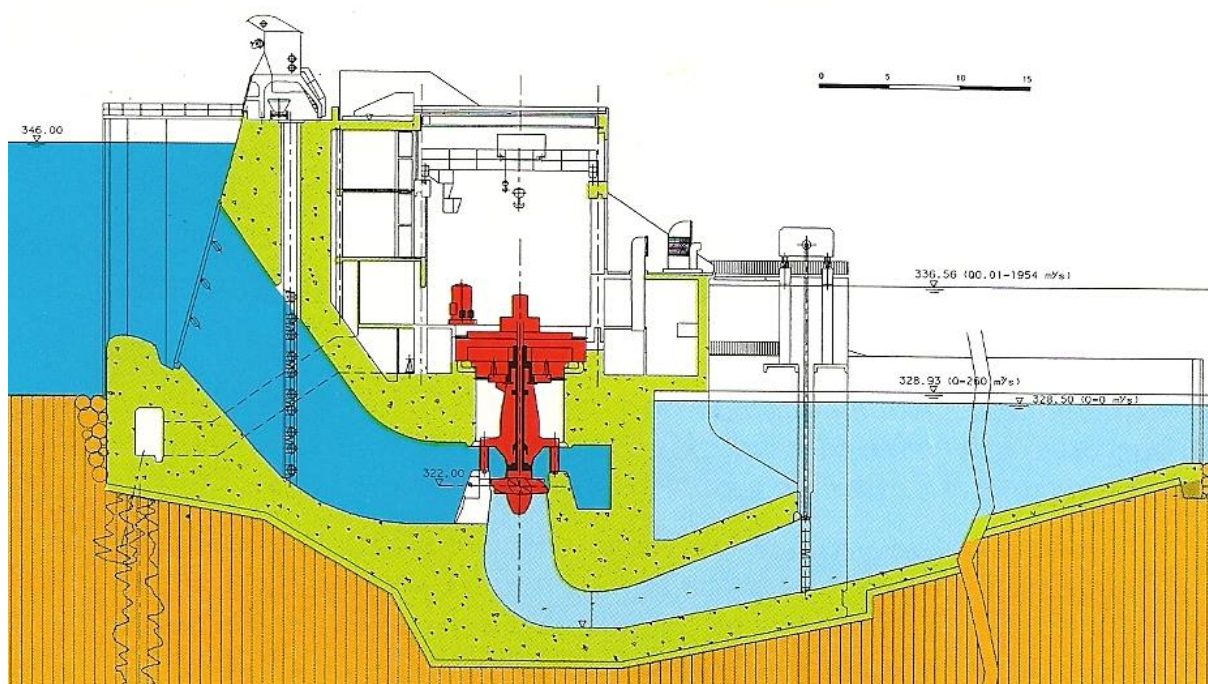
HE Mavčiče (slika 1 in 2) je bila zgrajena leta 1987 med Kranjem in Medvodami pod naseljem Mavčiče v dolini reke Save. Je pretočna elektrarna z jezovno zgradbo betonsko-težnostnega tipa konstrukcijske višine 40 metrov. Volumen akumulacijskega bazena znaša $9,03 \text{ hm}^3$ (začetno stanje: $10,7 \text{ hm}^3$), površina pa $1,0 \text{ km}^2$. Koristni volumen pri normalni praznitvi 1,7 metra znaša $1,68 \text{ hm}^3$. Akumulacijski bazen omogoča dnevno akumulacijo vode za pokrivanje konic potrošnje električne energije (SEL, 2015a).



Slika 1: Ortofoto posnetek HE Mavčiče (ARSO, 2015)

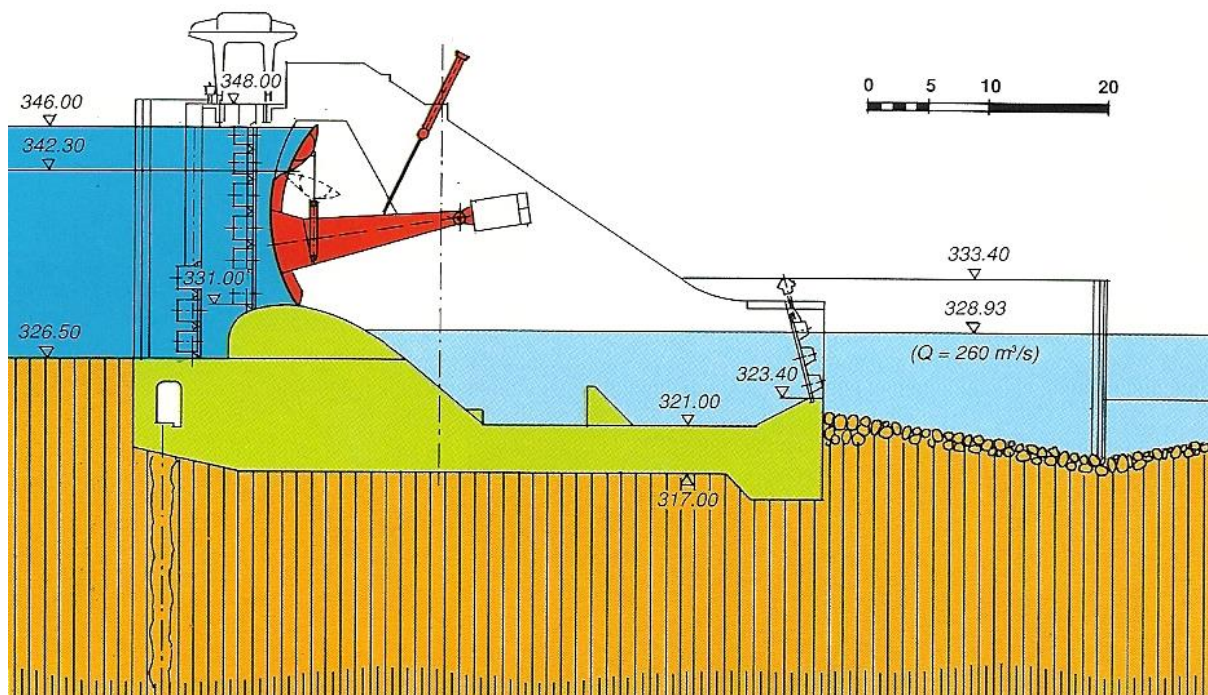
Globina nepropustne podlage (terciarni melj) je 120 metrov pod površjem, zato je bila pregrada v celoti temeljena na propustnih kamninah (konglomerati, prodi). Zaradi propustnih temeljnih tal je bilo potrebno vgraditi tesnilno zaveso do nepropustne podlage, ki sega ob bokih pregrade v dolžino 200 metrov (SEL, 2015a).

Hidroelektrarno sestavljajo strojnica, prelivni polji in težnostna zemeljska pregrada. V strojnici sta nameščeni dve kaplanovi turbini s skupnim inštaliranim pretokom $260 \text{ m}^3/\text{s}$. Bruto oziroma inštaliran padec znaša 17,5 metrov, kar je razlika med koto zgornje vode – zaježitve (346,00 m n.v.) ter koto spodnje vode (328,50 m n.v.), ki jo predstavlja koto gladine v Zbiljskem jezeru (SEL, 2015a).



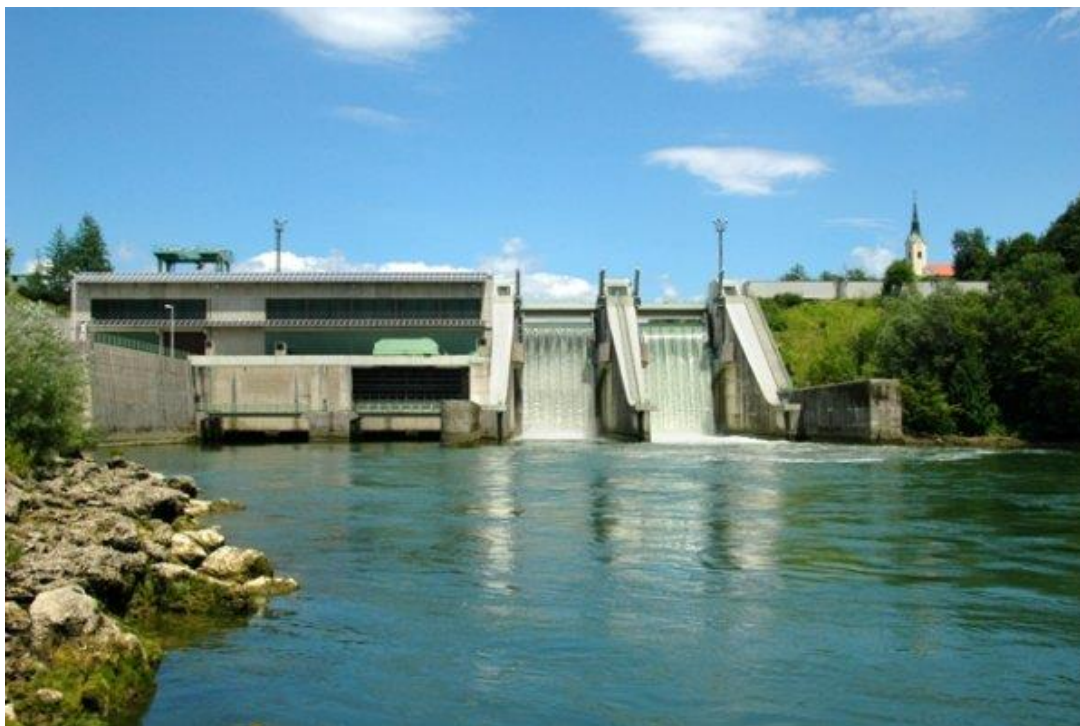
Slika 2: Prerez strojnice HE Mavčiče (vir: SEL, 1994)

Prelivni objekt sestavljata dve pretočni polji, ki sta opremljeni s segmentnima zapornicama z nasajeno zaklopko. Zaježitvena višina pregrade je 19,5 metrov. Prevodnost enega pretočnega polja je $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$, kar je malo več od stoletne vode ($1.583 \text{ m}^3/\text{s}$) (SEL, 2015a).



Slika 3: Prerez pretočnega polja HE Mavčiče (vir: SEL, 1994)

Hidroelektrarna je daljinsko vodena iz centra vodenja Savskih elektrarn Ljubljana, ki je v Medvodah (SEL, 2015a).



Slika 4: Hidroelektrarna Mavčiče (GEN Energija, 2015a)

Hidroelektrarna Mavčiče ima na desnem bregu tudi ribje drstišče, ki za svoje delovanje potrebuje stalen dotok vode, zato je na desnem bregu elektrarne vgrajena mala hidroelektrarna. V cevni sistem male hidroelektrarne je vgrajen turbinski agregat, ki je prilagojen zahtevam ribjega drstišča in sicer tako, da je ob turbini vgrajen tako imenovani bypass, ki se avtomatsko odpira ob izpadu ali zaprtju turbine in s tem zagotavlja stalen pretok vode (SEL, 2015a).

5.2 Hidroelektrarna Medvode

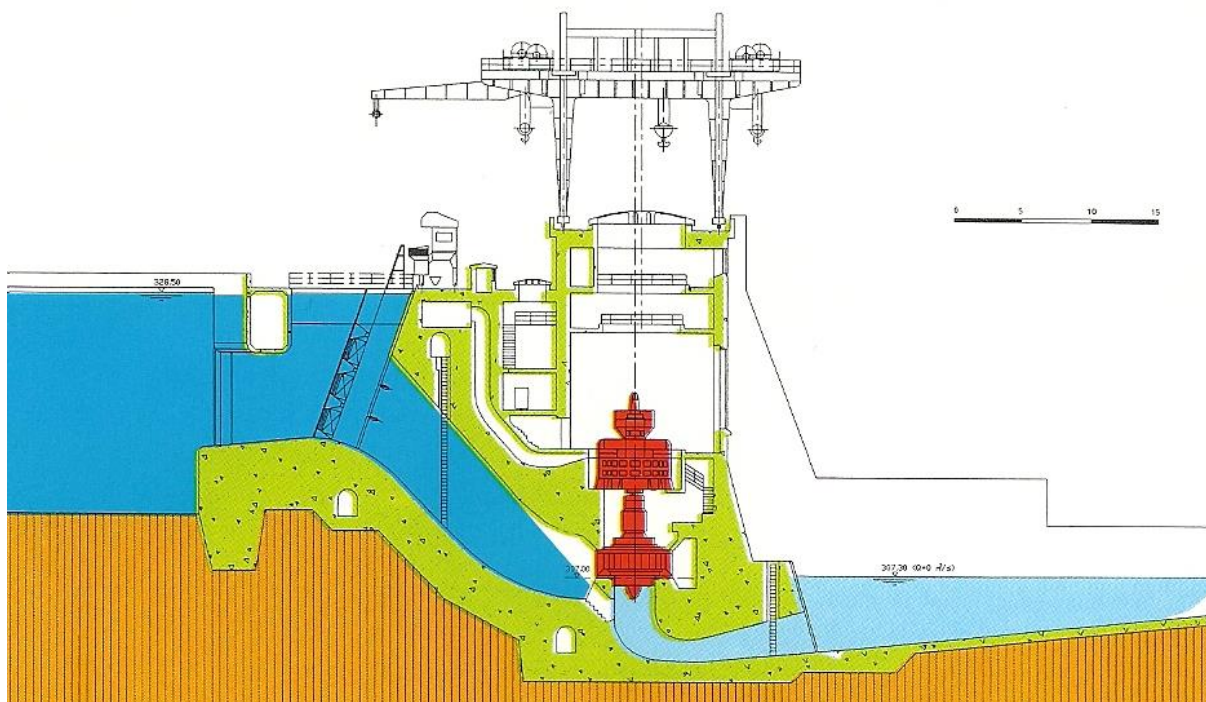
HE Medvode je bila zgrajena leta 1953 nad sotočjem reke Save in Sore pri naselju Medvode. Hidroelektrarna je masivna betonska pregrada konstrukcijske višine 35 metrov. Volumen akumulacijskega bazena znaša $3,05 \text{ hm}^3$ (začetno stanje: 7 hm^3), površina pa $0,72 \text{ km}^2$. Koristni volumen pri normalni praznitvi 1,7 metra znaša $1,12 \text{ hm}^3$. Elektrarna obratuje v dnevno-pretočnem režimu, ki pri vršnem obratovanju (pokrivanju konic potrošnje električne energije) potrebuje kot kompenzacijski bazen gorvodno ležečo HE Mavčiče (SEL, 2015b).



Slika 5: Ortofoto posnetek HE Medvode (ARSO, 2015)

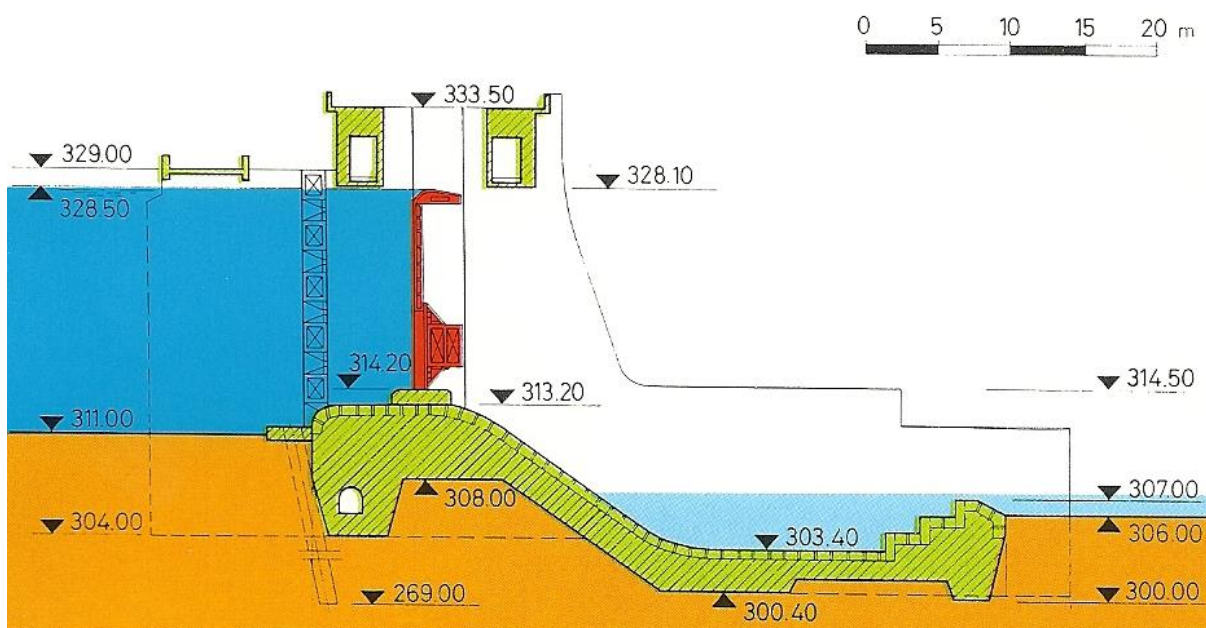
Na območju, kjer se nahaja pregrada, je reka Sava ustvarila brzice v dolomitu, ki je posledično v večjem delu razpokan in prepreden z votlinami. Zaradi tega je bilo potrebno izdelati stabilizacijo temeljnih tal z injekcijsko zaveso, s katero so zagotovili kvalitetne pogoje za temeljenje. Dolžina razvite zaveso znaša 190 metrov in sega do neprepustne podlage (skrilavci in peščenjaki) v globino 27 do 45 metrov (SEL, 2015b).

Jezovna zgradba pregrade je kombinirano stebrskega-obrežnega tipa. Hidroelektrarno sestavljajo strojnica in prelivni polji. Strojnico sestavljata dve kaplanovi turbini, ki sta nameščeni na obrežjih v turbinskih stebrih in imata skupni inštalirani pretok $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Bruto oziroma inštaliran padec znaša 21,2 metrov, kar je razlika med koto zgornje vode – zaježitve, ki je enaka koti spodnje vode HE Mavčiče (328,50 m n.v.) ter koto spodnje vode (307,30 m n.v.) (SEL, 2015b).



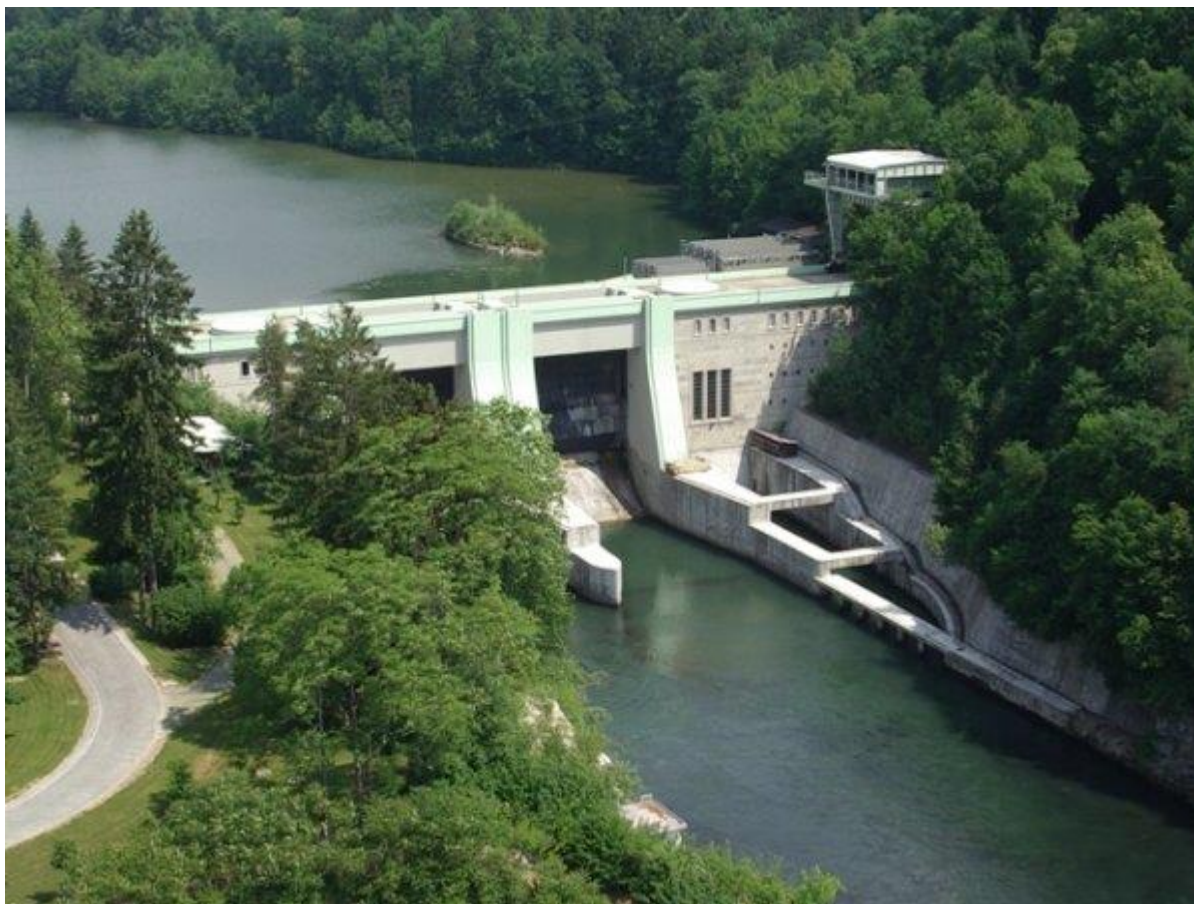
Slika 6: Prez strojnice HE Medvode (vir: SEL, 1994)

V smeri matice toka sta dve prelivni polji, ki sta opremljeni z dvodelno kljunasto tablasto zapornico. Zaježitvena višina pregrade je 17,5 metrov. Prevodnost pretočnih polj znaša $2.400 \text{ m}^3/\text{s}$ (SEL, 2015b).



Slika 7: Prez pretočnega polja HE Medvode (vir: SEL, 1994)

Na sami lokaciji pregrade sta tudi center za vodenje vseh hidroelektrarn na reki Savi ter vzdrževalni center za hidroelektrarne na zgornji in srednji Savi (SEL, 2015b).



Slika 8: Hidroelektrarna Medvode (GEN Energija, 2015b)

6 PREGLED DOKUMENTACIJE IN SISTEMOV ZAGOTAVLJANJA IN SPREMLJANJA OBRATOVALNE VARNOSTI

6.1 Tehnično opazovanje

Tehnično opazovanje po izgradnji pregrade predstavlja enega izmed pomembnejših orodij zgodnjega odkrivanja deformacij in poškodb na samem objektu in njegovi okolici. Zgodnje odkrivanje poškodb nam v nekaterih primerih omogoča sanacijo, v najslabšem primeru pa potreben čas za pravočasno ukrepanje in reševanje pred možnostjo porušitve pregrade (Humar, 2008).

Tehnično opazovanje za obravnavani pregradi izvaja strokovna organizacija, ki nudi tovrstna dela – ZAG (Zavod za gradbeništvo Slovenije).

6.1.1 HE Mavčiče

Tehnično opazovanje pregradnega objekta HE Mavčiče z brežinami in podslapja se izvaja od marca 1986, ko so se izvedle osnovne meritve in ko se je pričelo polnjenje akumulacije. Sistem tehničnega opazovanja pregradnega objekta, brežin akumulacije in podslapja je vzpostavljen na osnovi dveh projektov: Projekta tehničnega opazovanja, nivo podtalnice – piezometri in Projekta tehničnega opazovanja, geodetskih del. Navedena projekta sta bila izdelana na podlagi *Pravilnika o tehničnem opazovanju visokih jezer* (Ur. list SFRJ, št. 7/1966). Do leta 1989 je opazovanje pregradnega objekta potekalo pri znižanem obratovalnem nivoju akumulacije in sicer na koti približno 345 metra. Od tega leta dalje poteka opazovanje na koti normalne zajezitve 346 metra (ZAG, 2014a).

Deformacije pregradnega objekta ugotavljajo s preciznimi geodetskimi meritvami vertikalnih in horizontalnih pomikov, meritvami nagibov, meritvami delovanja razpok in dilatacij, meritvami vertikalne inklinacije, z ultrazvočnimi meritvami globin razpok ter z vizualnimi pregledi, s katerimi dopolnjujejo kataster razpok in poškodb ter pregledujejo kvaliteto betonov. Stanje brežin akumulacije in podslapja se ugotavlja z inženirsko-geološkimi pregledi (ZAG, 2014a).

Stanje podlage in drenažnega sistema pod temelji objekta opazujejo s pomočjo vgrajenih piezometričnih kap, s katerimi merijo filtracijske vzgonske tlake. Stanje bokov pregrade pa merijo s pomočjo opazovalnih vrtin, v katerih merijo piezometrične pritiske in filtracijske hitrosti podtalne vode (ZAG, 2014a).

6.1.2 HE Medvode

Tehnično opazovanje pregradnega objekta HE Medvode izvajajo od leta 1971 dalje, ko je bil sistem tehničnega opazovanja na podlagi Projekta tehničnega opazovanja za visoki jez HE Medvode v celoti vzpostavljen. Navedeni projekt je bil izdelan na osnovi veljavnega *Pravilnika o tehničnem opazovanju visokih jezov* (Ur. list SFRJ, št. 7/1966) (ZAG, 2014b).

Deformacije na pregradi se ugotavljajo z geodetskimi meritvami vertikalnih in horizontalnih pomikov, z meritvami vertikalnih komponent pomikov žerjavne proge, z meritvami rotacij pregrade na območju kontrolnega hodnika v smeri toka, s spremljanjem delovanja razpok in dilatacij, z meritvami globin razpok z ultrazvokom in z vizualnimi pregledi, s katerimi dopolnjujejo kataster razpok in poškodb ter pregledujejo kvalitete betonov. Stanje brežin akumulacije in podslapja spremljajo z inženirsko-geološkimi pregledi. Stanje podlage in bokov pregrade opazujejo s pomočjo opazovalnih vrtin, v katerih zasledujejo spremembe parametrov filtracije podtalnice (ZAG, 2014b).

Za obe pregradi ZAG izdaja vsakoletna poročila o tehničnem opazovanju, v katerih so zbrani vsakoletni podatki o hidrotehničnih (hidrostatičnih in hidrodinamičnih) in geodetskih meritvah ter opažanja vizualnih pregledov betonov (nad in pod vodo), deformacij objektov, obrežnih zavarovanj in brežin akumulacij. Poročila obsegajo tudi analizo rezultatov, na podlagi katerih izdajajo priporočila o morebitnih potrebnih sanacijah ali potrebi po bolj pogostem opazovanju določenega dela pregradnega objekta ali segmenta brežin akumulacije.

6.2 Seizmološko opazovanje

Po številu in moči potresov spada ozemlje Slovenije med dejavnejša območja, zato je poznavanje obnašanja same pregrade ob potresu temeljnega pomena za varno obratovanje. Najbolj racionalna oblika, s katero zmanjšujemo tveganje oziroma povečujemo varnost pred učinki potresov, je opazovanje seizmičnosti (Sinčič, Vidrih in Godec, 2010).

Sistem opazovanja seizmičnosti je na obravnavanih objektih avtomatiziran. Za SEL (Savske elektrarne Ljubljana) opazovanje stalno izvaja pooblaščen seizmični opazovalec Mikro Medica Radenci d.o.o., ki na podlagi meritev izdeluje letna poročila. Center seizmološkega opazovanja se nahaja v centru vodenja v Medvodah. Podatki iz seizmoloških snemalnikov, ki beležijo in shranjujejo podatke iz seizmoloških senzorjev, se prenašajo na centralni nadzorni sistem, kjer se shranjujejo v grafični in numerični obliki (Mikro Medica Radenci, 2014a).

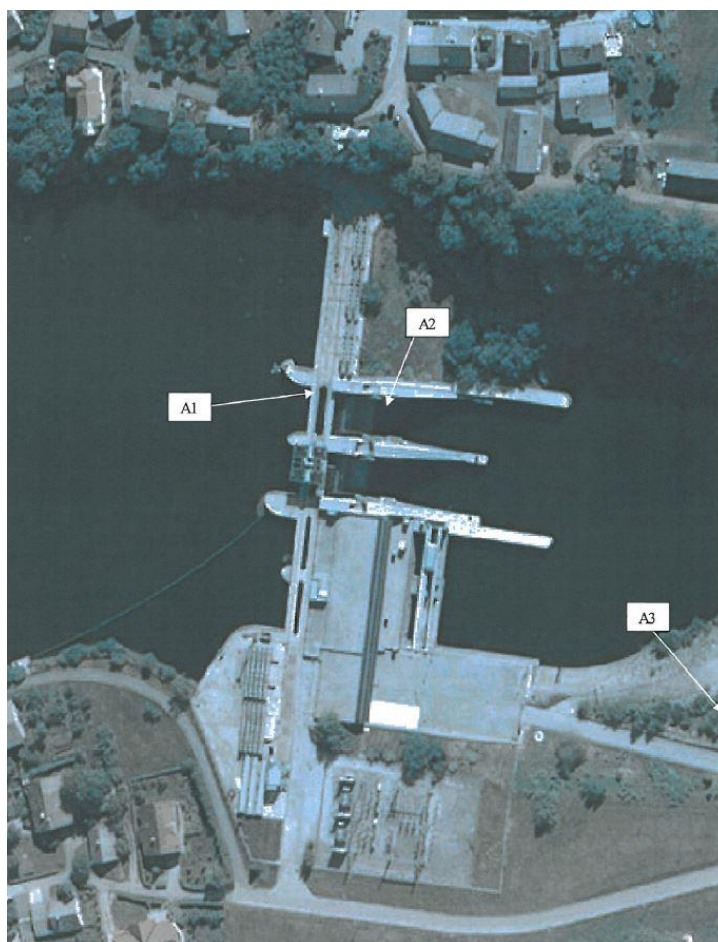
Oprema, s katero se meri seizmičnost, je sestavljena iz akceleroagrafov, ki merijo pospeške premikov, snemalnika dogodkov, s katerim se beležijo podatki in se pošiljajo v center

vodenja, in ostale komunikacijske opreme. Seizmološka mreža je pri obeh obravnavanih pregradah sestavljena iz treh akceleroagrafov, s pomočjo katerih spremljajo dinamično obnašanje pregrade v času potresa. Eden od akceleroagrafov je postavljen v temelju pregrade, eden v telesu pregrade, eden pa na prostem površju (Mikro Medica Radenci, 2014a).

Pridobljeni podatki služijo za analize, katerih zaključki se uporabljajo za bolj usmerjeno vzdrževanje in sanacijo, ter s tem pripomorejo k večji varnosti pregrad hkrati pa zmanjšujejo stroške vzdrževanja (Mikro Medica Radenci, 2014a).

6.2.1 HE Mavčiče

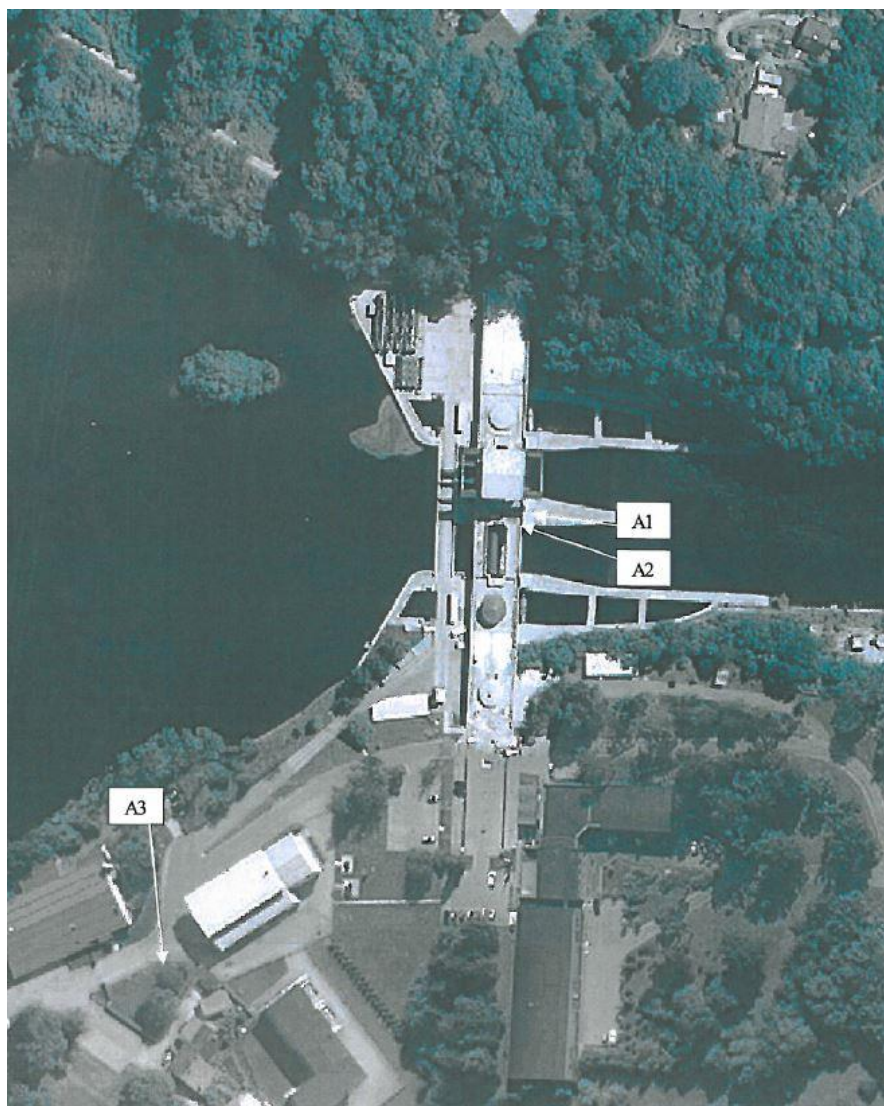
Seizmološko opazovanje se na pregradi izvaja od leta 2003, ko je bil na podlagi *Pravilnika o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade* (Ur. list RS, št. 92/1999 in 44/2003) sprejet Projekt opazovanja seizmičnosti pregrade HE Mavčiče. Na sliki 9 je prikaz opazovalne mreže akceleroagrafov HE Mavčiče (Mikro Medica Radenci, 2014a).



Slika 9: Opazovalna mreža akceleroagrafov HE Mavčiče (Mikro Medica Radenci, 2014a)

6.2.2 HE Medvode

Seizmološko opazovanje se na pregradi izvaja od leta 2003, ko je bil na podlagi *Pravilnika o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade* (Ur. list RS, št. 92/1999 in 44/2003) sprejet Projekt opazovanja seizmičnosti pregrade HE Medvode. Na sliki 10 je prikaz opazovalne mreže akceleroagrafov HE Medvode (Mikro Medica Radenci, 2014b).



Slika 10: Opazovalna mreža akceleroagrafov HE Medvode (Mikro Medica Radenci, 2014b)

6.3 Projekt porušitve – izračun poplavnega vala

Naselja, ki ležijo v dolinah nizvodno od pregrad, so ves čas izpostavljena določeni stopnji tveganja. Za objekte in prebivalstvo tveganje predstavlja voda, ki je zbrana v akumulacijskih jezerih, saj bi se ta v primeru porušitve pregrade razlila po dolini in s tem povzročila veliko materialne škode ter ogromno število človeških žrtev (Rajar, 1973).

Hidravlični model oziroma izračun vala, ki bi nastal zaradi porušitve pregrade ali samodejnega nepredvidenega dviganja oziroma spuščanja zapornic itd., omogoča določitev glavnih parametrov vala, kot je (Rajar, 1973):

- čas, v katerem bi val dosegel določen profil;
- maksimalna višina vode, ki bi jo voda dosegla;
- hitrost vode.

S pomočjo teh podatkov lahko izvedemo določene ukrepe, s katerimi povečujemo varnost, zmanjšujemo tveganje in omejimo obseg škode. Eden od možnih ukrepov je ta, da bi bilo prebivalstvo obveščeno o maksimalnih višinah, ki jih lahko doseže voda, in do katere točke se morajo umakniti ob posebnem alarmnem znaku. Obstaja tudi možnost preventivnega ukrepa, s katerim se prepove gradnja pomembnejših objektov, ki so po izračunih izpostavljeni poplavnemu valu (Rajar in Zakrajšek, 1979).

6.3.1 HE Mavčiče

Način porušitve, ki so ga upoštevali za izračun poplavnega vala, temelji na trenutni in popolni porušitvi. Predpostavili so, da betonski prag ostane na koti 331 metrov, kar je razvidno iz slike 3 (Rajar in Zakrajšek, 1979).

Izračunali so štiri variante poplavnega vala. Prve tri se med seboj razlikujejo samo po začetni višini gladine vode v akumulaciji. Višina spodnje vode je v vseh treh primerih enaka. V četrtem primeru, kjer je osnovni pretok enak tisočletni vodi, pa je zgornja voda enaka osnovni višini akumulacije, spodnja voda pa je enaka višini prelivanja tisočletne vode HE Medvode pri popolnoma odprtih zapornicah. Vse variante so računali zato, da so ugotovili najbolj neugodne (škodljive) posledice porušitve pri najbolj neugodnih pogojih in višino, ki ni več nevarna za naselja ob reki v primeru porušitve zaradi naravnih neizgled ali bombardiranja (Rajar in Zakrajšek, 1979).

V zaključku projekta so za vsako varianto posebej določena območja, ki bi bila ogrožena, in z njimi povezana škoda, ki bi bila povzročena (Rajar in Zakrajšek, 1979):

- ogrožene bi bile posamezne stavbe pod Janševo senošetjo;
- most v Smedniku bi se verjetno porušil – voda bi segala približno 1,5 metra preko cestišča;
- poplavljen bi bil del naselja Zbilje in posamezne hiše ob strugi – globina poplavljanja bi bila približno 1,5 metra.

Dolvodno od pregrade HE Medvode nobena od računanih variant ne predstavlja takšne nevarnosti kot sama porušitev pregrade HE Medvode. Računa zato od tu niso nadaljevali, ker varnostni ukrepi v primeru porušitve pregrade HE Medvode zadostujejo za vse štiri variante (Rajar in Zakrajšek, 1979). Pri tem je potrebno opozoriti, da z neupoštevanjem kaskadne porušitve pregrad ne dobimo realnega računa vplivov dolvodno, saj s tem nimamo celotne slike o dejanskem dogajanju.

Projekt vsebuje tudi karto Poplavnih področij ob morebitni porušitvi pregrade HE Mavčiče, kar pripomore k hitrejšemu določanju poplavno ogroženih območij. Del karte je prikazan na sliki 11, iz katere je razvidno poplavno območje pri naselju Zbilje za vsako računano varianto posebej.

Pri pregradi HE Mavčiče je potrebno omeniti še dogodek iz leta 1993, ko se je na pregradi samodejno dvignila segmentna zapornica, zaradi česar se je pretok preko jezua tako zelo povečal, da je nastal dolvodno od pregrade umetni visokovodni val. Zaradi tega so dopolnili osnovni projekt z dokumentom *Dopolnitev študije za izračun vala pri porušitvi pregrade HE Mavčiče ter izračun vala pri odprtju zapornice na HE Mavčiče 7. 3. 1993*. Zaključki študije so bili, da samodejno dviganje zapornic ni povzročilo katastrofalnih posledic, razen na Zbiljskem jezeru, kjer se je gladina vode zvišala za približno 70 centimetrov nad osnovno koto (Rajar, 1993).

6.3.2 HE Medvode

Za izračun poplavnega vala so kot najbolj neugoden primer predpostavili trenutno porušitev pregrade oziroma samo porušitev zapornic na širini 30 metrov (Rajar, 1973).

V samem projektu je opisana računaska metoda za izračun poplavnega vala, ki pa so jo zaradi majhnega zaupanja v računske metode preverili s poskusi na hidravličnih modelih. Izračun je narejen po treh primerih. Prišli so do ugotovitve, da so računski rezultati zanesljivi do $\pm 12\%$ (Rajar, 1973).

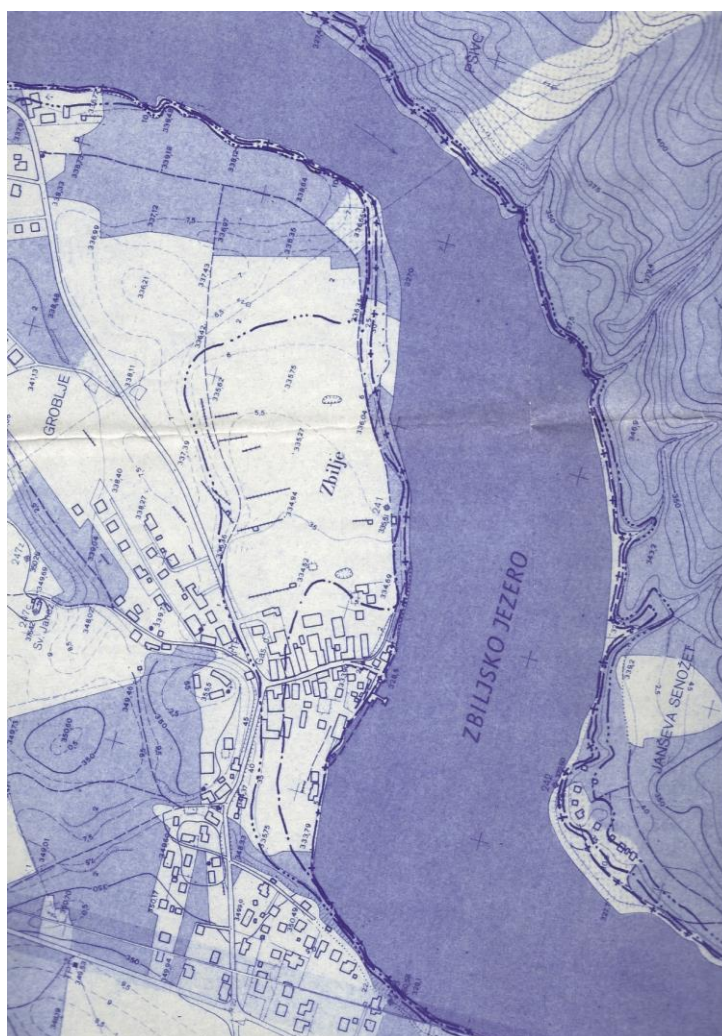
Glede na dobljene izračune ter nevarnost in posledice, ki bi jih povzročil poplavni val, so obravnavani odsek nizvodno od pregrade razdelili na tri področja (Rajar, 1973):

- V prvem področju, ki meri v dolžino 900 metrov, je nevarnost največja. Tu bi poplave nastopile takoj po porušitvi (po približno 0–1,5 minute), kar pomeni, da bi bilo prebivalstvo praktično nemogoče opozoriti na poplavni val. Poplavljen bi bila tovarna Donit-Tesnilka ter nekatere stavbe na desnem bregu Save nad in pod izlivom Sore (globina poplavljanja znaša približno 2 metra). Iz rezultatov sledi, da bi bil del naselja

Medvode resno ogrožen, saj bi voda verjetno porušila nekatere stavbe, kar bi ob odsotnosti časa za umik zagotovo terjalo tudi smrtne žrtve.

- Drugo področje, ki sega od 900 metrov do 3.200 metrov (hotel Medno), je v manjši nevarnosti, saj bi poplave nastopile po 1,5–4,5 minutah. Tudi hitrost vode in njena gladina bi bila že manjša. Voda bi še vedno poplavlila nekaj stanovanjskih hiš na desnem bregu (približno 1 meter vode), ne bi pa jih porušila, zato v tem področju lahko pričakujemo manjšo materialno škodo in število človeških žrtev.
- V tretjem področju (od hotela Medno naprej) obstaja le manjša nevarnost. Voda ne bi več poplavljala hiš, poplavlila pa bi večino peščenih/prodnih področij blizu struge in s tem ogrožala morebitne kopalce ali sprehajalce. Več kot 10 kilometrov od pregrade je možnost nastanka kakršnekoli škode zelo majhna.

Projekt vsebuje tudi karto poplavnih področij, katera bi bila ogrožena v primeru porušitve pregrade HE Medvode.



Slika 11: Del karte poplavnih področij, ki bi nastala pri porušitvi HE Mavčiče (Rajar in Zakrajšek, 1979)

6.4 Ocene ogroženosti

Ocena ogroženosti vodne pregrade HE Mavčiče in HE Medvode je bila izdelana na podlagi *Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami* (Ur. list RS, št. 64/1994), *Navodila o pripravi ocen ogroženosti* (Ur. list RS, 39/1995) ter zgoraj opisanih študij poplavnega vala – poglavje 6.3.

6.4.1 HE Mavčiče

V oceni je kot edini vir nevarnosti, ki bi ob izrednih razmerah (naravnih nesrečah, diverzijah, napakah pri obratovanju) lahko ogrožal ljudi, živali, premoženje in kulturno dediščino, navedena zajezena voda v akumulaciji. Možna vzroka za nastanek nesreče oziroma nekontroliran izpust vode iz akumulacije sta sledeča (SEL, 2009a):

- nekontrolirano delovanje hidromehanske opreme;
- porušitev pregrade HE Mavčiče.

Pri tem pa ni točno določeno v kakšnih okoliščinah se lahko nesreča dogodi. Na velikost škodnega dogodka vplivajo vremenske razmere: v obdobju nizkih pretokov so posledice lahko manjše kot pri nastopu visokovodnih razmer.

Stopnja verjetnosti za nastanek nesreče zaradi (SEL, 2009a):

- nekontroliranega delovanja hidromehanske opreme je majhna;
- porušitve pregrade je zelo majhna.

Vrste in oblike ogroženosti so v oceni povzete iz študij poplavnega vala HE Mavčiče. Na njihovi podlagi so izbrani tako najbolj kritični primeri nastanka nesreče ter njihove stopnje ogroženosti, kot tudi potek in možen obseg nesreče (poglavje 6.3). Stopnja ogroženosti je ocenjena od poplav, ki ne ogrožajo nikogar, do poplav, ki ogrožajo objekte in ljudi (SEL, 2009a).

Verjetnost nastanka verižne nesreče v primeru porušitve pregrade HE Mavčiče in posledično porušitve pregrade HE Medvode je praktično zelo majhna zaradi sledečega (SEL, 2009a):

- Maksimalni pretok na pregradi HE Medvode bi v najbolj neugodnem primeru ob porušitvi zgoraj ležeče HE Mavčiče znašal približno $3.908 \text{ m}^3/\text{s}$, medtem ko je porušitev pregrade HE Medvode predvidena pri pretoku približno $7.063 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Upoštevati moramo tudi obratovalno pripravljenost osebja in hidromehanske opreme HE Medvode, katera zagotavlja pravočasno ukrepanje in odpiranje zaporničnih naprav.

Ocena ogroženosti je izhodišče za izdelavo Načrta zaščite in reševanja ob poplavnem valu HE Mavčiče.

6.4.2 HE Medvode

V oceni je kot edini vir nevarnosti, ki bi ob izrednih razmerah (naravnih nesrečah, diverzijah, napakah pri obratovanju) lahko najbolj ogrožal ljudi, živali, premoženje in kulturno dediščino, navedena zajezena voda v akumulaciji. Možna vzroka za nastanek nesreče oziroma nekontroliran izpust vode iz akumulacije sta sledeča (SEL, 2009b):

- nekontrolirano delovanje hidromehanske opreme;
- porušitev pregrade HE Medvode.

Tudi v tem primeru niso upoštevane niti vremenske razmere, v katerih se nesreča dogodi, niti ni zajeta možnost kaskadne porušitve.

Stopnja verjetnosti za nastanek nesreče zaradi (SEL, 2009b):

- nekontroliranega delovanja hidromehanske opreme je majhna;
- porušitve pregrade je zelo majhna.

Vrste in oblike ogroženosti so v oceni povzete iz študije poplavnega vala HE Medvode. Na njeni podlagi so izbrani tako najbolj kritični primeri nastanka nesreče ter njihove stopnje ogroženosti, kot tudi potek in možen obseg nesreče (poglavje 6.3). Stopnja ogroženosti je ocenjena na najvišjo in sicer na poplave, ki ogrožajo ljudi in objekte (SEL, 2009b).

Verjetnost nastanka verižne nesreče na dolvodni HE Vrhovo je zaradi velike oddaljenosti in posledično zniževanja poplavnega vala zanemarljiva, še posebej če se zagotovi predhodno ustrezno odvajanje pričakovanega dotoka vode čez prelivna polja (SEL, 2009b).

Na osnovi te ocene ogroženosti se izdelata Načrt zaščite in reševanja ob poplavnem valu HE Medvode.

6.5 Načrt zaščite in reševanja ter alarmiranje

Načrta zaščite in reševanja sistema pregrad hidroelektrarn Mavčiče in Medvode sta izdelana na osnovi *Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami* (Ur. list RS, št. 64/1994) in *Uredbe o vsebini in izdelavi zaščite in reševanja* (Ur. list RS, 24/2012), ki zahtevata, da organizacije, ki upravljajo s sredstvi za delo, katera predstavljajo nevarnost za nastanek nesreče, izdelajo načrt zaščite in reševanja (SEL, 2009c; SEL, 2009d).

Obseg načrtovanja zajema območja pregrade HE Mavčiče oziroma HE Medvode v primeru (SEL, 2009c; SEL, 2009d):

- povečanega pretoka Save nad $700 \text{ m}^3/\text{s}$ ali;
- nenadzorovanega izliva ali preliva vode iz akumulacijskega jezera.

Obveščanje poteka preko ReCO Kranj za HE Mavčiče oziroma ReCO Ljubljana za HE Medvode. V primeru izrednih dogodkov je naloga zaposlenih predvsem strokovno rokovanje z napravami ter pravilno ukrepanje in obveščanje. Aktivnosti stečejo v primeru, ko pride na objektu do napake, zaradi katere je posledično povečan pretok vode skozi prelivna in turbinska polja ter močno naraščanje spodnje vode. V najslabšem primeru lahko take razmere ogrozijo nizvodno živeče prebivalstvo in njihovo premoženje. Za obveščanje o nastanku izrednega dogodka je najprej odgovorno službujoče obratovalno osebje, ki izvaja nadzor nad obratovanjem tehnoloških naprav elektrarne (SEL, 2009c; SEL, 2009d).

Koncept zaščite in reševanja ob nesreči je razdeljen na štiri stopnje (SEL, 2009c; SEL, 2009d):

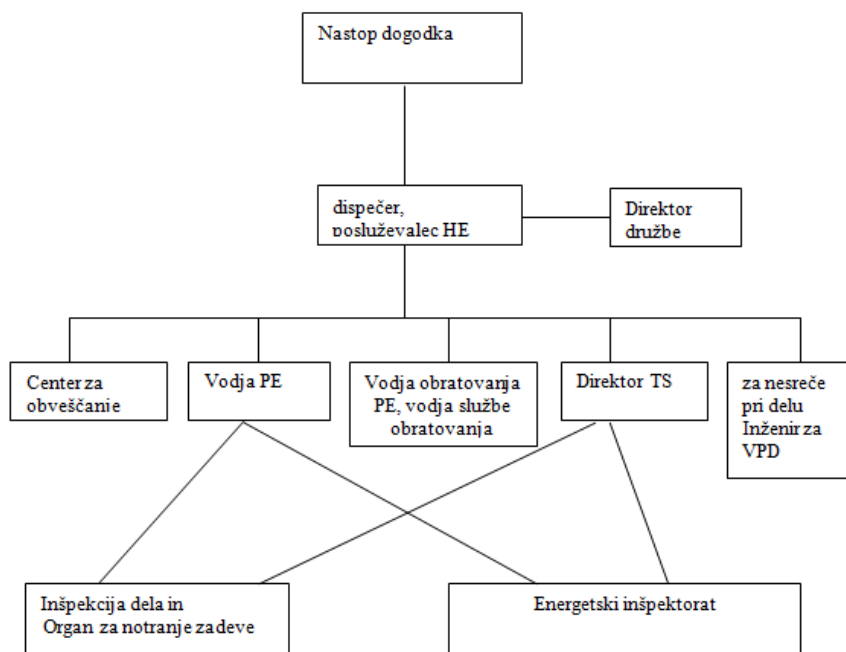
- 1. stopnja (ni nevarnosti – ni poplav – manjši izredni dogodek): raven dogodka je na nivoju tehnološkega procesa z možnostjo rešitve problema in preprečitve posledic nesreče na sami lokaciji pregrade. Takšni dogodki naj ne bi imeli vpliva na nizvodno ležeče območje. Manjši obseg nevarnosti se na pregradi rešuje z lastnim osebjem, ki je usposobljeno za ukrepanje v primeru izrednih dogodkov. Obveščanje ni predvideno.
- 2. stopnja (ni nevarnosti – manjši obseg nevarnosti – poplave ne ogrožajo nikogar): sem štejemo dogodke, ki bi lahko povzročili nekontroliran izliv vode iz akumulacijskega jezera, kateri bi poplaval nižje ležeče dele kot so travniki in njive. Objekti niso ogroženi. Posledice dogodka se rešuje z lastnim osebjem. Obveščanje ReCO Kranj oziroma ReCO Ljubljana se prične, ko pretok reke Save doseže $700 \text{ m}^3/\text{s}$ in ima tendenco naraščanja. Vse aktivnosti izven območja pregrad izvajajo javne službe skladno s svojimi pristojnostmi.
- 3. stopnja (nevarnost – večji obseg nevarnosti – poplave ogrožajo objekte dolvodno od pregrade): sem spadajo dogodki, ki bi povzročili takšen izliv vode iz akumulacijskega jezera, s katerim bi bili ogroženi dolvodno od pregrade ležeči objekti. Posledice dogodka se rešujejo z lastnim osebjem. ReCO Kranj oziroma ReCO Ljubljana se prične obveščati o pretoku Save, ko le-ta doseže $700 \text{ m}^3/\text{s}$ z močno tendenco naraščanja, in se ga nato tudi stalno obvešča o njegovem stanju. Vse aktivnosti izven območja pregrad izvajajo javne službe skladno s svojimi pristojnostmi.

- 4. stopnja (nevarnost porušitve pregrade): če se začnejo pojavljati znaki, ki nakazujejo na možnost porušitve same pregrade, se poveča opazovanje. O stanju pregrade se redno obvešča ReCO Kranj oziroma ReCO Ljubljana. Ostale aktivnosti so enake kot v primeru 2. in 3. stopnje.

Načrt zaščite in reševanja se ob pretoku Save nad 700 m³/s ter pri nenadzorovanem dogodku brez odlašanja začne izvajati od 2. stopnje naprej (SEL, 2009c; SEL, 2009d).

Največji poudarek pri zagotavljanju varnosti se daje opazovanju, obveščanju in alarmiranju. Pod opazovanje spada stalno tehnično opazovanje in opazovanje zasipavanja akumulacijskega jezera. Opazovanje je na obeh pregradnih objektih zagotovljeno tudi z videom nadzorom. V centru vodenja Savskih elektrarn Ljubljana je stalno (24 ur na dan) prisotno dežurno osebje, ki nadzoruje delovanje elektroenergetskih naprav in hidromehanske opreme ter pretok vode. V primeru izrednega dogodka ter v primeru večjih okvar na elektroenergetskih napravah in objektih posamezne hidroelektrarne zaposleni ravnajo v skladu z internim organizacijskim predpisom – *Večje okvare in izredne razmere* in z navodilom – *Navodilo o poteku obveščanja ob okvarah in izrednih dogodkih*. Obratovalno osebje (dispečer, posluževalec hidroelektrarne) je v primeru izrednega dogodka (pretok Save nad 500 m³/s) dolžno o tem takoj obvestiti vodjo proizvodne enote, vodjo obratovanja, direktorja tehničnega sektorja in direktorja družbe. Vodja proizvodne enote nato v dogovoru z direktorjem tehnične službe obvesti energetski inšpektorat, inšpektorat za delo in organ za notranje zadeve. V primeru, da je pretok Save večji od 700 m³/s s tendenco naraščanja ali da se zgodi izredni dogodek kot je poškodba zapornice, poškodba na pregradi, možnost porušitve pregrade itd., je potrebno o tem obvestiti ReCO Kranj oziroma ReCO Ljubljana in ga obveščati vsaki 2 uri ali pogosteje, če to narekujejo razmere na pregradi. Na sliki 12 je prikazana shema obveščanja ob nastopu izrednega dogodka v SEL (SEL, 2009c; SEL, 2009d).

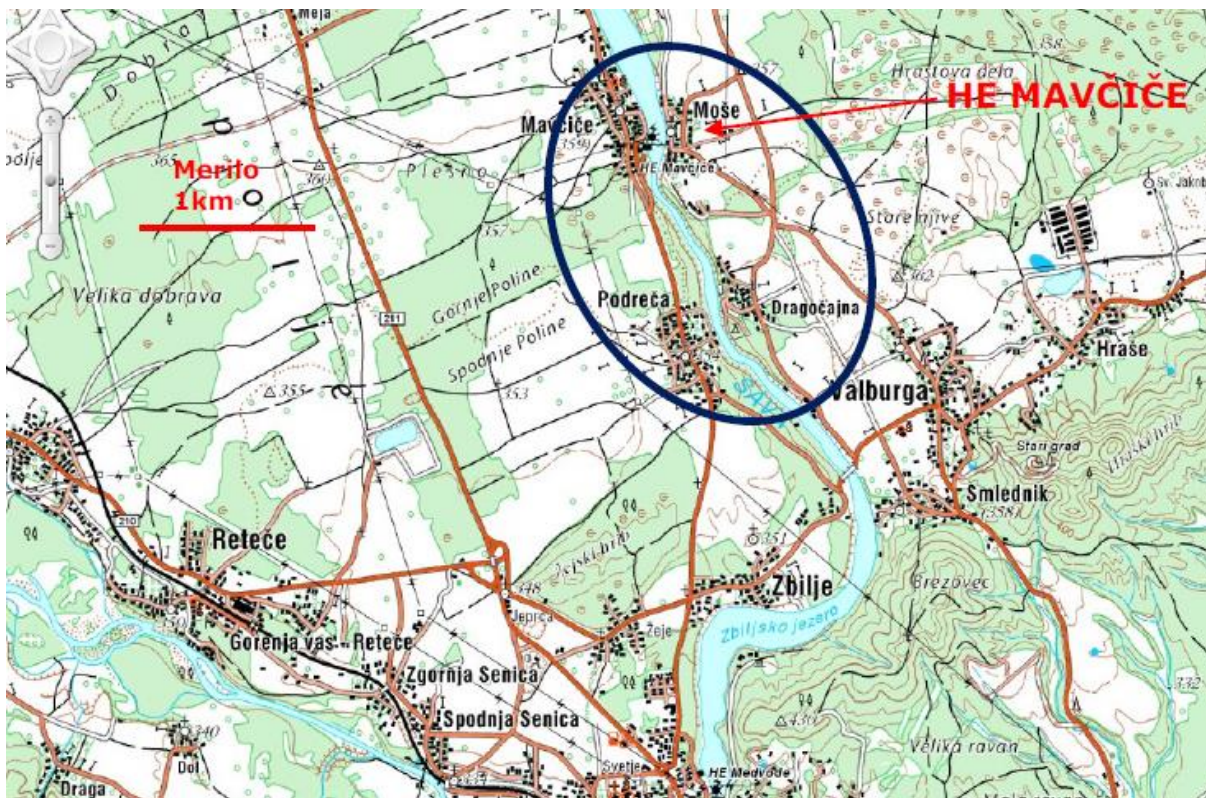
Na sistemu pregrad HE Mavčiče in HE Medvode v primeru izrednega dogodka in nevarnosti nastanka poplav na naseljenem območju, kjer so lahko ogrožena življenja, lahko odgovorni (vodja intervencije, poveljnik civilne zaščite) izdajo ukaz za alarmiranje. Pristojni center za obveščanje mora takoj po znaku za preplah posredovati obvestilo o vrsti nevarnosti in napotke za osebno zaščito ter izvajanje zaščitniških ukrepov po radiu, televiziji oziroma na kakšen drug način (SEL, 2009c; SEL, 2009d).



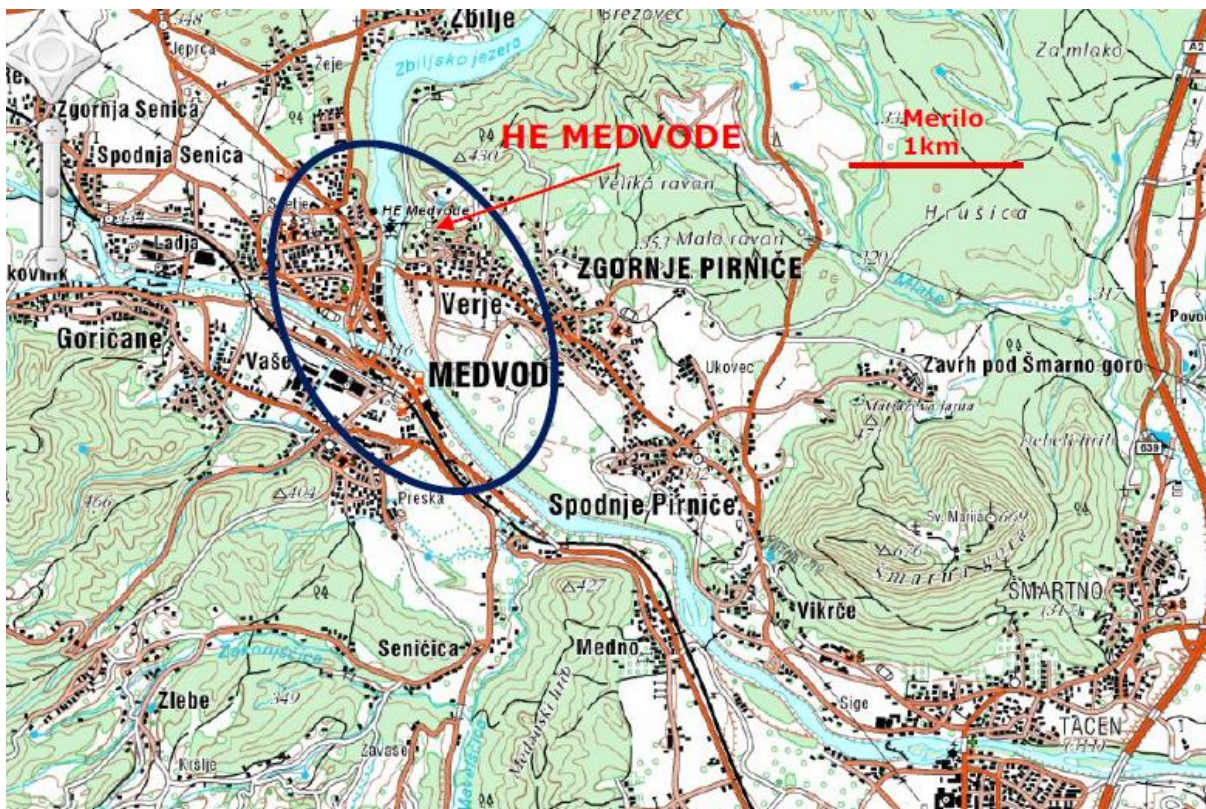
Slika 12: Shema obveščanja v SEL (SEL, 2009c; SEL, 2009d)

Sistem obveščanja po shemi na sliki 12 je funkcionalen v primeru izrednih dogodkov, kjer je sorazmerno dovolj odzivnega časa za ukrepanje in obveščanje po protokolih, vključno s škodnim dogodkom iz leta 1993. Bolj problematična pa je učinkovitost sistema v primeru ekstremnih situacij (hipne porušitve, preplavitve HE Medvode ...), kjer pa se odzivni čas za izvedbo evakuacije iz ogroženega območja skrajša na okoli 1,5–4,5 minute. Sistem obveščanja bi bilo treba prilagoditi z navodilom, ki bi določalo, da se prebivalstvo na ogroženih območjih takoj umakne v območja varnih con, v višja nadstropja itd.

Sistem alarmiranja Savskih elektrarn Ljubljana je sestavni del sistema javnega alarmiranja (SIJA). Elektronske sirene na območju pregrad HE Mavčiče in HE Medvode lahko daljinsko krmilita in nadzirata ReCO Kranj in ReCO Ljubljana. Na vsakem objektu je postavljena ena elektronska sirena, ki pa ne pokriva celotnega dolvodnega območja. Sistem je zato dopolnjen z dodatnimi sireni na objektih iz bližnjih naselij (gasilski domovi), tako da je zvočno pokrito celotno naseljeno območje, ki bi bilo ob morebitnem razlitju vode iz akumulacije ogroženo s poplavami. Če aktiviramo sireno na pregradi HE Mavčiče, se aktivirajo tudi sirene na pregradi HE Medvode, v gasilskih domovih v Zbiljah, Smledniku in Mavčičah ter v naselju Dragočajna. Če pa aktiviramo sireno na pregradi HE Medvode, se aktivirajo sirene na pregradi HE Mavčiče in gasilskih domovih v Spodnjih Pirničah, Zgornjih Pirničah, Preski, Mednem in Tacnu. Na sliki 13 je prikazan doseg sirene na HE Mavčiče, na sliki 14 pa doseg sirene na HE Medvode (SEL, 2011).



Slika 13: Doseg sirene na HE Mavčiče (SEL, 2011)



Slika 14: Doseg sirene na HE Medvode (SEL, 2011)

6.6 Obratovanje akumulacijskih jezer in celotnega sistema

Za varno obratovanje akumulacijskega jezera je na prvem mestu potrebno vzdrževanje, zato se pri sistemu pregrad HE Mavčiče in HE Medvode redno spremlja stanje brežin skladno s Projektom tehničnega opazovanja in na podlagi letnih poročil. Kontrolo brežin opravijo vsaj enkrat letno pri znižanju vode v akumulacijskem jezeru za 1 meter. V primeru, da opazijo kakršnekoli poškodbe, ki bi lahko povzročile kakršnokoli večjo nestabilnost brežin, se njihovo stanje spremlja pogosteje oziroma se predvidi njihova sanacija. V obeh akumulacijah se meri tudi zaprojenost oziroma zamuljenost in sicer na vsakih 10 let oziroma skladno z rezultati predhodnih meritev. Gorvodno od akumulacije HE Mavčiče je v Kranju lovilna jama za prod, ki jo dvakrat letno izprazni zunanji izvajalec, ki ima sklenjeno koncesijsko pogodbo (SEL, 1999).

Vodno površino akumulacijskih jezer je potrebno ohranjati čisto, saj lahko v nasprotnem primeru večje količine plavajočega materiala predstavljajo koncentrirano obremenitev za okolje. V ta namen je na začetku akumulacijskega jezera HE Mavčiče postavljena plavajoča zavesa. Zavesa je postavljena tudi pred samima pregradama in sicer nekaj metrov pred vtokom v turbine (SEL, 1999).

Akumulacijsko jezero se lahko prazni ob nastopu visokih voda in zaradi vzdrževanja bazena ali pregrade ob nizkih dotokih Save (SEL, 1999).

Valovanje v samem sistemu pregrad ni prisotno, saj se valovi, ki bi lahko negativno vplivali na objekte zaradi morfologije terena, smeri tokov in dimenzij akumulacijskih jezer, ne morejo pojaviti (SEL, 1999).

S pomočjo računalnika se uravnava optimalno izkoriščanje vodne energije glede na gladino in položaj zapornic, tako da se čim manj vode prelije preko zapornic. V primeru napake na računalniku ali v primeru izpada turbin začne voda v akumulacijskem jezeru naraščati, zato je potrebno v najkrajšem možnem času vzpostaviti pretok skozi pregradni profil. Ko gladina vode doseže koto normalnega obratovanja, se vključi zaščitni sistem uravnavanja zgornje vode z zapornicami, ki je nadrejen drugim načinom vodenja (SEL, 2010).

Obratovanje z zapornicami na pretočnih poljih je predvideno za lokalno in daljinsko upravljanje. Lokalno upravljanje se izvaja na komandni omari zapornic pri elektromotornih pogonih pretočnih polj, daljinsko pa iz komandnega prostora hidroelektrarne ali centra vodenja v Medvodah (SEL, 2010).

6.6.1 HE Mavčiče

Pri normalnem obratovanju znaša najvišja dovoljena kota nivoja vode v jezeru 346,00 metrov z dovoljeno toleranco 10 centimetrov. Najvišja denivelacija jezera znaša 3,30 metra, normalna pa 1,70 metra. Hitrost, s katero znižujemo gladino, ni posebej omejena. Ob minimalnem dotoku $20 \text{ m}^3/\text{s}$ in ob obratovanju obeh agregatov, katerih skupni pretok je $260 \text{ m}^3/\text{s}$, znaša hitrost zniževanja maksimalno 60 cm/h (SEL, 1999).

Ob nastopu visokih vod lahko jezero obratuje z normalno koto 346,00 metra, saj zajezev HE Mavčiče vpliva na potek gladin na območju industrijske cone ob reki Savi v Kranju le do pretokov okoli $700 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri višjih pretokih Save so naravne gladine na tem odseku merodajne in nanje zajezev ne vpliva več (SEL, 1999).

6.6.2 HE Medvode

Ob normalnem delovanju znaša najvišja dovoljena kota nivoja vode v jezeru 328,50 metra (enako normalni spodnji vodi HE Mavčiče), z dovoljeno toleranco 10 centimetrov. Normalna denivelacija jezera znaša 1,70 metra, najvišja pa 3,30 metra. Hitrost, s katero znižujemo gladino, ni posebej omejena. Ob minimalnem dotoku $0 \text{ m}^3/\text{s}$ in ob obratovanju obeh agregatov znaša hitrost zniževanja maksimalno 60 cm/h (SEL, 2010).

Pri obratovanju ob visokih vodah zajezev HE Medvode vpliva na potek gladin na območju Zbiljskega jezera do spodnje vode HE Mavčiče. Zniževanje kote vode zajezev HE Medvode ob povečanih dotokih poteka tako, da se izvaja praznjenje akumulacije do 1,70 metra z dovoljeno hitrostjo 60 cm/h . To pomeni, da je odtok iz HE Medvode lahko do $100 \text{ m}^3/\text{s}$ večji od dotoka v akumulacijski bazen (SEL, 2010).

Hitrost dvigovanja in zniževanja pretoka je omejena zaradi škodljivih vplivov erozije struge in bregov ter zaradi zmanjšanja vpliva na ribe in druge organizme v strugi (SEL, 2010).

6.6.3 Obratovanje verige HE Mavčiče in HE Medvode

Neizenačen inštaliran pretok $260 \text{ m}^3/\text{s}$ v HE Mavčiče in $150 \text{ m}^3/\text{s}$ v HE Medvode zahteva predhodno praznjenje akumulacijskega jezera HE Medvode pred začetkom obratovanja HE Mavčiče. Zahteva, ki določa, da mora biti struga Save pod pregrado HE Medvode vedno omočena (biološki minimum), praktično že zagotovi potrebno predhodno praznjenje (SEL, 2010).

7 OCENA TVEGANJA SISISTEMA PREGRAD MAVČIČE-MEDVODE

Na podlagi pregleda dokumentacije ter terenskega ogleda objektov in njihove okolice, katerega namen je bilo pridobivanje podatkov, ki jih iz same dokumentacije ni bilo mogoče razbrati, je s pomočjo metodologije projekta VODPREG opredeljena stopnja tveganja, ki ga obravnavani sistem pregrad predstavlja za okolico.

7.1 Metodologija ocenjevanja

Po definiciji je tveganje opredeljeno kot funkcija, ki je odvisna od nevarnosti, potencialne škode in ranljivosti okolja. Zaradi pomanjkljivosti razpoložljivih podatkov obravnavanih pregrad pri projektu VODPREG so avtorji projekta razvili metodologijo, s katero so lahko izdelali kvalitativno oceno tveganja posamezne pregrade. Ocena tveganja dejansko ni narejena strogo po definiciji, ampak temelji na vrednotenju bistvenih parametrov, ki najbolj povzamejo stopnjo nevarnosti, ki jo pregrada predstavlja za prostor. Posamezni parametri so razdeljeni v sledeče kategorije (Kryžanowski in sod., 2012):

- osnovni parametri pregrad;
- stanje razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije;
- obratovanje – parametri vezani na obratovalno varnost;
- parametri tveganja kot posledica obratovanja;
- stanje objektov in opreme.

Vsak parameter v vsaki kategoriji je ocenjevan po tristopenjski lestvici, s katero je določeno, kakšen vpliv ima posamezen parameter na končno oceno tveganja (Kryžanowski in sod., 2012):

- 1. stopnja – velik vpliv na tveganje;
- 2. stopnja – srednji vpliv na tveganje;
- 3. stopnja – majhen vpliv na tveganje.

Za čim boljšo točnost izbora ocene posamezne kategorije je stopnja točkovanja naraščajoča. To pomeni, da večji kot je vpliv posameznega parametra na določeno tveganje, večje je število točk in obratno, da manjši kot je vpliv posameznega parametra, manjše je število točk (Kryžanowski in sod., 2012):

- 1. stopnja – 8 točk;
- 2. stopnja – 4 točke;
- 3. stopnja – 2 točki.

Končna ocena tveganja posamezne pregrade je sestavljena iz delnih ocen posameznih kategorij, ki je razdeljena v pet razredov tveganja (Kryžanowski in sod., 2012):

- malo;
- malo do srednje;
- srednje;
- srednje do veliko;
- veliko.

7.2 Ocenjevanje stopnje tveganja pregrad HE Mavčiče in HE Medvode

Preglednica 3: Ocenjevanje tveganja na podlagi osnovnih parametrov pregrade

1) Osnovni parametri pregrad:	Stopnja	HE Mavčiče	Komentar k oceni	HE Medvode	Komentar k oceni
P1) Višina pregrade:					
h > 15	1	1	Natančna višina pregrade je 40,15 m.	1	Natančna višina pregrade je 35,98 m.
h > 10	2				
h > 5	3				
P2) Volumen zadrževanja:					
V > 1hm ³	1	1	Volumen zadrževanja je 9,03 hm ³ (kubični hektometri).	1	Volumen zadrževanja je 3,05 hm ³ (kubični hektometri).
V > 0,5hm ³	2				
V < 0,5hm ³	3				
P3) Pretok v pregradnem profilu:					
Q > 2000m ³ /s	1	2	Prevodnost enega pretočnega polja je 1.600 m ³ /s. Dve pretočni polji = 3.200 m ³ /s. Tveganje je manjše, ker eno prelivno polje prevaja stoletno vodo.	1	Prevodnost pretočnih polj je 2.400 m ³ /s. Tveganje je večje, ker eno prelivno polje ne prevaja stoletne vode.
Q > 1000m ³ /s	2				
Q < 1000m ³ /s	3				
P4) Razmerje Q₁₀₀ - Q_{sr}:					
n > 200	1	3	Stoletna visoka voda = 1.583 m ³ /s Srednja visoka voda = 54,5 m ³ /s Razmerje n = 29,05	3	Stoletna visoka voda = 1.670 m ³ /s Srednja visoka voda = 65,2 m ³ /s Razmerje n = 25,61
n > 100	2				
n < 100	3				
P5) Razmerje Q_{porušitev} - Q₁₀₀:					
n > 2	1	1	Stoletna visoka voda = 1.583 m ³ /s Max. pretok pri poružitvi = 3.908 m ³ /s Razmerje n = 2,47	1	Stoletna visoka voda = 1.670 m ³ /s Max. pretok pri poružitvi = 7.063 m ³ /s Razmerje n = 4,23
n > 1	2				
n < 1	3				
Skupaj točke:		30		34	

Skupne točke ocenjevanja osnovnih parametrov pregrad so izračunane po enačbi (1) (Kryžanowski in sod., 2012):

$$\sum_1 = 2^{(4-P1)} + 2^{(4-P2)} + 2^{(4-P3)} + 2^{(4-P4)} + 2^{(4-P5)} \quad (1)$$

Posamezne oznake v enačbi (1) pomenijo sledeče stopnje vpliva: P1 je stopnja vpliva določena glede na višino pregrade, P2 je stopnja vpliva določena glede na prostornino zadrževanja, P3 je stopnja vpliva določena glede na pretok v pregradnem profilu, P4 je stopnja vpliva določena na podlagi razmerja $Q_{100} - Q_{SR}$, in P5 je stopnja vpliva določena na podlagi razmerja $Q_{PORUŠITEV} - Q_{100}$.

Preglednica 4: Ocenjevanje tveganja na podlagi stanja razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije

2) Stanje razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije:	Stopnja	HE Mavčiče	Komentar k oceni	HE Medvode	Komentar k oceni
P6) Projektna in izvedbena dokumentacija:					
nepopolna	1	3	Obstaja vsa dokumentacija v zvezi z gradnjo. Obstaja Projekt tehničnega opazovanja, geodetskih del, Projekt tehničnega opazovanja, nivo podtalnice – piezometri ter Poročilo o vzpostavitvi sistema tehničnega opazovanja in tehničnem opazovanju pregradnega objekta HE Mavčiče v času polnjenja akumulacije v letu 1986.	2	Dokumentacija za gradnjo razpršena. Obstaja Projekt tehničnega opazovanja za visoki jez HE Medvode ter Poročilo o vzpostavitvi sistema tehničnega opazovanja na HE Medvode.
pomanjkljiva ali razpršena	2				
popolna	3				
P7) Razpoložljivost obratovalne dokumentacije:					
nepopolna ali razpršena – ni dnevnikov obratovanja	1	3	Obratovalna navodila z opisom naprav HE Mavčiče ter Dnevnik obratovanja (knjiga obratovanja, dnevno obratovalno poročilo, računalniški izpisi obratovalnih stanj).	3	Obratovalna navodila za akumulacijski bazen HE Medvode ter Dnevnik obratovanja (knjiga obratovanja, dnevno obratovalno poročilo, računalniški izpisi obratovalnih stanj).
popolna in /ali razpršena – obstaja dnevnik obratovanja	2				
popolna z vso potrebno dokumentacijo o objektu	3				
P8) Obratovalni pravilnik:					
ne obstaja ali so podatki nepopolni	1	3	Obratovalna navodila z opisom naprav HE Mavčiče.	3	Obratovalna navodila za akumulacijski bazen HE Medvode.
obstaja, vendar ni ažuriran in potrjen	2				
potrjen in ažuriran	3				

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 4

P9) Projekt porušitve:					
ne obstaja	1	2	Predstavlja Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade Mavčiče, in Dopolnitev študije za izračun vala pri porušitvi pregrade HE Mavčiče ter izračun vala pri odprtju zapornice na HE Mavčiče 7. 3. 1993.	2	Predstavlja Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade Medvode. Ni ustrezen – potreben prilagoditve.
obstaja, vendar z nepopolnimi ali neažuriranimi podatki	2				
popoln in ažuriran projekt	3				
P10) Akcijski programi obveščanja in alarmiranja:					
program je nepopoln	1	2	Predstavlja Načrt zaščite in reševanja pregrade HE Mavčiče, ki pa ga je treba ažurirati skladno z novelacijo projekta porušitve.	2	Predstavlja Načrt zaščite in reševanja pregrade HE Medvode, ki ga je treba ažurirati skladno z novelacijo projekta porušitve.
program obstaja, vendar ni ažuriran	2				
ažuriran in potrjen program	3				
Skupaj točke:		14		16	

Skupne točke ocenjevanja stanja projektne in obratovalne dokumentacije so izračunane po enačbi (2) (Kryžanowski in sod., 2012):

$$\sum_2 = 2^{(4-P6)} + 2^{(4-P7)} + 2^{(4-P8)} + 2^{(4-P9)} + 2^{(4-P10)} \quad (2)$$

Posamezne oznake v enačbi (2) pomenijo sledeče: P6 je stopnja vpliva določena na podlagi projektne in izvedbene dokumentacije, P7 je stopnja vpliva določena na podlagi razpoložljivosti obratovalne dokumentacije, P8 je stopnja vpliva določena na podlagi obratovalnega pravilnika, P9 je stopnja vpliva določena na podlagi projekta porušitve, in P10 je stopnja vpliva določena glede na akcijske programe obveščanja in alarmiranja.

Preglednica 5: Ocenjevanje tveganja na podlagi obratovanja – parametrov vezanih na obratovalno varnost

3) Obratovanje – parametri vezani na obratovalno varnost:	Stopnja	HE Mavčiče	Komentar k oceni	HE Medvode	Komentar k oceni
P11) Akumulacija:					
akumulacija ne služi namenu – obratovanje je ovirano	1	3	Akumulacija polno služi svojemu namenu – za pridobivanje električne energije.	3	Akumulacija polno služi svojemu namenu – za pridobivanje električne energije.
akumulacija delno služi namenu – obratovanje je delno ovirano	2				
akumulacija polno služi namenu	3				

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 5

P12) Monitoring:					
monitoring ni predpisan s projektom ali obratoval. prav.	1	3	Monitoring je predpisan s Projektom tehničnega opazovanja, letnimi poročili o tehničnem opazovanju in letnimi poročili o seizmičnem opazovanju.	3	Monitoring je predpisan s Projektom tehničnega opazovanja, letnimi poročili o tehničnem opazovanju in letnimi poročili o seizmičnem opazovanju.
monitoring je predpisan – (pomanjkljivo ali zastarelo)	2				
monitoring je ustrezno predpisan	3				
P13) Monitoring (pregrada in akumulacija) – geotecnika:					
se ne izvaja oz. neredno ali je pomanjkljiv	1	3	Se izvaja po Projektu tehničnega opazovanja in letnih poročilih o tehničnem opazovanju.	3	Se izvaja po Projektu tehničnega opazovanja in letnih poročilih o tehničnem opazovanju.
delno se izvaja skladno po projektu	2				
izvaja se ustrezno	3				
P14) Monitoring – hidrologija:					
se ne izvaja ali je pomanjkljiv	1	3	Se izvaja po Projektu tehničnega opazovanja in letnih poročilih o tehničnem opazovanju. Količine se merijo ročno in avtomatsko.	3	Se izvaja po Projektu tehničnega opazovanja in letnih poročilih o tehničnem opazovanju. Količine se merijo ročno in avtomatsko.
se izvaja delno (na pregradi)	2				
se izvaja v celoti s spremljanjem količin	3				
P15) Monitoring stanja objektov:					
se ne izvaja	1	3	Se izvaja po Projektu tehničnega opazovanja in letnih poročil o tehničnem opazovanju.	3	Se izvaja po Projektu tehničnega opazovanja in letnih poročil o tehničnem opazovanju.
se izvaja delno s strani upravljavca	2				
se izvaja po programu	3				
P16) Analize in pokalkulacije rezultatov:					
se ne izvajajo	1	2	Komentarji rezultatov so vidni v letnih poročilih o tehničnem in seizmološkem opazovanju.	2	Komentarji rezultatov so vidni v letnih poročilih o tehničnem in seizmološkem opazovanju.
se izvajajo delno zgolj s komentarjem rezultatov	2				
se izvajajo v celoti s stalnim noveliranjem programov	3				
P17) Alarmiranje prebivalstva:					
sistem ni vzpostavljen	1	3	Obveščanje območnih centrov o izjemnih dogodkih ter sistem, ki bi neposredno obveščal prebivalstvo o nevarnosti (alarmiranje).	3	Obveščanje območnih centrov o izjemnih dogodkih ter sistem, ki bi neposredno obveščal prebivalstvo o nevarnosti (alarmiranje).
sistem je delno vzpostavljen (obveščanje ali alarmiranje)	2				
sistem je v celoti vzpostavljen in funkcionalen	3				
Skupaj točke:		16		16	

Skupne točke ocenjevanja obratovalnih parametrov so izračunane po enačbi (3) (Kryžanowski in sod., 2012):

$$\sum_3 = 2^{(4-P11)} + 2^{(4-P12)} + 2^{(4-P13)} + 2^{(4-P14)} + 2^{(4-P15)} + 2^{(4-P16)} + 2^{(4-P17)} \quad (3)$$

Posamezne oznake v enačbi (3) pomenijo sledeče: P11 je stopnja vpliva določena glede na stanje akumulacije, P12 je stopnja vpliva določena na podlagi monitoringa, P13 je stopnja vpliva določena na podlagi monitoringa – geotehnika, P14 je stopnja vpliva določena na podlagi monitoringa – hidrologija, P15 je stopnja vpliva določena glede na monitoring stanja objektov, P16 je stopnja vpliva določena na podlagi analiz in pokalkulacij rezultatov, in P17 je stopnja vpliva določena na podlagi alarmiranja prebivalstva.

Preglednica 6: Ocenjevanje tveganja na podlagi parametrov tveganja kot posledica obratovanja

4) Parametri tveganja kot posledica obratovanja:	Stopnja	HE Mavčiče	Komentar k oceni	HE Medvode	Komentar k oceni
P18) Tveganje dolvodno:					
veliko žrtev	1	2	Možnost poplavljanja posameznih hiš ob strugi ter možnost porušitve počitniških hišic – možnost žrtev.	1	V prvem področju po nevarnosti bi poplavni val nastopil zelo naglo po porušitvi, zato prebivalstvo pod samo pregrado praktično ne bi bilo možno opozoriti naj se evakuira.
malo žrtev – možna evakuacija	2				
nič žrtev	3				
P19) Tveganje za infrastrukturo:					
prekinitev infrastrukturnih povezav	1	1	V projektu porušitve je navedena možnost porušitve mostu v Smledniku.	1	V projektu sicer ni navedeno, da bi se prekinila kakršnakoli infrastrukturna povezava (verjetno zaradi starosti projekta). Menim pa, da bi val, ki bi nastal zaradi porušitve, poplavlil, če ne celo porušil most dolvodno v bližini pregrade, ki povezuje Medvode in vas Pirniče.
delno prelitje infrastrukture	2				
manjše ali nič škode	3				
P20) Tveganje za območja poselitev in industrije:					
porušitev objektov	1	1	V projektu porušitve je navedeno, da obstaja možnost, da pride do porušitve počitniških hišk na levem bregu. Ogroženo je tudi rekreacijsko območje nad Zbiljami.	1	Obstaja možnost, da bi poplavni val nekatere hiše na prvem območju nevarnosti porušil, zagotovo pa bi jih poplavlil.
preplavitev – možna sanacija	2				
občasno poplavljanje	3				
P21) Vzdrževanje pregrad:					
neredno vzdrževanje	1	2	Vzdrževanje poteka po potrebi na osnovi letnih poročil o tehničnem opazovanju.	2	Vzdrževanje poteka po potrebi na osnovi letnih poročil o tehničnem opazovanju.
občasno (letno) vzdrževanje	2				
redno (mesečno) vzdrževanje	3				
P22) Sistem nadzora:					
pregrada ni nadzorovana	1	3	Pregrada je daljinsko nadzorovana iz centra vodenja v Medvodah.	3	Pregrada je daljinsko nadzorovana iz centra vodenja v Medvodah.
pregrada je nadzorovana z lokalnim sistemom	2				
pregrada je daljinsko nadzorovana	3				

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 6

P23) Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi:					
objekti niso ustrezno zasnovani ali so poddimenzionirani	1	3	Prelivna polja sta polno funkcionalna in lahko prevajata vsak posebej stoletno vodo.	1	Prelivna polja sta polno funkcionalna in lahko skupaj prevajata stoletno vodo. Povečano tveganje pa ostaja zaradi tehničnih omejitev pri dvigu zapornic, kjer je hitrost dviga bistveno manjša od zapornic na HE Mavčiče, kar se je izkazalo tudi pri havariji v letu 1993.
objekti pogojno zagotavljajo obratovalno varnost	2				
zasnova objektov je skladna s pravili stroke	3				
P24) Lastništvo in upravljanje objektov:					
ni jasnega lastništva, ne upravljavca	1	3	Je v upravljanju Savskih elektrarn Ljubljana (SEL).	3	Je v upravljanju Savskih elektrarn Ljubljana (SEL).
upravljanje objektov je deloma urejeno	2				
upravljanje objektov je urejeno	3				
P25) Dostopnost objekta:					
pregrada in objekti niso zavarovani	1	3	Objekt je zavarovan z varnostno ograjo in videonadzorom.	3	Objekt je zavarovan z varnostno ograjo in videonadzorom.
dostop do pregrade je možen, oprema je zavarovana	2				
dostop do pregrade in objektov je omejen in nadzorovan	3				
Skupaj točke:		32		42	

Skupne točke ocenjevanja obratovalnih parametrov so izračunane po enačbi (4) (Kryžanowski in sod., 2012):

$$\sum_4 = 2^{(4-P18)} + 2^{(4-P19)} + 2^{(4-P20)} + 2^{(4-P21)} + 2^{(4-P22)} + 2^{(4-P23)} + 2^{(4-P24)} + 2^{(4-P25)} \quad (4)$$

Posamezne oznake v enačbi (4) pomenijo sledeče: P18 je stopnja vpliva določena na podlagi tveganja dolvodno, P19 je stopnja vpliva določena na podlagi tveganja za infrastrukturo, P20 je stopnja vpliva določena glede na tveganje za območje poselitve in industrije, P21 je stopnja vpliva določena glede na vzdrževanje pregrade, P22 je stopnja vpliva na podlagi sistema nadzora, P23 je stopnja vpliva glede na projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi, P24 je stopnja vpliva določena na podlagi urejenosti lastništva in upravljanja objektov, in P25 je stopnja vpliva določena glede na dostopnost objekta.

Preglednica 7: Ocenjevanje tveganja na podlagi stanja objektov in opreme

5) Stanje objektov in opreme:	Stopnja	HE Mavčiče	Komentar k oceni	HE Medvode	Komentar k oceni
P26) Stanje pregrad:					
na pregradi so jasno vidni degradacijski procesi večjega obsega	1	2	V času ogleda same pregrade je potekal potapljaški ogled priključene težnostne zemeljske pregrade zaradi manjšega prepuščanja vode.	3	Pregrada je enaka projektne stanju, trenutno ne potekajo nobena vzdrževalna dela.
mestoma se pojavljajo degradacijski procesi	2				
pregrada je enaka projektne stanju	3				
P27) Stanje vplivnega območja pregrade:					
stalna prisotnost degradacijskih procesov	1	2	Občasna prisotnost degradacijskih procesov na brežinah akumulacije.	2	Občasna prisotnost degradacijskih procesov na brežinah akumulacije.
občasna prisotnost degradacijskih procesov	2				
ni značilnih vplivov	3				
P28) Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem:					
preliv ni v funkciji – sanacija je nujna	1	3	Ocenjeno s pomočjo letnega poročila o tehničnem opazovanju – potapljaški ogled.	3	Ocenjeno s pomočjo letnega poročila o tehničnem opazovanju – potapljaški ogled.
preliv je v funkciji – potreben sanacije	2				
preliv je polno funkcionalen	3				
P29) Stanje struge dolvodno:					
priključek evakuacijskih objektov ni funkcionalen	1	3	Evakuacija voda poteka skozi turbine, ob visokih vodah pa še preko prelivnih polj. Voda je dolvodno stalno prisotna zaradi akumulacije nižje ležeče HE Medvode.	3	Evakuacija voda poteka skozi turbine, ob visokih vodah pa še preko prelivnih polj. Zagotovljen je tudi biološki minimum – stalen pretok vode.
izvedba je funkcionalna – potrebni sanacijski ukrepi	2				
evakuacija voda dolvodno poteka nemoteno	3				
P30) Stanje mehanske opreme:					
večina opreme ni v funkciji	1	3	Ocenjeno s pomočjo terenskega ogleda in pregleda obratovalne dokumentacije.	3	Ocenjeno s pomočjo terenskega ogleda in pregleda obratovalne dokumentacije.
oprema je delno v funkciji	2				
vsa oprema je funkcionalna	3				
P31) Stanje električne opreme:					
večina opreme ni v funkciji	1	3	Ocenjeno s pomočjo terenskega ogleda in pregleda obratovalne dokumentacije.	3	Ocenjeno s pomočjo terenskega ogleda in pregleda obratovalne dokumentacije.
oprema je delno v funkciji	2				
vsa oprema je funkcionalna	3				
Skupaj točke:		16		14	

Skupne točke ocenjevanja obratovalnih parametrov so izračunane po enačbi (5) (Kryžanowski in sod., 2012):

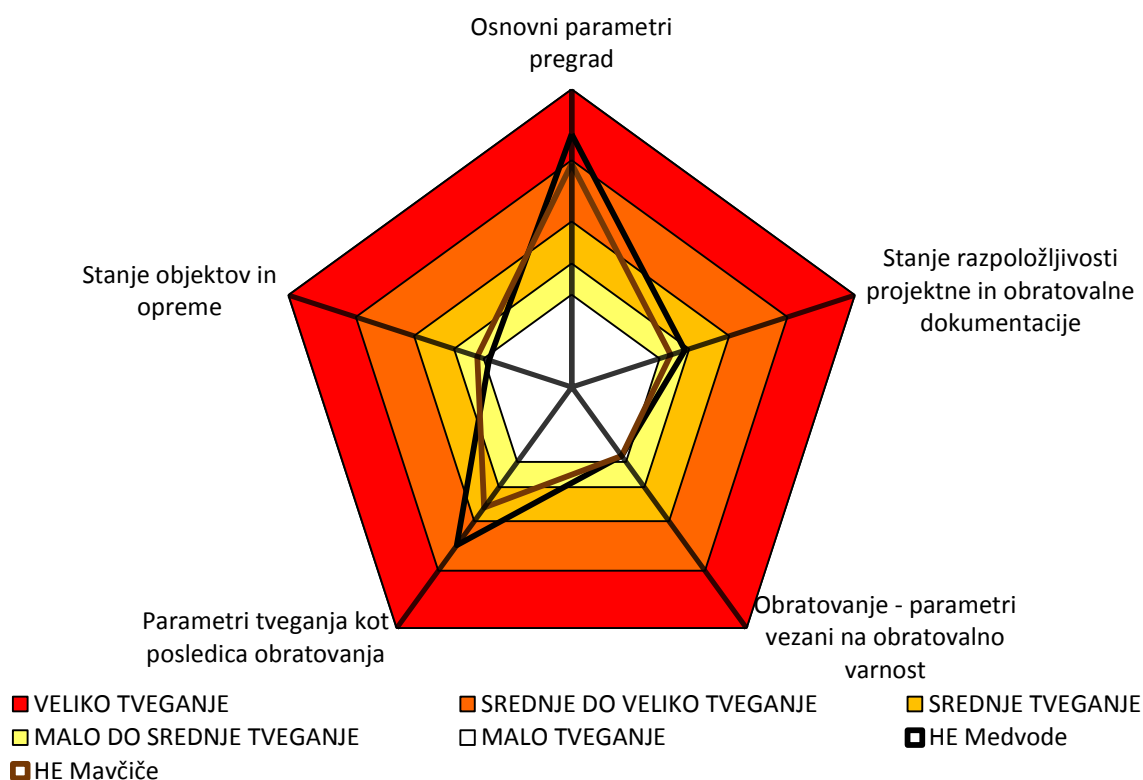
$$\sum_5 = 2^{(4-P26)} + 2^{(4-P27)} + 2^{(4-P28)} + 2^{(4-P29)} + 2^{(4-P30)} + 2^{(4-P31)} \quad (5)$$

Posamezne oznake v enačbi (5) pomenijo sledeče: P26 je stopnja vpliva določena na podlagi stanja pregrade, P27 je stopnja vpliva določena glede na stanje vplivnega območja pregrade, P28 je stopnja vpliva določena glede na stanje prelivnih objektov vključno s podslapjem, P29 je stopnja vpliva določena glede na stanje struge dolvodno, P30 je stopnja vpliva določena glede na stanje mehanske opreme, in P31 je stopnja vpliva določena glede na stanje električne opreme.

Preglednica 8: Končna ocena tveganja na podlagi ocen posameznih razredov

Razredi tveganja:	Osnovni parametri pregrad	Stanje razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije	Obratovanje – parametri vezani na obratovalno varnost	Parametri tveganja kot posledica obratovanja	Stanje objektov in opreme	Interval razreda tveganja
Malo	10 – 13	10 – 13	14 – 17	16 – 20	12 – 15	62 – 77
Malo do srednje	14 – 18	14 – 18	18 – 23	21 – 26	16 – 20	78 – 103
Srednje	19 – 24	19 – 24	24 – 31	27 – 36	21 – 27	104 – 138
Srednje do veliko	25 – 31	25 – 31	32 – 42	37 – 49	28 – 37	139 – 189
Veliko	32 – 40	32 – 40	43 – 56	50 – 64	38 – 48	190 – 248
Pregrada:						Končna ocena
HE Mavčiče	30	14	16	32	16	108
						Srednje tveganje
HE Medvode	34	16	16	42	14	122
						Srednje tveganje
Skupaj	32	15	16	37	15	115
						Srednje tveganje

7.3 Analiza rezultatov ocene tveganja



Slika 15: Graf rezultatov ocen tveganja pregrad HE Mavčiče in HE Medvode

Iz preglednice 8 in grafa na sliki 15 je razvidno, da imajo največji vpliv na končno oceno tveganja sistema pregrad Mavčiče-Medvode osnovni parametri pregrad (veliko tveganje) in parametri tveganja kot posledica obratovanja (srednje do veliko tveganje). Manjši vpliv na končno oceno pa imajo stanje razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije (malo do srednje tveganje), parametri vezani na obratovalno varnost (malo tveganje) ter stanje objektov in opreme (malo tveganje).

7.3.1 Osnovni parametri pregrad

V tej kategoriji so se ocenjevali parametri, s katerimi po nomenklaturi ICOLD delimo vodne objekte na jezove (nizke pregrade) ter (velike) pregrade (Kryžanowski in sod., 2012). Iz grafa na sliki 15 je razvidno, da osnovni parametri predstavljajo veliko tveganje, kar je tudi pričakovano, saj obe pregradi po delitvi pregrad spadata pod zahtevne objekte oziroma pod velike pregrade, katere v prostoru predstavljajo večjo nevarnost ob morebitni porušitvi kot manjše pregrade. Čeprav je to najvišja ocena tveganja posamezne kategorije, nanjo ne moremo vplivati, saj je odvisna le od osnovnih tehničnih parametrov pregrad, ki pa so v času

obratovanja pregrade težko spremenljivi in za njihovo spremembo zahtevajo velika finančna sredstva.

7.3.2 Stanje razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije

Iz grafa na sliki 15 vidimo, da stanje razpoložljivosti projektne in obratovalne dokumentacije obeh pregrad predstavlja malo do srednje tveganje. V zvezi z gradnjo in obratovanjem za pregrado HE Mavčiče obstaja vsa potrebna dokumentacija, za pregrado HE Medvode pa je dokumentacija za gradnjo razpršena, kar poslabša oceno oziroma poveča tveganje. Vendar pa iz ocene vidimo, da je sicer vsa potrebna dokumentacija za obratovanje razpoložljiva, potrebno pa bi bilo ažurirati projekt porušitve z analizo vplivov širjenja poplavnih valov dolvodno ter hkrati dopolniti in prilagoditi sistem obveščanja in alarmiranja v primeru nastopa ekstremnih dogodkov. Na ta način tudi najbolj učinkovito povečamo samo varnost sistema oziroma zmanjšujemo končno oceno tveganja, ki ga celotni sistem pregrad Mavčiče-Medvode predstavlja za okolico.

7.3.3 Obratovanje – parametri vezani na obratovalno varnost

V tej kategoriji so bili ocenjevani parametri, ki izhajajo iz spremljanja obratovalnih karakteristik, stanja objektov, sanacijskih in interventnih ukrepov ter alarmiranja prebivalstva v primeru nezgode (Kryžanowski in sod., 2012). Iz grafa na sliki 15 je razvidno, da je tveganje te kategorije malo, kar je tudi pričakovano glede na celovitost potrebne dokumentacije.

Obratovanje sistema pregrad ni ovirano, saj obe akumulaciji služita za pridobivanje električne energije. Akumulaciji se uporabljata tudi za druge namene, npr. rekreacijo in ribolov, vendar pa ti nameni niso v navzkrižju z dejansko rabo, zato ostaja samo tveganje zaradi namembnosti akumulacije malo.

Monitoring oziroma tehnično in seizmično opazovanje sta pri obeh pregradah ustrezno predpisana, kar je razvidno iz same dokumentacije (poglavja 6.1 in 6.2). Prav tako se monitoring izpolnjuje in tehnološko posodablja. Redno spremljanje in opazovanje obeh pregrad daje celoten vpogled v stanje pregrad, kar posledično omogoča tudi osnovo za vzdrževanje objektov in akumulacije ter s tem povečuje obratovalno varnost celotnega sistema.

Geotehnično in hidrološko opazovanje pregrade in akumulacije se izvajata pri obeh pregradah na podlagi projekta tehničnega opazovanja. Temu primerna je tudi popolnost stanja obeh opazovanj, kar je razvidno iz pregleda dokumentacije (poglavje 6.1).

Pri opazovanju stanja objektov se izvaja pregled kvalitete betonov pregradnega objekta ter pregled razpok in poškodb na objektu, kjer se vodi tudi posebna evidenca (Kataster razpok in poškodb). Izvajajo se tudi potapljaški pregledi, kjer se pregledujejo vzvodni krilni zidovi in podslapje prelivnih polj. Opazovanje se izvaja na podlagi projekta tehničnega opazovanja.

Analize in pokalkulacije rezultatov se izvajajo delno zgolj s komentarjem rezultatov, kar povečuje tveganje.

Sistem alarmiranja prebivalstva je v celoti vzpostavljen in funkcionalen na podlagi projekta Načrta zaščite in reševanja (poglavje 6.5). Sistem omogoča obveščanje območnih centrov in neposredno obveščanje prebivalstva na ogroženih območjih ob morebitni prihajajoči nevarnosti (poplavni val).

Malo tveganje te kategorije nam pove, da imajo SEL do popolnosti urejeno opazovanje in alarmiranje, urediti oziroma nadgraditi morajo samo analizo in pokalkulacijo rezultatov opazovanja. Kryžanowski in sod. (2012) so pri analizi tveganja pregrad v sklopu projekta VODPREG priporočili izdelavo programa analize in interpretacije rezultatov meritev, katerega cilj bi bil stalno spremljanje stopnje tveganja, ki ga objekt predstavlja v prostoru.

7.3.4 Parametri tveganja kot posledica obratovanja

Parametri tveganja kot posledica obratovanja predstavljajo takoj za kategorijo osnovnih parametrov največjo stopnjo tveganja (srednje do veliko tveganje), kar je razvidno iz grafa na sliki 15. Torej iz stališča končne ocene tveganja predstavljajo zelo pomembno kategorijo.

Največjo stopnjo tveganja v tej kategoriji predstavljajo parametri, kateri so povezani s posledicami porušitve pregrad. Za obe pregradi obstaja analiza porušitve pregrad, v kateri so opredeljene vse možne situacije, ki najbolj ogrožajo prebivalstvo in infrastrukturo. Obe pregradi v tem segmentu predstavljata veliko tveganje, saj bi bile posledice njihovih porušitev veliko število žrtev, porušitev okoljskih objektov in prekinitev infrastrukturnih povezav. Omeniti je potrebno tudi, da sta HE Mavčiče in HE Medvode pregradi v nizu. Torej bi bil ob morebitni porušitvi pregrade HE Mavčiče ogrožen tudi celotni del akumulacije Medvode. Ker se akumulacija Medvode (Zbiljsko jezero) ne uporablja samo za namen pridobivanja električne energije, temveč tudi za namene turizma in ribolova, se še izdatno poveča tveganje. Na podlagi tega bi bilo potrebno rabo Zbiljskega jezera za druge namene omejiti, in to v taki meri, da bi bilo tveganje čim manjše.

Dodatno povečano tveganje predstavlja tudi hidromehanska opremljenost pregrad. Zaradi manjše obratovalne hitrosti pri manevriranju zapornic na pregradi HE Medvode je v izjemnih obratovalnih manevrih zaradi gorvodne pregrade HE Mavčiče potrebno izvesti predhodni

dvig zapornic, kar lahko vpliva na poplavne razmere nizvodno. To se je pokazalo leta 1993 ob havarii zapornice na pregradi HE Mavčiče, zaradi česar je obstajala velika nevarnost preplavitve strojnice HE Medvode, ki je bila preprečena samo zaradi prisebnosti dežurnega operaterja. Pomanjkljivost na HE Mavčiče, ki je botrovala dogodku, je bila sicer odpravljena, stanje opreme pa je še vedno tako, da ne omogoča sinhronega odpiranja zapornic na obeh pregradah.

Lastništvo in upravljanje obeh pregrad sta urejena – pregradi sta v lastništvu in upravljanju Savskih elektrarn Ljubljana. Ker sta le-ta urejena, je posledično urejeno tudi vzdrževanje. Vzdrževanje je eden izmed ključnih elementov zagotavljanja varnega obratovanja, zato bi se morale pregrade vzdrževati preventivno in ne v namen odpravljanja poškodb. Vzdrževanje pregrad HE Mavčiče in HE Medvode poteka občasno oziroma po potrebi na osnovi letnih poročil o tehničnem opazovanju, kar pa poslabša oceno tveganja, saj neredno vzdrževanje lahko povzroči povečanje poškodb na sami pregradi in s tem povezane stroške.

Dostop do pregrad in objektov je omejen in nadzorovan. Objekta sta nadzorovana z ograjo in videonadzorom, kar omejuje morebitno sabotažo ali kakršnokoli drugo neprimerno uporabo, s čimer je povečana obratovalna varnost.

V tej kategoriji je oceno tveganja možno izboljšati na podlagi preventivnega vzdrževanja ter z omejevanjem gradnje hiš in industrije na poplavnih območjih.

7.3.5 Stanje objektov in opreme

Iz slike 15 ter iz preglednice 8 je razvidno, da pregrada HE Mavčiče predstavlja malo do srednje tveganje, pregrada HE Medvode pa malo tveganje. HE Mavčiče predstavlja večje tveganje zaradi trenutnega stanja, saj priključena težnostna zemeljska pregrada na dveh delih prepušča majhen delež vode. V času terenskega ogleda je že potekal potapljaški ogled, katerega ugotovitev je bila, da je razlog prepuščanja vode slaba zasnova opažnega sistema med gradnjo. Iz tega lahko sklepamo, da tudi slaba zasnova gradnje pregrade lahko vpliva na povečanje tveganja.

Tveganje pri obeh pregradah poveča tudi prisotnost degradacijskih procesov v vplivnem območju. Iz analize lahko vidimo, da je zmanjšanje stopnje tveganja te kategorije lahko doseženo v veliki meri predvsem z rednim vzdrževanjem objektov in vplivnega območja.

7.3.6 Skupna ocena tveganja

Na podlagi vseh ocenjevanih kategorij je bila določena končna skupna ocena stopnje tveganja. Obe obravnavani pregradi se uvrščata v razred srednjega tveganja, kar pomeni, da

tudi kot celotni sistem spadata v razred srednjega tveganja. To je razvidno iz preglednice 8. Čeprav je tehnično opazovanje ter vzdrževanje objektov in akumulacije urejeno, pa je slabša ocena posledica: velikosti samega sistema in z njo povezana velikost osnovnih parametrov pregrade, tveganja pri obratovanju in vpliva pregrad na okolico ob morebitni porušitvi ter verižnega obratovanja pregrad kot sistem.

8 SKLEP

Zagotavljanje varnosti pregrad in varstva brežin akumulacije je ena izmed ključnih nalog pregradnega inženirstva. Vsaka pregrada predstavlja potencialno nevarnost za bližnje okolje, v katerem je prisotna. Zato je poznavanje tveganja, ki ga pregrada predstavlja za prostor, izrednega pomena. S pomočjo prepoznavanja nevarnosti pa lahko sprejmemo ukrepe, s katerimi zmanjšujemo tveganje za nastanek poškodb oziroma povečujemo varnost pregrade (Humar, 2008).

V okviru diplomske naloge smo analizirali varnost sistema pregrad Mavčiče-Medvode. Pri tem smo prišli do naslednjih ugotovitev in zaključkov:

- Na podlagi pregleda dokumentacije in ocene tveganja je zagotavljanje varnosti sistema pregrad HE Mavčiče in HE Medvode zadovoljivo oziroma v primerjavi s slovenskim povprečjem pregrad celo nadpovprečno.
- Največje tveganje predstavljajo osnovni tehnični parametri pregrad, saj obe pregradi spadata med zahtevne objekte oziroma med velike pregrade. Na parametre težje vplivamo, saj so v času obratovanja pregrad le-ti težje spremenljivi in so za njihovo spremembo potrebna velika finančna sredstva (vložki).
- Stanje razpoložljivosti obratovalne dokumentacije je urejeno. Zagotovljeno je tudi redno spremljanje, opazovanje in vzdrževanje obeh pregrad, zaradi česar je poznavanje stanja samih pregrad boljše, posledično pa se s tem povečuje varnost oziroma zmanjšuje tveganje za odpoved objekta ali celotnega sistema med samim obratovanjem.
- Oba objekta spadata v kategorijo pregrad srednjega tveganja, kar je posledica velikosti samega sistema, tveganja pri obratovanju, vpliva pregrad na okolico ob morebitni porušitvi in tveganja, ki ga predstavlja verižno obratovanje pregrad.
- Za obe pregradi je vzpostavljeno tudi alarmiranje in opozarjanje prebivalstva ob morebitnem nastopu izjemnega dogodka, s čimer je mogoče zmanjšati škodo in omejiti posledice.

Končni rezultati analize so pričakovani, saj je področje zagotavljanja varnosti na področju energetike relativno urejeno. V preteklosti je bil vzpostavljen sistem notranjih pravil in standardov, s katerim je bolj natančno opredeljena izvedba, obseg in pogostost aktivnosti, kar zagotavlja zadovoljivo varnost pregrad (Humar, 2008).

VIRI

Humar, N., Kryžanowski, A. 2012. Zadrževalniki v Sloveniji. V: Brilly, M. (ur.). Zbornik prispevkov / I. kongres o vodah Slovenije 2012, Ljubljana, Slovenija, 22. marec 2012. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 247–289.
http://ksh.fgg.uni-lj.si/kongresvoda/03_prispevki/02_strokovni/26_Humar_Kryzanowski.pdf

(Pridobljeno 24. 4. 2015.)

Humar, N., Žvanut, P., Detela, I., Širca, A., Polič, M., Ravnikar-Turk, M., Kryžanowski, A. 2013. Vodpreg – stanje slovenskih vodnogospodarskih pregrad. Ujma 27: 208–221.
<http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2013/208.pdf> (Pridobljeno 24. 4. 2015.)

G.P. 2013. Kako varne so vodne pregrade v Sloveniji. Delo (21. feb. 2013), 55, 43: 17.
<http://www.delo.si/druzba/znanost/kako-varne-so-vodne-pregrade-v-sloveniji.html/>

(Pridobljeno 25. 4. 2015.)

Humar, N., Kryžanowski, A. 2010. Problematika zagotavljanja varnosti velikih pregrad v Sloveniji. V: Lopatič, J. (ur.), Markelj, V. (ur.), Saje, F. (ur.). 32. Zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, Slovenija, hotel Golf, 7-8 oktober 2010. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev: str. 175–182.

ICOLD. 2011. Dam Safety Management: Operational Phase of the Dam Life Cycle. Bulletin 154: 7–13.

Zadnik, B. 2012. Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 48 str.

ICOLD. 1987. Dam Safety Guidelines. Bulletin 59: 13–25.

Širca, A., Četina, M. 2010. Porušitve pregrad. Slovenski vodar 21-22: 18–26.

Uredba o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje. Uradni list RS št. 18/2013: 1–3.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED6200> (Pridobljeno 15. 5. 2015.)

Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade. Uradni list RS št. 92/1999: 20.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV2172> (Pridobljeno 15. 5. 2015.)

Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov. Uradni list SFRJ št. 7/1966: 128–129.
http://www.e-konstrukcije.si/user_files/vsebina/Zakonodaja/SFRJ_66_7_81.pdf (Pridobljeno 20. 5. 2015.)

- Ravnikar Turk, M., Žvanut, P., Širca, A., Humar, N. 2012. Varnost pregradnih objektov. V: Brilly, M. (ur.). Zbornik prispevkov / I. kongres o vodah Slovenije 2012, Ljubljana, Slovenija, 22. marec 2012. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 23–32.
http://ksh.fgg.uni-lj.si/kongresvoda/03_prispevki/01_vabljeniZnanstStrok/02_RavnikarTurk.pdf (Pridobljeno 27. 5. 2015.)
- Četina, M. 1995. Hidravlični izračuni valov vsled porušitve pregrad. V: Krupenko, A. (ur.) in Zadnik, B. (ur.). 2. Posvetovanje: Slovenski nacionalni komite za velike pregrade – SLOCOLD, Ljubljana, Slovenija, april 1995. Ljubljana, SLOCOLD: 10.
- 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: 22–52.
http://www.sos112.si/slo/tdocs/naloga_97.pdf (Pridobljeno 20. 5. 2015.)
- Navodilo o pripravi ocen ogroženosti. Uradni list RS št. 39/1995: 3 str.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=NAVO242> (Pridobljeno 27. 5. 2015)
- Uredba o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja. Uradni list RS št. 24/2012: 12 str.
<https://www.uradni-list.si/1/content?id=107977> (Pridobljeno 20. 5. 2015.)
- Uredba o organizaciji in delovanju sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja. Uradni list RS št. 105/2007: 13 str.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4341> (Pridobljeno 1. 7. 2015.)
- Savske elektrarne Ljubljana. 2015a.
<http://www.sel.si/HE-mavcice> (Pridobljeno 3. 7. 2015.)
- Savske elektrarne Ljubljana. 2015b.
<http://www.sel.si/HE-medvode> (Pridobljeno 3. 7. 2015.)
- Humar, N. 2008. Skrb za varnost pregrad v Sloveniji in možnosti za zmanjševanje 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 23. 6. 2015.)
- Zavod za gradbeništvo Slovenije. 2014a. Poročilo o tehničnem opazovanju pregradnega objekta HE Mavčiče v letu 2013. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 61 f.

Zavod za gradbeništvo Slovenije. 2014b. Poročilo o tehničnem opazovanju pregradnega objekta HE Medvode v letu 2013. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 47 f.

Sinčič, P., Vidrih, R., Godec, M. 2010. Opazovanje seizmičnosti na območju velikih pregrad. V: Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko (ur.), Kuhar, M. (ur.), Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Ljubljana) (ur.). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2009: zbornik predavanj / 15. Strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, Slovenija, 21. Januar 2010. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 53–69.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2010/SZGG2010_Sincic_Vidrih_Godec.pdf (Pridobljeno 3. 6. 2015.)

Mikro Medica Radenci. 2014a. Poročilo o seizmičnem opazovanju za leto 2013: Pregrada: HE Mavčiče. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 42 f.

Mikro Medica Radneci. 2014b. Poročilo o seizmičnem opazovanju za leto 2013: Pregrada HE Medvode. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana 43 f.

Rajar, R. 1973. Račun vala, ki bi nastal pri poružitvi pregrade Medvode. Študija. Ljubljana, Vodogradbeni laboratorij Ljubljana: 36 f.

Rajar, R., Zakrajšek, M. 1979. Račun vala, ki bi nastal pri poružitvi pregrade Mavčiče. Študija. Ljubljana, FAGG, VTO gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 17 f.

Rajar, R. 1993. Dopolnitev študije za izračun vala pri poružitvi pregrade HE Mavčiče ter izračun vala pri odprtju zapornice na HE Mavčiče 7. 3. 1993. Ljubljana, FAGG, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 24 f.

Savske elektrarne Ljubljana 2009a. Ocena ogroženosti za objekt HE Mavčiče. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 9 str.

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

Savske elektrarne Ljubljana. 2009c. Načrt zaščite in reševanja: pregrada HE Mavčiče. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana 12 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2009d. Načrt zaščite in reševanja: pregrada HE Medvode. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana 12 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2011. Postavitev elektronskih siren za alarmiranje HE Moste, HE Mavčiče, HE Medvode, HE Vrhovo. Ljubljana, ELEK Svetovanje: 46 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 1999. HE Mavčiče – Obratovalna navodila z opisom naprav. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 1–10.

Savske elektrarne Ljubljana. 2010. HE Medvode – Obratovalna navodila za akumulacijski bazen. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 1–8.

Ostali viri

ARSO. 2015.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno 20. 5. 2015.)

Savske elektrarne Ljubljana, 1994. Hidroelektrarne Moste, Mavčiče, Medvode, Vrhovo. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 7,9.

GEN Energija. 2015a.

<http://www.gen-energija.si/si/novinarsko-sredisce/fotografije/he-mavcice> (Pridobljeno 20. 5. 2015.)

GEN Energija. 2015b.

<http://www.gen-energija.si/si/novinarsko-sredisce/fotografije/he-medvode> (Pridobljeno 20. 5. 2015.)