

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:

Janežič, A., 2015. Analiza varnosti pregrade Vrhovo. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentorica Humar, N.): 41 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:

Janežič, A., 2015. Analiza varnosti pregrade Vrhovo. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Humar, N.): 41 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:

ALJOŠA JANEŽIČ

ANALIZA VARNOSTI PREGRADE VRHOVO

Diplomska naloga št.: 50/B-VOI

SAFETY ANALYSIS OF THE VRHOVO DAM

Graduation thesis No.: 50/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 Aljoša Janežič izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom
»Analiza varnosti pregrade Vrhovo«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2015

Aljoša Janežič

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI

UDK:	672.82(043.2)
Avtor:	Aljoša Janežič
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Somentor:	Nina Humar, uni. dipl. inž. grad.
Naslov:	Analiza varnosti pregrade Vrhovo
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	41 str., 33 preg., 18 sl.
Ključne besede:	Vrhovo, pregrada, varnost, analiza, tveganje, hidroelektrarna, Sava.

Izvleček:

Varnost velikih pregrad je zelo pomembna, saj njihova porušitev predstavlja ogromno tveganje na okolje, infrastrukturo, industrijo, naselja, ljudi in živali v njeni bližini. Moje diplomsko delo se osredotoča na analizo varnosti pregrade Vrhovo ter varnosti pregrad na splošno. Pri preučevanju pregrade Vrhovo sem se osredotočil zlasti na velik problem, ki ga predstavljajo prelivna polja, ki še vedno niso povsem sanirana, zato je prisotno vse večje poglobljanje tolmana neposredno pod pregrado. Ta zaenkrat še ne predstavlja nevarnosti, vendar bi bilo potrebno prelivna polja, zaradi nepredvidljivih dogodkov v prihodnosti, čimprej sanirati. V diplomskem delu je predstavljena tudi vsa zakonodaja, ki pokriva področje pregradnega inženirstva v Sloveniji. V delu so predstavljeni tudi problemi, ki bi jih bilo mogoče urediti s poenotenjem zakonodaje, ki je zaenkrat še razpršena na različnih področjih ali pa sploh ne obstaja. Če bi se zakonodaja poenotila, bi to prav gotovo pomagalo pri izboljšanju varnosti velikih pregrad v Sloveniji

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	672.82(043.2)
Author:	Aljoša Janežič
Supervisor:	Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, PhD.
Co-supervisor:	Nina Humar, B. Sc.
Title:	Safety Analysis of the Vrhovo Dam
Document Type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	41 p., 33 tab., 18 fig
Keywords:	Vrhovo, large dam, safety, analysis, risk, hydroelectric power plant, Sava

Abstract:

Safety of large dams is very important because their collapse represents a huge risk to the environment, infrastructure, industry, urban area, people and animals in the vicinity. My thesis focuses on safety analysis of large dam Vrhovo and safety of large dams in general. During examination of large dam Vrhovo I focused especially on the huge problem posed by spillways which are still not fully rebuilt. For this reason the depth of the pools is increasing directly beneath the dam. Currently it poses no threat but it would be necessary to rebuild spillways as soon as possible due to unforeseeable events in the future. Thesis also presents all legislation which covers area of dam engineering in Slovenia. Thesis describes problems that should be regulated by unifying legislation which is currently scattered in different areas or doesn't even exist. If legislation is unified it would certainly help improve the safety of large dams in Slovenia.

ZAHVALA

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

Zahvalil bi se tudi svoji družini in prijateljem, ki so me podpirali, vzpodbujali in mi pomagali v času dosedanjega študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Namen diplomske naloge.....	1
2	SPLOŠNO O PREGRADAH	2
2.1	Klasifikacija pregrad.....	2
3	VARNOST PREGRAD	4
3.1	Splošno o varnosti pregrad.....	4
3.2	Vzroki za poškodbe in porušitev pregrad.....	5
4	SLOVENSKA ZAKONODAJA NA PODROČJU PREGRADNEGA INŽENIRSTVA	6
4.1	Splošna zakonodaja.....	6
4.2	Podzakonski predpisi.....	7
5	SPLOŠNO O HIDROELEKTRARNAH	9
6	PREGRADA HE VRHOVO	10
6.1	Izgradnja hidroelektrarne Vrhovo.....	11
6.2	Terenski ogled na pregradi HE Vrhovo.....	12
7	VREDNOTENJE PREGRADE HE VRHOVO	18
7.1	Opis projekta VODPREG.....	18
7.2	Kriteriji ocenjevanja.....	18
8	OCENA TVEGANJA PREGRADE HE VRHOVO	21
8.1	Osnovni parametri pregrade Vrhovo.....	21
8.2	Stanje projektne in obratovalne dokumentacije.....	22
8.3	Obratovanje.....	25
8.4	Tveganja.....	28
8.5	Stanje objektov in opreme:.....	31
8.6	Končna ocena tveganja za pregrado HE Vrhovo.....	34
9	OCENA OGROŽENOSTI ENERGETSKE PREGRADE VRHOVO	35
9.1	Možni vzroki nastanka nesreče.....	35
9.2	Vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter posledice v primeru nesreč.....	35
9.3	Preprečevanje možnosti pojava nesreč.....	37
10	ZAKLJUČEK	38
VIRI		39

KAZALO TABEL:

Tabela 1: Višina pregrade.....	21
Tabela 2: Volumen zadrževanja	21
Tabela 3: Pretok v pregradnem profilu.....	21
Tabela 4: Razmerje $Q_{100} - Q_{sr}$	21
Tabela 5: Razmerje $Q_{porušitev} - Q_{100}$	21
Tabela 6: Projektna in izvedbena dokumentacija	22
Tabela 7: Razpoložljivost obratovalne dokumentacije.....	22
Tabela 8: Obratovalni pravilnik.....	22
Tabela 9: Projekt porušitve.....	23
Tabela 10: Akcijski programi obveščanja in alarmiranja	23
Tabela 11: Akumulacija	25
Tabela 12: Monitoring.....	25
Tabela 13: Monitoring (pregrada in akumulacija) - geotehnika.....	26
Tabela 14: Monitoring - hidrologija	26
Tabela 15: Analize in pokalkulacije rezultatov	26
Tabela 16: Monitoring stanja objektov.....	27
Tabela 17: Alarmiranje prebivalstva	27
Tabela 18: Tveganje dolvodno	28
Tabela 19: Tveganje za infrastrukturo.....	28
Tabela 20: Tveganje za območja poselitev in industrije	28
Tabela 21: Vzdrževanje pregrad.....	29
Tabela 22: Sistem nadzora.....	29
Tabela 23: Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi	29
Tabela 24: Lastništvo in upravljanje objektov	30
Tabela 25: Dostopnost objekta	30
Tabela 26: Stanje pregrad.....	31
Tabela 27: Stanje vplivnega območja pregrade.....	31
Tabela 28: Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem.....	31
Tabela 29: Stanje struge dolvodno	33
Tabela 30: Stanje mehanske opreme	33
Tabela 31 Stanje elektro opreme	33
Tabela 32: Končna ocena tveganja	34
Tabela 33: Vrste, oblike in stopnje ogroženosti na pregradi Vrhovo	36

KAZALO SLIK:

Slika 1: Hidroelektrarna Vrhovo.....	11
Slika 2: Prelivno polje ter nasajena zaklopka z zaježitveno višino 10,5 m.....	12
Slika 3: Prelivno polje s segmentno zapornico.	13
Slika 4: Strojnica hidroelektrarne Vrhovo.	13
Slika 5: Maketa strojnice HE Vrhovo s cevno turbino.	14
Slika 6: Prerez enega prelivnega polja s segmentno zapornico.	14
Slika 7: Prerez strojnice s cevno turbino.....	15
Slika 8: Prerez cevne turbine.	15
Slika 9: Ribje drstišče	16
Slika 10: Mala hidroelektrarna.....	16
Slika 11: Vsa prelivna polja na pregradi Vrhovo.....	17
Slika 12: Lokacija sirene.....	24
Slika 13: Potek obveščanja v primeru nastopa izrednih dogodkov ali večjih okvar	24
Slika 14: Razmere pri prevajanju visokih voda na pregradi Vrhovo	30
Slika 15: Vzдолžni in prečni prerez pretočnega polja z bočnimi (disipacijskimi) gredami.	32
Slika 16: Preizkus bočnih gred.....	32
Slika 17: Končna ocena tveganja.....	34
Slika 18: Lokacija senzorjev na HE Vrhovo.....	37

1 UVOD

Ljudje so zaradi potrebe po vodooskrbi in namakanju že od nekdaj gradili pregrade, jezove in zadrževalnike. Z razvojem civilizacije in naraščanjem prebivalstva pa so prav tako naraščale potrebe po pitni vodi in vodi za namakanje. S časom so se razvili tudi ostali razlogi za gradnjo zadrževalnikov, kot so proizvodnja električne energije, industrija, redčenje odpadnih voda, plovba, ribogojništvo, rekreacija in zagotavljanje kvalitete vode. Zaradi vse večje potrebe po vodi in električni energiji so pregrade postale zelo pomembne pri upravljanju z vodnimi viri.

Pregrade in zadrževalniki nam omogočajo veliko koristi, zavedati pa se moramo, da predstavljajo tudi možno grožnjo pri poružitvi pregrade ali havariji opreme, tako za okolje, kot za prebivalstvo v njihovem vplivnem območju. Vse več pregrad se gradi v poseljenih območjih, zato je potrebna še veliko večja skrb za varnost.

Za pisanje te diplomske naloge sem se odločil, ker me zanima področje pregrad, njihov vpliv na okolje ter njihov prispevek h boljšemu življenju.

1.1 Namen diplomske naloge

Razvojno-raziskovalni program VODPREG je že izvedel opis in ocene stanja pregrad, vendar samo za pregrade, katerih primarna raba ni pridobivanje električne energije. Pri opisu stanja so bili upoštevani vsi razpoložljivi geološki, geomehanski, hidrološki, meteorološki, hidravlični in tehnični podatki, pregledan je bil aktualen sistem monitoringa in seznam razpoložljive dokumentacije. Ker pa je pregrada HE Vrhovo namenjena energetske izrabi, ni bila vključena v nabor objektov, ki so bili obravnavani v sklopu raziskovalno-razvojnega projekta VODPREG (Kryžanowski s sod., 2013).

Namen moje diplomske naloge je torej pregled stanja omenjenega objekta in razpoložljive dokumentacije, nato pa na podlagi metode, uporabljene za analizo pregrad obravnavanih v sklopu projekta VODPREG, izdelati analizo in oceniti varnost pregrade HE Vrhovo na reki Savi. Analiza varnosti je bila izdelana na osnovi pregleda obstoječe obratovalne dokumentacije, terenskega ogleda objektov in opreme ter izdelave ocene tveganja na osnovi metodologije projekta VODPREG.

2 SPLOŠNO O PREGRADAH

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 ločitve neke snovi od ostalega prostora (Kryžanowski).

2.1 Klasifikacija pregrad

Zaradi nevarnosti, ki jih lahko predstavljajo pregrade, jih delimo po velikosti na velike in male pregrade – jezove. Glavna oblikovna parametra, upoštevana pri tej delitvi sta višina in volumen akumulacije, pri čemer imajo kot višino v mislih višino pregrade od temeljev do krone pregrade. Po kriterijih mednarodnega komiteja za velike pregrade ICOLD (International commission on large dams) je definirano, da med velike pregrade spadajo (Humar in sodelavci, 2012):

- objekti, katerih gradbena višina presega 15m oziroma,
- objekti, katerih gradbena višina presega 5m in prostornina zadrževalnika presega $3hm^3$.

V Sloveniji obstajata dve uradni klasifikaciji za pregrade.

Prva klasifikacija je določena v Uredbi o vrstah objektov glede na zahtevnost (Ur. list RS št. 37/2008) z dopolnitvami na katero se sklicuje (v nadaljevanju Uredba) Zakon o graditvi objektov (ZGO-1), ki velike pregrade razvršča med zahtevne inženirske objekte. Za vse ostale pregrade, ki ne izpolnjujejo pogojev za velike pregrade, pa veljajo milejši pogoji pri prostorskem umeščanju in obratovanju.

Drugo klasifikacijo podaja pravilnik, ki izhaja še iz časov pred osamosvojitvijo in sicer Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov (Ur. list SFRJ, št. 7/1966), ki sicer ni več v veljavi, se pa še vedno smiselno uporablja. Ta predpis, podobno kot Uredba, razvršča pregrade na velike in nizke pregrade in povzema staro ICOLD-ovo klasifikacijo za velike pregrade, pri katerih:

- gradbena višina presega 15m,
- gradbena višina je med 10 in 15 metri, vendar je obenem izpolnjen en izmed pogojev:
 - krona daljša od 500m,
 - prostornina zajezone vode presega 100000 kubičnih metrov,
 - maksimalni pretok vode čez pregrado presega 2000 kubičnih metrov na sekundo.

Pogosto se srečujemo tudi z drugimi delitvami, ki sicer niso uzakonjene, izpostavljajo pa različne karakteristike teh objektov. Tako pregrade razvrščajo glede na tveganje, srečamo pa tudi delitve glede na način izvedbe, glede na način prenosa obtežbe, glede na razvrstitev po polnitvi ipd.

V zadnjih desetletjih se v svetu vse bolj uveljavlja delitev glede na tveganje, ki ga predstavlja pregrada za okolico. Pri razvrstitvi upoštevamo število žrtev in ekonomsko škodo, ki bi jih porušitev pregrade lahko povzročila. Najpogosteje taka delitev pregrade razvršča na tri razrede (Humar 2008):

- pregrade velikega tveganja - njihova porušitev bi lahko povzročila veliko škodo na infrastrukturi ter terjala človeška življenja,
- pregrade srednjega tveganja - porušitev bi povzročila znatno škodo na infrastrukturi in ogrozila človeška življenja, a je časa za evakuacijo dovolj,
- pregrade majhnega tveganja - porušitev ne ogroža življenj in poškodb infrastrukture.

Glede na način izvedbe ločimo (Kryžanowski):

- nasute pregrade:
 - zemeljske pregrade,
 - skalometne pregrade,
- betonske (zidane) pregrade:
 - masivne in olajšane težnostne pregrade,
 - stebrske težnostne pregrade,
 - ločne pregrade,
- jalovinske pregrade.

Glede na način prenosa obtežb na pregrado poznamo (Kryžanowski):

- težnostne pregrade:
 - nasute,
 - grajene:
 - masivne,
 - stebrske,
- ločne pregrade.

Pri razvrstitvi glede na ojezeritev pa delimo pregrade na (Kryžanowski):

- pregrade s stalno ojezeritvijo,
- pregrade z občasno ojezeritvijo – suhi zadrževalniki,
- zaplavne pregrade (naplavine),
- zbirne (deponijske) pregrade (lužina).

3 VARNOST PREGRAD

3.1 Splošno o varnosti pregrad

Potrebe po zadrževanju voda imajo za posledico izgradnjo vse večjega števila pregrad, obenem pa narašča tudi njihova velikost. Z naraščanjem števila in velikosti pregrad narašča tudi kompleksnost izgradnje pregrad.

Izgradnja pregrade predstavlja visoko tveganje za okolje, zato je gradnja pregrad utemeljena le, če bi njihova gradnja in obratovanje predstavljale korist za družbo. Tveganje pri pregradah je velikokrat porazdeljeno neenakomerno, tako da tisti, ki imajo korist od pregrade, niso nujno tudi tisti, ki so izpostavljeni tveganju, ki ga povzroča pregrada (Dam safety management, 2011).

Porušitev pregrade se lahko konča katastrofalno, velikokrat z velikim številom človeških žrtev in ogromno družbeno, ekonomsko in okoljsko škodo, kot tudi škodo na objektih in infrastrukturi. Tudi v primeru, če porušitev povzroči le nezmožnost zadrževanja vode, ima to lahko za posledico velike ekonomske izgube in škodo na okolju. Vsi ti problemi so zato investitorje in inženirje prisilili, da pri projektiranju pregrad namenijo veliko časa in sredstev temu, da bi bila varnost pregrad čim bolj zagotovljena. Seveda pa varnost pregrad ne more biti povsem zagotovljena, ker je doseganje ničnega tveganja nepraktično in v večini primerov, zaradi prevelikih stroškov, enostavno neizvedljivo (Dam safety management, 2011).

V svetu je za varnost pregrad zelo različno poskrbljeno. Nekatere države imajo regulativo, ki ureja področje varnosti pregrad, obstajajo pa tudi države, ki problematiki zagotavljanja varnosti pregradnih objektov ne posvečajo toliko pozornosti. K zagotavljanju varnosti pregrad v svetovnem merilu je močno pripomogla Mednarodna komisija za velike pregrade – ICOLD, ki določa smernice za načrtovanje čim bolj varnih objektov in za varno obratovanje, vzdrževanje ter nenazadnje opustitev pregrad. Organizacija je bila ustanovljena leta 1928 v Parizu in je sestavljena iz več kot 90 nacionalnih komitejev. V ICOLD-u Slovenijo zastopa Slovenski nacionalni komite za velike pregrade – SLOCOLD, ki je bil ustanovljen leta 1993. Društvo SLOCOLD se že od ustanovitve trudi, da bi bilo področje načrtovanja, izgradnje in obratovanja pregrad urejeno s primerno zakonodajo, predvsem s stališča zagotavljanja večje varnosti pregradnih objektov in njihove okolice.

Maja 2012 je Inženirska zbornica Slovenije izdala »Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov«, ki naj bi bile izhodišče in osnova za izdelavo tehnične regulative za varno obravnavanje pregrad. Namen smernic je stalno spodbujanje in zagotavljanje vpeljave najnovejših tehničnih metod v načrtovanje, gradnjo in vzdrževanje pregradnih objektov, s čimer bi se povečala tudi stopnja varnosti (Zadnik, 2012).

Osnovni cilj varnosti pregrad je varovanje ljudi, njihovega premoženja in okolja pred nevarnim obratovanjem, poškodbami ali poružitvami pregrad. Za doseg tega cilja morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji:

- izvršeni morajo biti vsi racionalni in praktični ukrepi, ki preprečujejo okvaro pregrade,
- obstaja visoka stopnja verjetnosti, da je možnost dogodka, ki bi povzročil resne posledice, zelo majhna.

Varnost objektov je dosežena s tremi glavnimi komponentami (Humar, 2008):

- varno obratovanje z rednim vzdrževanjem,
- monitoring,
- obratovanje v ekstremnih razmerah in pripravljenost na dogodke v sili.

V Sloveniji je za varnost pregrad premalo storjeno, kar je nedopustno, saj je ta obveznost ena izmed temeljnih nalog pregradnega inženirstva. Nimamo zakonodaje, ki bi nudila usmeritve in izboljšala področje projektiranja, izvedbe, obratovanja in vzdrževanja pregrad in njihove varnosti. Problem je, da se v Sloveniji pregrade enači z ostalimi gradbenimi objekti, vendar s tem preveč poenostavljamo problematiko, s katero se soočamo pri gradnji, vzdrževanju in obratovanju pregrad (Humar, 2008).

3.2 Vzroki za poškodbe in porušitev pregrad

Po podatkih komiteja ICOLD, zbranih v zborniku Dam Safety, 1987, sta med vzroki, ki so krivi za nastanek poškodb na pregradi najpogostejša dva: poškodbe temeljev in prelivanje pregrad.

Raziskava organizacije ICOLD je pokazala, da so poškodbe pregrad nastale kot posledica napak, storjenih v fazi načrtovanja (npr.: neustrezne projektne rešitve, podcenjene obremenitve ipd.) ali zaradi opustitve oziroma neustreznosti nadzora v času gradnje in posledično konstrukcijskih napak. V ostalih primerih je bila za poškodovanost pregrade kriva slaba izvedba gradbenih del s strani slabih izvajalcev med samo gradnjo. Večina poškodovanih pregrad prav tako ni imela urejenega monitoringa ali alarmnih sistemov (Dam Safety, 1987).

Poškodba pregradnega objekta je v splošnem zelo kompleksen proces, ki se prične z manjšimi deformacijami. Te so sprva neopazne ali so bile spregledane, s časom pa se razvijejo v poškodbo, ki vodi v nastanek večje poškodbe in v skrajnem primeru privede celo do porušitve. Zato sta ustrezen monitoring in redni nadzor zelo pomembni, lahko bi rekli tudi nepogrešljivi orodji pri zagotavljanju varnosti pregrad (Dam Safety, 1987).

4 SLOVENSKA ZAKONODAJA NA PODROČJU PREGRADNEGA INŽENIRSTVA

Tako kot zakonodaja na področju pregradnega inženirstva so tudi pristojnosti ogranov, zadolženih za različne aspekte varnosti pregradnih objektov v Sloveniji, razdrobljene med različna ministrstva. Največja pomanjkljivost trenutne zakonodaje je odsotnost zakona ali predpisa, ki bi urejal problematiko zagotavljanja varnosti pregrad skozi vse življenjske faze – od načrtovanja do vzdrževanja pregrad in redno analizo stanja vrednotenja varnosti pregradnih objektov. Društvo SLOCOLD je dalo že številne pobude kako urediti stanje, a odziva s strani države še ni bilo.

4.1 Splošna zakonodaja

Splošno prostorsko oziroma gradbeno zakonodajo delimo na zakonodajo, ki se nanaša na čas pred pričetkom obratovanja ter na zakonodajo, ki se nanaša predvsem na čas obratovanja (Galonja, 2010).

Zakonodajo, ki se nanaša na čas pred pričetkom obratovanja pokrivajo predvsem štiri zakoni:

- Zakon o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt, Uradni list RS, št. 33/07 in kasnejši), ki ureja področje prostorskega načrtovanja in urbanizma ter opredeljuje prostorske akte in načrte,
- Zakon o graditvi objektov (ZGO-1, Uradni list RS, št. 110/02 in kasnejši), ki nastopi, ko iz načrtovanja preidemo v projektiranje, določa procese in udeležence pri graditvi ter njihove naloge in odgovornosti,
- Zakon o gradbenih proizvodih (ZGPro, Uradni list RS, št. 52/00 in kasnejši), ki določa pogoje, pod katerimi lahko tržimo gradbeni proizvod,
- Zakon o umeščanju prostorskih ureditev državnega pomena v prostor (ZUPUDPP, Uradni list RS, št. 80/10 in kasnejši), ki določa prostorske ureditve državnega pomena, ureja vsebino in postopek priprave državnega prostorskega načrta ter določa način vodenja tega postopka.

Pod zakonodajo, ki se nanaša predvsem na čas obratovanja spadajo zakoni, ki urejajo bolj specialna področja, na primer:

- Zakon o varstvu okolja (ZVO), Uradni list RS, št. 39/06, in kasnejši,
- Zakon o vodah (ZVod), Uradni list RS, št. 67/02 in 110/02, in kasnejši,
- Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD), Uradni list RS, št. 56/99, 64/01,
- Zakon o varstvu pred požarom (ZVPoz), Uradni list RS, št. 105/06,
- Zakon o standardizaciji (ZSta), Uradni list RS, št. 59/99,
- Zakon o akreditaciji (ZAkr), Uradni list RS, št. 59/99,
- Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD), Uradni list RS, št. 16/08,
- Zakon o ohranjanju narave (ZON), Uradni list RS, št. 32/08,
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (ZVNNDN), Uradni list RS, št. 51/06,
- Zakon o rudarstvu (Zrud-1), Uradni list RS, št. 14/14.

4.2 Podzakonski predpisi

V Evropski direktivi o gradbenih proizvodih 89/106/EEC so bile oblikovane bistvene zahteve, ki so bile podrobno obdelane v spremljajočih razlagalnih dokumentih za vse zahteve za gradbene objekte v državah članicah EU, saj je skladnost naših predpisov s temi dokumenti bistvena vez med slovensko in evropsko zakonodajo. Izdajanje gradbenih predpisov in tehničnih smernic, ki so se izoblikovale v navedeni evropski direktivi, je tako urejeno v 9. do 12. členu ZGO-1.

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

- mehanske odpornosti in stabilnosti,
- varnosti pred požarom,
- higienske in zdravstvene zaščite in zaščite okolice,
- varnosti pri uporabi,
- zaščite pred hrupom in
- varčevanja z energijo in ohranjanja toplote.

Med podzakonskimi predpisi je Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov praktično edini predpis v Sloveniji, ki nekoliko bolj celovito ureja vidik projektiranja in gradnje.

Razen Pravilnika o mehanski odpornosti in stabilnosti, drugih gradbenih predpisov, ki bi urejali projektiranje, gradnjo in vzdrževanje pregradnih objektov, v Sloveniji praktično nimamo. Obstajata sicer še dva Pravilnika, ki pa sta zelo zastarela ter se nanašata predvsem na opazovanje pregrad. To sta (Zadnik, 2012):

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

Prvi člen Pravilnika o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade predpisuje:

- 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 instrumentov in normative za njihovo vzdrževanje ter
- pogoje, ki jih mora izpolnjevati izvajalec opazovanja vpliva seizmičnosti na velike pregrade (v nadaljnjem besedilu: seizmološko opazovanje).

Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov je bil sprejet še v bivši skupni državi in ni več v veljavi, je pa še vedno v uporabi. Pravilnik določa, da je potrebno obvezno vzpostaviti tehnično opazovanje velikih pregrad. Po 3. členu tehnično opazovanje obsega: pregledovanje, merjenje in druge preizkuse elementov, s katerimi se da ugotoviti stanje pregrade ali njenih posameznih delov ter stanje v temeljnih tleh ob jezovni zgradbi in v akumulacijskem prostoru. Stanje se oceni glede na stabilnost, vodno prepustnost in učinkovanje kemičnih in drugih vplivov na korozijo in mehanično odpornost materiala.

Leta 1996 je skupina strokovnjakov, ki so se ukvarjali z izračuni porušitev pregrad pripravila osnutek dokumenta: »Navodila za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitve pregrad«, ki pa na žalost do sedaj še ni bil sprejet. Predlog navodil naj bi predpisoval vsebino in način priprave ocene ogroženosti ljudi, premoženja, kulturne dediščine in okolja ob porušitvi visokih pregrad. Predvideval je, da bi bili lastniki ali upravljalci z Zakonom o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami zavezani, da izdelajo izračune in dokumentacijo o posledicah možnih porušitev za vsako pregrado. Ti izračuni in dokumentacija bi služili kot osnova za izdelavo ocene ogroženosti in bi bili v pomoč za pripravo ukrepov za zaščito in reševanje prebivalstva in objektov v območjih dolvodno od pregrade. Kriterije za izračune porušitve pregrad in oceno posledic porušitev pregrad bi obravnavala strokovna komisija, ki bi jo sestavila Vlada Republike Slovenije in bi jo sestavljalo pet članov (predstavniki ministrstev, predstavnik društva SLOCOLD in predstavnik institucije, ki bi izvajala izračune o možnih posledicah porušitev).

Iz navedenega tako izhaja, da se je to področje sicer skušalo urejati s podrobnejšo regulativo, vendar pa je ostalo le pri namenu, saj sta se dosedanje zakonodajno urejanje in ostala regulativa izkazala za pomanjkljivo, nepopolno in nepregledno. Država je očitno pokazala premalo zanimanja za zakonsko ureditev problematike zagotavljanja varnosti in na splošno za področje pregradnega inženirstva, žalostno pa je, da so bila že predlagana navodila za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitve pregrad, ki pa nikoli niso bila izdana. Že majhna spodbuda in večja vztrajnost pristojnih organov pri normativni ureditvi navedene problematike na tem področju, bi zagotovo prispevala k boljši ureditvi trenutnega neurejenega stanja.

5 SPLOŠNO O HIDROELEKTRARNAH

Hidroelektrarne proizvajajo največ obnovljive energije na svetu. V Sloveniji hidroelektrarne proizvedejo približno dobro tretjino celotne električne energije. Hidroelektrarne spadajo med najbolj gospodarne in ekološko sprejemljive tipe elektrarn, a njihova izgradnja vseeno predstavlja ogromen poseg v okolje. S postavitvijo hidroelektrarne močno vplivamo na naravno in urbano okolje.

Glavni del za delovanje hidroelektrarn je strojnica, kjer se nahajajo turbine. Do turbin dovajamo vodo, turbine pa jo nato spreminjajo iz kinetične ali potencialne energije v mehansko. Mehanska energija se nato v generatorju, ki ga poganja turbina, pretvori v električno energijo. Prek pretvorbe na transformatorjih se električna energija pošilja v prenosno ali distribucijsko omrežje.

Količina električne energije, ki jo proizvajajo hidroelektrarne, je odvisna od višine vodnega padca ter količine vode. Višino vodnega padca izkoriščajo akumulacijske hidroelektrarne in od njega je odvisna velikost potencialne energije. Količino vode pa izkoriščajo pretočne hidroelektrarne, pri katerih je velikost kinetične energije odvisna od količine pretoka. Glede na uporabo načina za proizvodnjo električne energije delimo hidroelektrarne na:

- akumulacijske hidroelektrarne: za delovanje potrebujejo akumulacijsko jezero, ki nastane z zaježitvijo vodotoka oziroma doline ali s formiranjem umetnega jezera; za ustvarjanje energije ne potrebujejo velikih pretokov, ampak izkoriščajo velik višinski padec vode,
- pretočne hidroelektrarne: ravno obratno kot akumulacijske izkoriščajo velike pretoke in ne potrebujejo velikega padca vode; reko vseeno zajezimo, a ne z namenom zadrževanja vode, temveč le za ustvarjanje stalnega pretoka vode,
- pretočno-akumulacijske hidroelektrarne: so kombinacija pretočnih in akumulacijskih hidroelektrarn in se zanje odločamo v primerih, ko prostorske omejitve na mestu, kjer je postavljena hidroelektrarna, ne dopuščajo izgradnje velikega akumulacijskega jezera in se na vodotoku zgradi več zaporednih hidroelektrarn (veriga), od katerih ima le prva izmed elektrarn tudi akumulacijo, vse ostale pa izkoriščajo pretok.

6 PREGRADA HE VRHOVO

Hidroelektrarna Vrhovo je prva v nizu hidroelektrarn spodnjesavske verige, ki bo štela vsega skupaj šest hidroelektrarn: Vrhovo, Boštanj, Blanca, Krško, Brežice in Mokrice. Skupna moč vseh hidroelektrarn bo znašala 210 MW z letno proizvodnjo 1,1 milijarde kWh. Potem ko bo dograjena celotna veriga HE na Savi, bo akumulaciji namenjena vloga vmesnega izravnalnega bazena, saj elektrarna obratuje v dnevno pretočnem režimu z akumulacijo, ki ima vlogo čelnega bazena za spodnjesavsko verigo (SEL, 2015).

Trenutno je na elektrarni stalna posadka, a bo po dograditvi celotne spodnjesavske verige HE Vrhovo vodena iz centra vodenja (Rafko Grom, 2015).

Hidroelektrarna leži na Vrhovškem polju ob naselju Vrhovo, kjer se nizvodno od Radeč, rečna dolina razširi tako, da Sava preide v dolinski režim toka. Zgradba jezua temelji na neprepustnih skrivilavcih, temeljna plošča je drenirana, tesnjenje nasipov pa je izvedeno s tankostenskimi betonskimi diafragmami. Pregrada je masivna – betonska pregrada, njena konstrukcijska višina znaša 27 m, skupna dolžina jezovne zgradbe brez krilnih zidov in montažnega prostora pa znaša 147,20 m. Pregradni objekt hidroelektrarne Vrhovo je sestavljen iz strojnice, jezovne zgradbe s petimi pretočnimi polji, levega usmerjevalnega nasipa ter desnobrežnega varovalnega nasipa ob akumulaciji. V strojnici so nameščene tri cevne turbine z možnim inštaliranim pretokom $500 \text{ m}^3/\text{s}$, ki v konicah proizvodnje proizvedejo 34,2 MW moči. Na prelivnih poljih so nameščene segmentne zapornice z nasajeno zaklopko, z zaježitveno višino 10,5 metrov. Prelivna polja so dimenzionirana tako, da prevajajo pretoke $3100 \text{ m}^3/\text{s}$, kar ustreza pretoku ocenjenih visokih voda s povratno dobo 100 let (SEL, 2015).

Na hidroelektrarni Vrhovo se na desni savski brežini neposredno dolvodno od jezovne zgradbe nahaja ribja steza z drstiščem. Da voda, ki teče preko ribje steze ne bi bila neizkoriščena, je na drstišču, ki ga tvori odprti armiranobetonski kanal, postavljena mala hidroelektrarna z močjo 25 kW, ki je bila zgrajena za izkoriščanje energetskega potenciala vodne energije, ki priteče v ribje drstišče. Mala hidroelektrarna izkorišča pretok vode $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in padeč 5,6 m (SEL, 2015).

V pregrado Vrhovo je bilo vgrajenega 77000 m^3 betona visoke kvalitete in 3174 t armaturnega železa. Za tesnjenje pregrade Vrhovo je bilo vgrajenih tudi 13500 m^2 tesnilne zavese. Tesnitev je bila izvedena s tankostensko diafragmo, na nekaterih odsekih pa z 'jet-grouting' piloti. Tesnitev je bila projektirana do globine vodotesne podlage - skrilavec (SEL 2015).

Hidroelektrarna Vrhovo je v upravljanju podjetja Savske elektrarne Ljubljana (SEL d.o.o.).

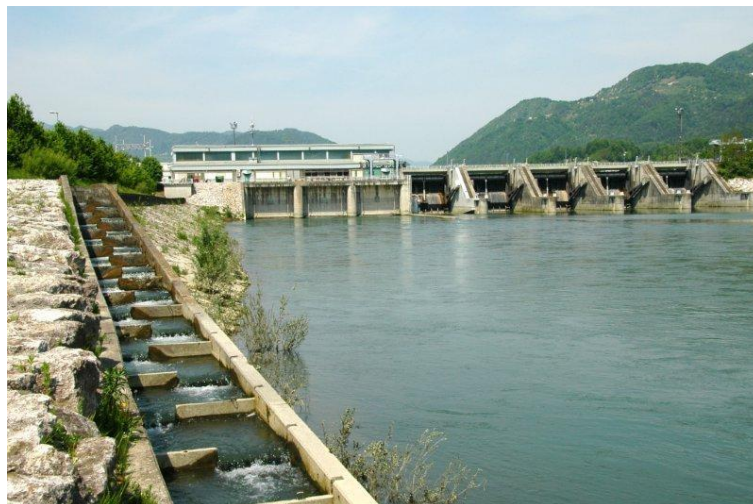
6.1 Izgradnja hidroelektrarne Vrhovo

Izgradnja HE Vrhovo se je pričela jeseni leta 1987. Investitor izgradnje HE Vrhovo je bilo podjetje Savske elektrarne Ljubljana (SEL d.o.o.), ki je tudi trenutni lastnik in upravljaec elektrarne. Morfologija terena je omogočala sorazmerno enostavno gradnjo, brez velikih posegov v okolje in vplivov na drugo infrastrukturo. Gradbena jama se prvič pri nas ni nahajala v strugi reke, ampak ob njej. Od marca do jeseni 1988 so potekala intenzivna pripravljalna dela, namenjena izkopu gradbene jame. Že v novembru 1988 so pričeli graditi temelje zgradbe. V začetku leta 1990 so pričeli z montažo vseh treh agregatov – cevni turbin, ki so bile prvič pri nas vgrajene prav na hidroelektrarni Vrhovo. Osamosvojitve Slovenije pa je prekrizala načrte in jih močno zamaknila v prihodnost.

Cevni agregati so primerni za elektrarne z manjšimi padci, zaradi zelo visokega izkoristka pri pretvorbi kinetične energije vode in zaradi manjšega potrebnega prostora za vgradnjo.

Po osamosvojitvi leta 1991 se je gradnja hidroelektrarne Vrhovo, zaradi zaustavitve financiranja, za krajši čas ustavila, saj tedanja vlada ni imela posluha za izgradnjo hidroelektrarne. V septembru leta 1992 pa je nova vlada, z najemom kredita, omogočila nadaljevanje del. Prvotni terminski plan izgradnje je predvideval rok 37 mesecev od začetka izgradnje del do poskusnega obratovanja. Predvidevali so, da bi elektrarne na spodnji Savi lahko izgradili z enim do ena in pol letnim zamikom. S takšnim načrtom bi bila celotna veriga hidroelektrarn na spodnji Savi zgrajena do leta 2000.

Spomladi 1993 so bili dokončno montirani vsi trije cevni agregati. Februarja 1993 je bila dokončana preusmeritev reke Save. Avgusta istega leta je bila HE Vrhovo končno pripravljena za obratovanje (SEL 2015).



Slika 1: Hidroelektrarna Vrhovo.

V ospredju je opazno ribje drstišče (Vir: <http://www.sel.si/data/images/HE-vrhovo/11051101580773.jpg>)

6.2 Terenski ogled na pregradi HE Vrhovo

Dne 25.5.2015 sem opravil terenski ogled na energetske pregradi HE Vrhovo. Vodja elektrarne, gospod Rafko Grom, mi je razkazal celotno jezovno zgradbo pregrade Vrhovo in mi odgovoril na vsa vprašanja glede delovanja in obratovanja hidroelektrarne Vrhovo. Povedal je, da je na objektu trenutno stalna posadka, a bo po dograditvi celotne verige hidroelektrarn na spodnji Savi, HE Vrhovo vodena iz centra vodenja. Prav tako je omenil, da je na HE Vrhovo vgrajena cevna turbina, ker so na spodnji Savi manjši padci vode. Dostop do turbin so pokrili z loputami, da bi zmanjšali hrup na pregradi, dokler je tam še stalna posadka. Ko sem ga vprašal, če se na HE Vrhovo pojavljajo kakšni problemi, je pojasnil, da trenutno nimajo nobenih večjih težav, vse manjše pa sproti sanirajo. Problemov s podslapjem ni omenil, povedal je le, da so ob peto jezcu položili zaščitno zložbo iz betonskih kock, a jo je vodni tok porušil. Med samim ogledom pregrade nisem opazil nobenih večjih težav, vse vidne razpoke so že dokumentirane.



Slika 2: Prelivno polje in nasajena zaklopka z zaježitveno višino 10,5 m.
(Vir: osebni arhiv)



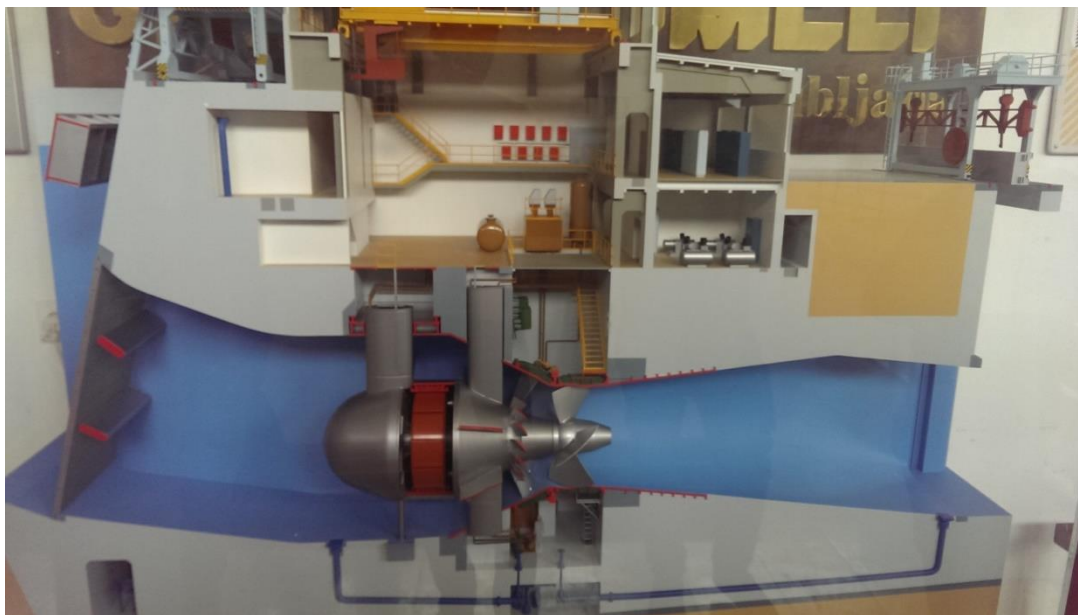
Slika 3: Prelivno polje s segmentno zapornico.

Leta 2013 so bila zamenjana tesnila in obnovljena protikorozijska zaščita na prelivnih poljih. (Vir: osebni arhiv)

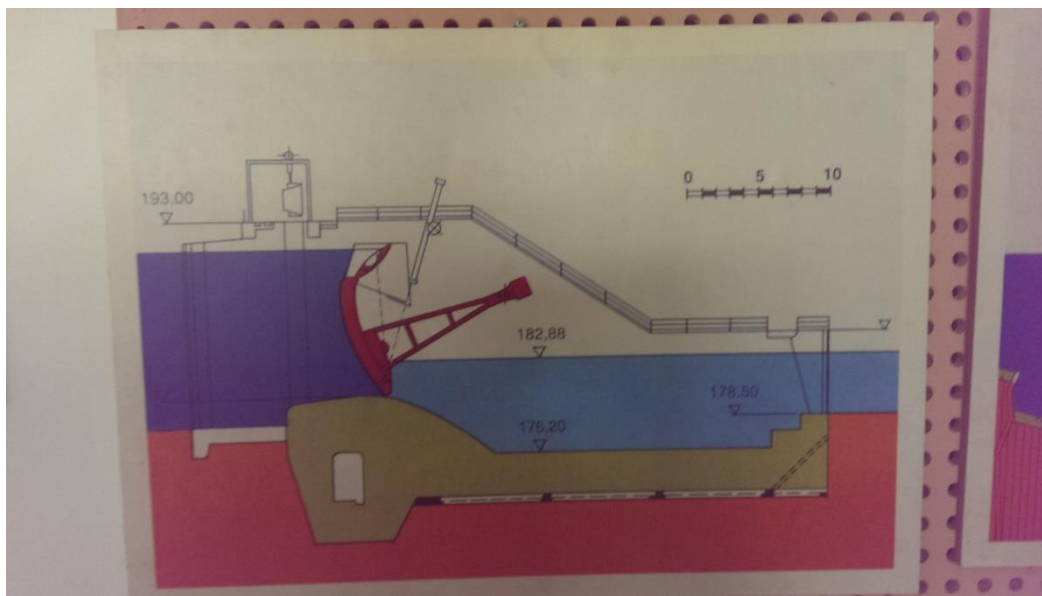


Slika 4: Strojnica hidroelektrarne Vrhovo.

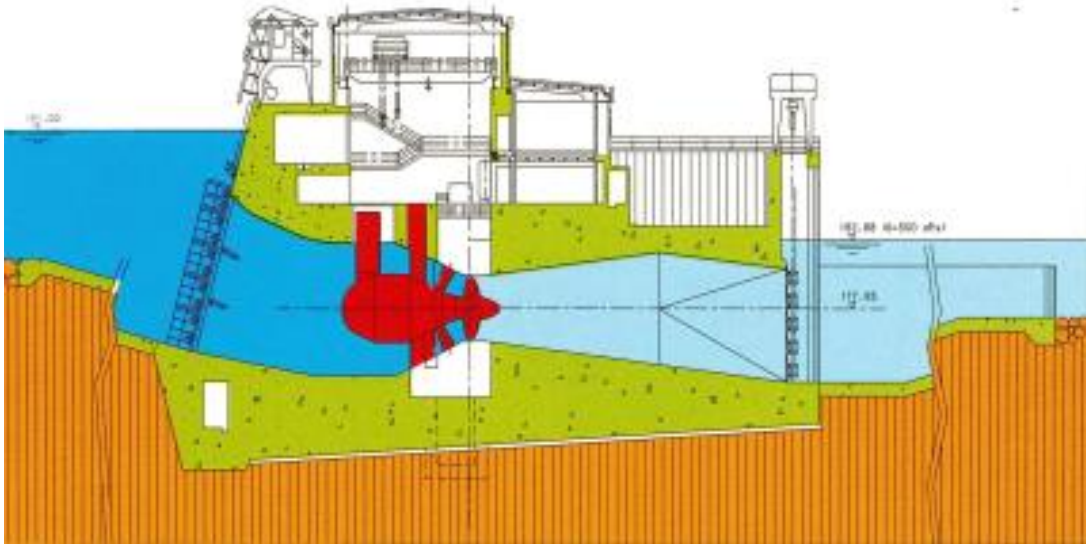
Nad turbinami so namestili lopute, da bi zmanjšali hrup. (Vir: osebni arhiv)



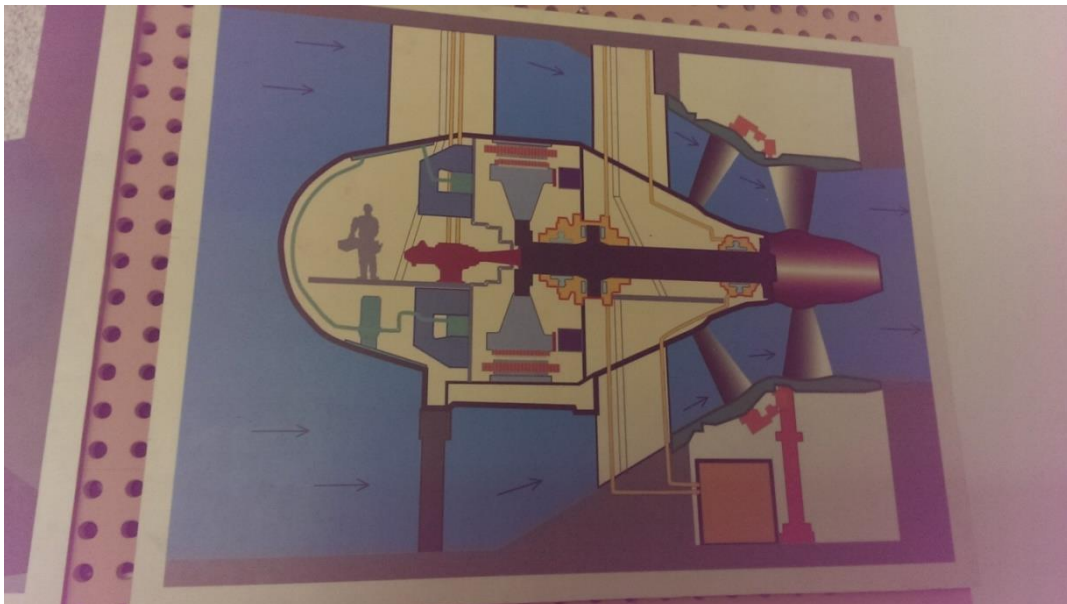
Slika 5: Maketa strojnice HE Vrhovo s cevno turbino.
Cevno turbino je izdelalo podjetje Litostroj. (Vir: osebni arhiv)



Slika 6: Prerez enega prelivnega polja s segmentno zapornico.
(Vir: osebni arhiv)



Slika 7: Prerez strojnice s cevno turbino.
(Vir: SLOCOLD)



Slika 8: Prerez cevne turbine.
Na sliki je razvidno, da je v turbini dovolj prostora za vzdrževalna dela. (Vir: osebni arhiv)



Slika 9: Ribje drstišče



Slika 10: Mala hidroelektrarna.

Ob turbini je vgrajen by-pass, ki se avtomatsko odpira ob izpadu ali zaprtju turbine, tako da je mala hidroelektrarna prilagojena zahtevam ribjega drstišča. Konstanten dotok vode v hidroelektrarno je $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Vir: osebni arhiv)



Slika 11: Vsa prelivna polja na pregradi Vrhovo.

V prvem prelivnem polju je opazna tudi bočna disipacijska greda. Na ostalih prelivnih poljih disipacijska greda ni vgrajena. (Vir: osebni arhiv)

7 VREDNOTENJE PREGRADE HE VRHOVO

Stanje pregrade smo poskusili oceniti oziroma ovrednotiti po metodologiji, ki je bila uporabljena pri projektu VODPREG za oceno katerih primarni namen ni hidroenergetska izraba.

7.1 Opis projekta VODPREG

Projekt VODPREG ali raziskovalno razvojni projekt za zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena je projekt Ministrstva za obrambo, ki se je izvajal med oktobrom 2011 in decembrom 2012. Namen projekta VODPREG je bil izdelava evidence in pregled ter ocena stanja vseh vodnih pregrad in zadrževalnikov, ki niso namenjene hidroenergetski izrabi, ampak varstvu pred škodljivim delovanjem voda, namakanju ali drugim rabam vode, skladiščenju proizvodnih odpadkov, rekreaciji ipd. Pregrade in zadrževalniki, ki so namenjeni hidroenergetski izrabi niso bili evidentirani, saj je obveljalo mnenje, da naj bi le-te bile v bistveno boljšem stanju. V sklopu projekta je bilo izdelano:

- karta pomembnih vodnih zadrževalnikov oziroma pregradnih objektov,
- opis stanja objektov, ki niso bili v hidroenergetski rabi (z vsemi geološkimi, geomehanskimi, hidrološkimi, meteorološkimi, hidravličnimi in tehnološkimi podatki, vključno z aktualnim sistemom monitoringa ter seznamom razpoložljive dokumentacije),
- zbirka/nabor obstoječih podatkov o izdelanih študijah posledic porušitve pregrad in predlogi o potrebnih dopolnitvah in novi izračuni za pregrade, ki niso bile obravnavane,
- predlog monitoringa in priprava načrtov alarmiranja prebivalstva,
- evidentiranje stanja objektov in predlog sanacijskih ukrepov,
- navodila ukrepov za prebivalce.

(Kryžanowski s sod., 2013)

7.2 Kriteriji ocenjevanja

Za uspešno oceno stanja pregrade je VODPREG določil pet glavnih kriterijev za ocenjevanje kvalitativne stopnje tveganja, ki ga predstavlja pregrada na vplivnem območju:

- osnovni parametri pregrade,
- stanje projektne in obratovalne dokumentacije,
- obratovanje,
- tveganja pri obratovanju in
- stanje objekta in opreme.

Vsak parameter se ocenjuje po tristopenjski lestvici:

- 1 – velik vpliv,
- 2 – srednji vpliv,
- 3 – majhen vpliv.

Osnovni parametri pregrade opredeljujejo kvazi tveganje, ki izhaja iz osnovnih podatkov o pregradi:

- višina pregrade,
- volumen zadrževanja,
- pretok v pregradnem profilu,
- razmerje med maksimalnim in srednjim pretokom in
- razmerje med maksimalnim in porušitvenim pretokom.

V sklopu kategorije stanje projektne in obratovalne dokumentacije se ocenjuje tveganje, glede na razpoložljivost in dostopnost vse dokumentacije, pri čemer se osredotoča na projektno in izvedbeno dokumentacijo, obratovalno dokumentacijo, obratovalni pravilnik, projekt porušitve ter akcijske programe obveščanja in alarmiranja.

V sklopu obratovanje se ocenjuje tveganje glede na vse parametre, ki so potrebni pri neoviranem obratovanju pregrade:

- namembnost akumulacije in dejanska izraba,
- tehnično opazovanje,
- geotehnični monitoring,
- hidrološki monitoring,
- monitoring stanja objektov,
- analize in pokalkulacije rezultatov in
- alarmiranje prebivalstva.

V sklopu tveganja pri obratovanju so zajeta glavna tveganja, ki jih pregrada povzroča za okolje in prebivalstvo v njeni okolici v času obratovanja. Ocenjuje se tudi kako je poskrbljeno za preprečevanje in zmanjševanje tveganja, ki ga pregrada predstavlja na okolico. Parametri v tveganju pri obratovanju so:

- tveganje dolvodno,
- tveganje za infrastrukturo,
- tveganje za območja poselitev in industrije,
- vzdrževanje pregrad,
- sistem nadzora,
- projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi,
- lastništvo in upravljanje objektov in
- dostopnost objekta.

Stanje objektov in opreme opredeljuje kvazi tveganje, ki izhaja iz stanja pregrade, njenih objektov in opreme v sami pregradi:

- stanje pregrad,
- stanje vplivnega območja pregrade,
- stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem,
- stanje struge dolvodno,
- stanje mehanske opreme in
- stanje elektro opreme.

Vsak parameter je ocenjen po trostopenjski lestvici pomembnosti (1-velik, 2-srednji, 3-majhen vpliv) na stopnjo tveganja, ki je določena po presoji ocenjevalca. Za zagotovitev selektivnosti končne ocene so ocene točkovane z naraščajočo stopnjo: večji vpliv posameznega parametra pomeni več točk in posledično večjo pomembnost na končno oceno in obratno. V končni oceni tveganja je opredeljenih 5 kategorij s točkami (1-majhna <80, 2-malo do srednje <106, 3-srednje<141, 4-srednje do veliko <192, 5-veliko <256). Ocenjevanje parametrov temelji na presoji ocenjevalca in poznanih dejstvih in okoliščinah, pridobljenih na osnovi pregleda objektov in obratovalne dokumentacije.

8 OCENA TVEGANJA PREGRADE HE VRHOVO

8.1 Osnovni parametri pregrade Vrhovo

Tabela 1: Višina pregrade

Višina pregrade:	kat.	ocena	komentar k oceni
h>15	1	1	Višina pregrade znaša 27m
h>10	2		
h>5	3		

Tabela 2: Volumen zadrževanja

Volumen zadrževanja:	kat.	ocena	komentar k oceni
V> 1hm ³	1	1	Volumen zadrževanja znaša 8,6 hm ³
V> 0,5hm ³	2		
V<0,5hm ³	3		

Tabela 3: Pretok v pregradnem profilu

Pretok v pregradnem profilu:	kat.	ocena	komentar k oceni
Q>2000m ³ /s	1	1	Pretok v pregradnem profilu je 3600 m ³ /s
Q>1000m ³ /s	2		
Q<1000m ³ /s	3		

Tabela 4: Razmerje Q100 – Qsr.

Razmerje Q100 – Qsr:	kat.	Ocena	komentar k oceni
n>200	1	3	n=13,55
n>100	2		
n<100	3		

$$Q_{100} = 3102 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{sr} = 229 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabela 5: Razmerje Qporušitev – Q100

Razmerje Qporušitev - Q100:	kat.	ocena	komentar k oceni
n>2	1	2	Q100 = 3102 m ³ /s Qpor.=3605 m ³ /s n=1,16
n>1	2		
n<1	3		

$$Q_{100} = 3102 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{por.} = 3605 \text{ m}^3/\text{s}$$

Skupno število točk za kriterij osnovni parametri: 30 (maksimalno število točk za ta kriterij – 40)

8.2 Stanje projektne in obratovalne dokumentacije

Tabela 6: Projektna in izvedbena dokumentacija

Projektna in izvedbena dokumentacija:	kat.	ocena	komentar k oceni
nepopolna	1	3	Projekti tehničnih opazovanj objektov in pregradnega profila ter projekti izvedbenih del.
pomanjkljiva ali razpršena	2		
popolna	3		

- Projekt tehničnega opazovanja objektov HE Vrhovo, IBE Ljubljana, proj. št. D315/01, april 1990,
- Projekt tehničnega opazovanja pregradnega profila HE Vrhovo, IBE Ljubljana, proj. št. A500/89, julij 1993,
- Projekti zavarovanja brežin na območju bazena HE Vrhovo od pregrade do železnega mostu v Radečah, ki jih je izdelal ZRMK,
- Dokumentacija za gradnjo je popolna - odstopanj od načrtov pri gradnji ni bilo.

Tabela 7: Razpoložljivost obratovalne dokumentacije

Razpoložljivost obratovalne dokumentacije:	kat.	ocena	komentar k oceni
nepopolna ali razpršena - ni dnevnikov obratovanja	1	3	Obratovalna navodila in obratovalni dnevnik
popolna in /ali razpršena - obstaja dnevnik obratovanja	2		
popolna z vso potrebno dokumentacijo o objektu	3		

Dnevnik obratovanja sestavljajo (Dušak, 2015):

- knjiga obratovanja,
- dnevno obratovalno poročilo in
- računalniški izpisi obratovalnih stanj.

Tabela 8: Obratovalni pravilnik

Obratovalni pravilnik:	kat.	ocena	komentar k oceni
ne obstaja ali so podatki nepopolni	1	3	Poslovnik o obratovanju in vzdrževanju objektov in naprav, HE Vrhovo
obstaja, vendar ni ažuriran in potrjen	2		
potrjen in ažuriran	3		

Opomba: Potrdila ga je Vlada RS s sklepom, sprejetim dne 23.8.2007, s številko 01406-21/2007/4.

Tabela 9: Projekt porušitve

Projekt porušitve:	kat.	ocena	komentar k oceni
ne obstaja	1	3	Projekt porušitve (FGG)
obstaja, vendar z nepopolnimi ali neažuriranimi podatki	2		
popoln in ažuriran projekt	3		

- Preračun posledic morebitne porušitve jezovne zgradbe HE Vrhovo in račun visokovodnih valov iz leta 1997,
- Posledice morebitne porušitve dela jezovne zgradbe HE Boštanj in kombinacije porušitve dela jezovne zgradbe HE Vrhovo in He Boštanj na odseku HE Boštanj – NE Krško iz leta 2004.

Tabela 10: Akcijski programi obveščanja in alarmiranja

Akcijski programi obveščanja in alarmiranja:	kat.	ocena	komentar k oceni
program je nepopoln	1	3	Akcijski programi obveščanja in alarmiranja so povsem urejeni in delujoči.
program obstaja, vendar ni ažuriran	2		
ažuriran in potrjen program	3		

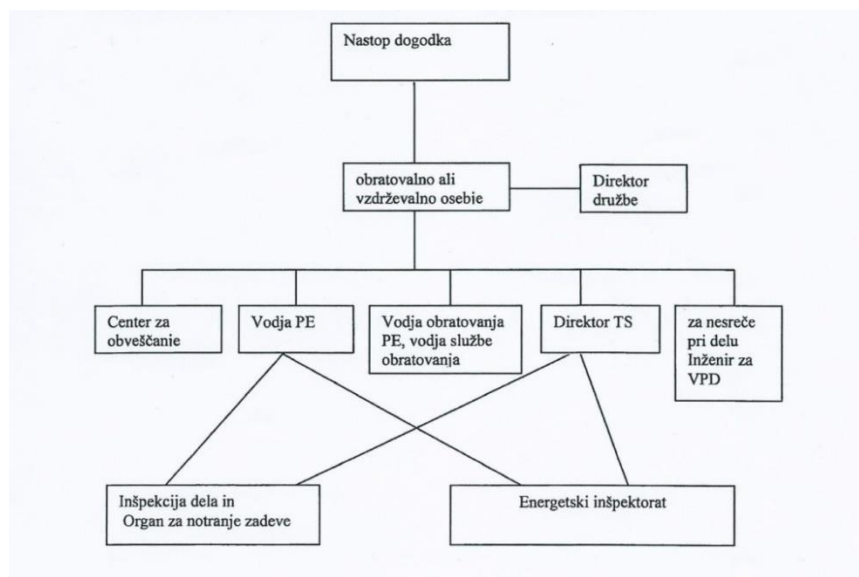
- Uredba o organizaciji in delovanju sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja, Ur. list RS, št. 105/07,
- Postavitev elektronskih siren za alarmiranje HE Vrhovo, junij 2011,
- Navodilo o poteku obveščanja ob okvarah in izrednih razmerah v savskih elektrarnah Ljubljana,
- Načrt zaščite in reševanja pregrade HE Vrhovo, julij 2009.

V hidroelektrarni Vrhovo je elektronska sirena nameščena na kovinskem drogu ob prezračevalnem jašku transformatorja lastne rabe. Elektronska sirena v HE Vrhovo je sestavljena iz: zvočnika, nizkofrekvenčnega ojačevalnika s potrebno krmilno elektroniko, panela za lokalno krmiljenje in nadzor, panela za daljinsko krmiljenje in nadzor, vhodno/izhodnih enot, sistema osnovnega napajanja in radijske postaje ter komunikacijskega vmesnika (Alarmiranje SEL, 2011).



Slika 12: Lokacija sirene
(Vir: SEL)

V primeru nastopa izrednih dogodkov in pri večjih okvarah je obratovalno ali vzdrževalno osebje dolžno takoj o tem obvestiti vodjo proizvodne enote, vodjo obratovanja, direktorja tehničnega sektorja in direktorja družbe. V primeru pretoka Save nad $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ s tendenco naraščanja ali drugim izrednem dogodku (poškodba zapornice, poškodba na jezu, možnost porušitve pregrade ipd.) je potrebno obvestiti ReCO Brežice in ga sproti obveščati vsaki dve uri ali pogosteje, če to narekujejo razmere na HE Vrhovo (Načrt zaščite in reševanja pregrade HE Vrhovo, julij 2009).



Slika 13: Potek obveščanja v primeru nastopa izrednih dogodkov ali večjih okvar
(Vir: SEL)

Skupno število točk za stanje projektne in obratovalne dokumentacije: 10 (maksimalno število točk za ta kriterij – 40)

8.3 Obratovanje

Tabela 11: Akumulacija

Akumulacija:	kat.	ocena	komentar k oceni
akumulacija ne služi namenu - obratovanje je ovirano	1	3	Poslovnik o obratovanju in vzdrževanju objektov in naprav, HE Vrhovo
akumulacija delno služi namenu - obratovanje je delno ovirano	2		
akumulacija polno služi namenu	3		

Namen je akumulacija vode in potenciala za proizvodnjo električne energije, regulacija pretokov pri evakuaciji visokih voda.

Tabela 12: Monitoring

Monitoring:	kat.	ocena	komentar k oceni
monitoring ni predpisan s projektom ali obratoval. prav.	1	3	Projekt tehničnega opazovanja in letna poročila o tehničnem opazovanju - ZAG
monitoring je predpisan - (pomanjkljivo ali zastarelo)	2		
monitoring je ustrezno predpisan	3		

Poročilo o tehničnem opazovanju na pregradnem objektu in bazenu HE Vrhovo ter poročila o posameznih meritvah in pregledih vsako leto izda Zavod za gradbeništvo Slovenije – ZAG. V monitoringu se izvajajo:

- meritve deformacij opazovanih objektov,
- vizualni pregledi,
- filtracija podtalnice in
- opazovanje levega brega Save ob železniški progi na območju vplivnega bazena HE Vrhovo.

Tabela 13: Monitoring (pregrada in akumulacija) - geotehnika

Monitoring (pregrada in akumulacija) - geotehnika:	kat.	ocena	komentar k oceni
se ne izvaja oz neredno ali je pomanjkljiv	1	3	Projekt tehničnega opazovanja in letna poročila o tehničnem opazovanju - ZAG
delno se izvaja skladno po projektu	2		
izvaja se ustrezno	3		

Geodetske meritve se izvajajo:

- na pregradnem objektu,
- na levem in desnem nasipu ob akumulaciji,
- v Radečah (podporni zid ob Savi in kanal Sopote) in
- na brežinah akumulacije.

Tabela 14: Monitoring - hidrologija

Monitoring - hidrologija:	kat.	ocena	komentar k oceni
se ne izvaja ali je pomanjkljiv	1	3	Projekt tehničnega opazovanja in letna poročila o tehničnem opazovanju - ZAG
se izvaja delno (na pregradi)	2		
se izvaja v celoti s spremljanjem količin	3		

Spremlja se nivo gladine v akumulaciji in v podtalnici. Na elektrarni se z ločljivostjo 1 cm meri nivo zgornje in spodnje vode, tako da so vedno znani podatki o:

- pretoku skozi turbine in
- pretoku čez zaklopke in pod segmentnimi zapornicami.

Meritve nivoja podtalnice v opazovalnih vrtinah, z meritvami piezometričnih pritiskov in iztokov iz vzgonske instalacije ter z merjenjem pretokov v drenažah.

Tabela 15: Analize in pokalkulacije rezultatov

Analize in pokalkulacije rezultatov:	kat.	ocena	komentar k oceni
se ne izvajajo	1	2	Projekt tehničnega opazovanja in letna poročila o tehničnem opazovanju - ZAG
se izvajajo delno zgolj s komentarjem rezultatov	2		
se izvajajo v celoti s stalnim noveliranjem programov	3		

Vsako leto ZAG izvaja analize in komentar rezultatov ter nato predstavi svoje rezultate, ugotovitve, mnenja in priporočila podjetju SEL d.o.o..

Tabela 16: Monitoring stanja objektov

Monitoring stanja objektov:	kat.	ocena	komentar k oceni
se ne izvaja	1	3	Projekt tehničnega opazovanja in letna poročila o tehničnem opazovanju - ZAG
se izvaja delno s strani upravljalca	2		
se izvaja po programu	3		

Izvajajo se:

- geodetske meritve na pregradnem objektu,
- meritve vibracij v strojnici,
- meritve globine struge pod prelivnimi polji pregradnega objekta,
- pregled razpok in poškodb gradbenih elementov jezovne zgradbe in
- potapljaški pregledi.

Tabela 17: Alarmiranje prebivalstva

Alarmiranje prebivalstva:	kat.	ocena	komentar k oceni
sistem ni vzpostavljen	1	2	Načrti zaščite (SEL)
sistem je delno vzpostavljen (obveščanje ali alarmiranje)	2		
sistem je v celoti vzpostavljen in funkcionalen	3		

- Načrt zaščite in reševanja pregrade HE Vrhovo, julij 2009

Obveščanje javnosti o stanju na HE Vrhovo je v pristojnosti direktorja SEL.

V primeru izrednega dogodka na pregradi HE Vrhovo in nevarnosti nastanka poplav na naseljenem območju, ko so zaradi pričakovane višine vodnega vala, lahko ogrožena življenja ljudi oziroma je treba začeti z izvajanjem določenih zaščitnih ukrepov, odgovorne osebe (vodja intervencije, poveljnik CZ, župan) izdajo ukaz za alarmiranje. Pristojni center za obveščanje mora takoj, po znaku za preplah, posredovati obvestilo po radiu, televiziji oziroma na drug predviden način o vrsti nevarnosti in izdati napotke za osebno in vzajemno zaščito in napotke za izvajanje zaščitnih ukrepov (Načrt zaščite in reševanja pregrade HE Vrhovo).

Skupno število točk za kriterij obratovanje: 18 (maksimalno število točk za ta kriterij – 56)

8.4 Tveganja

Tabela 18: Tveganje dolvodno

Tveganje dolvodno:	kat.	ocena	komentar k oceni
veliko žrtev	1	2	Projekt porušitve (FGG)
malo žrtev - možna evakuacija	2		
nič žrtev	3		

Porušitev jezovne zgradbe ne bi ogrozila krajev dolvodno od pregrade. To je povzeto iz preračuna posledic morebitne porušitve jezovne zgradbe HE Vrhovo in račun visokovodnih valov iz leta 1997 ter iz študije o posledicah morebitne porušitve dela jezovne zgradbe HE Boštanj in kombinacije porušitve dela jezovne zgradbe HE Vrhovo in He Boštanj na odseku HE Boštanj – NE Krško iz leta 2004.

Tabela 19: Tveganje za infrastrukturo

Tveganje za infrastrukturo:	kat.	ocena	komentar k oceni
prekinitev infrastrukturnih povezav	1	2	Projekt porušitve (FGG)
delno prelitje infrastrukture	2		
manjše ali nič škode	3		

Možno je delno prelitje cest. To je povzeto iz preračuna posledic morebitne porušitve jezovne zgradbe HE Vrhovo in račun visokovodnih valov iz leta 1997 ter iz študije o posledicah morebitne porušitve dela jezovne zgradbe HE Boštanj in kombinacije porušitve dela jezovne zgradbe HE Vrhovo in He Boštanj na odseku HE Boštanj – NE Krško iz leta 2004.

Tabela 20: Tveganje za območja poselitev in industrije

Tveganje za območja poselitev in industrije:	kat.	ocena	komentar k oceni
porušitev objektov	1	2	Projekt porušitve (FGG)
preplavitev - možna sanacija	2		
občasno poplavljanje	3		

Potencialno so ogrožena le pozidana območja na levem bregu Save v naselju Šmarje pri Sevnici ter na desnem bregu na območju boštanjskega polja. NE Krško ni ogrožena v nobenem primeru. To je povzeto iz preračuna posledic morebitne porušitve jezovne zgradbe HE Vrhovo in račun visokovodnih valov iz leta 1997 ter iz študije o posledicah morebitne porušitve dela jezovne zgradbe HE Boštanj in kombinacije porušitve dela jezovne zgradbe HE Vrhovo in HE Boštanj na odseku HE Boštanj – NE Krško iz leta 2004.

Tabela 21: Vzdrževanje pregrad

Vzdrževanje pregrad:	kat.	ocena	komentar k oceni
neredno vzdrževanje	1	2	Vzdrževanje izvaja upravljalec pregrade (SEL d.o.o.)
občasno (letno) vzdrževanje	2		
redno (mesečno) vzdrževanje	3		

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

Tabela 22: Sistem nadzora

sistem nadzora:	kat.	ocena	komentar k oceni
pregrada ni nadzorovana	1	3	Pregrada je daljinsko nadzorovana iz SEL
pregrada je nadzorovana z lokalnim sistemom	2		
pregrada je daljinsko nadzorovana	3		

Na pregradi je poleg daljinskega vodenja trenutno tudi stalna posadka, a bo po dograditvi celotne spodnjėsavske verige HE Vrhovo vodena le daljinsko iz centra vodenja.

Tabela 23: Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi

Projektne zasnove evakuacijskih objektov na pregradi:	kat.	ocena	komentar k oceni
objekti niso ustrezno zasnovani ali so poddimenzionirani	1	1	Nefunkcionalnost podslapij
objekti pogojno zagotavljajo obratovalno varnost	2		
zasnova objektov je skladna s pravili stroke	3		

Problem na pregradi Vrhovo je v nefunkcionalnosti delovanja podslapij pri evakuaciji visokih voda. V prvotnem projektu so prelivna polja načrtovana tako, da je pri evakuaciji visokih pretokov predvideno sinhrono odpiranje vseh zapornic naenkrat in s hkratnim upoštevanjem kote spodnje vode, ki jo predstavlja dolvodna elektrarna HE Boštanj. Zaradi neizgrajenosti spodnjėsavske verige je potekalo obratovanje pregrade med leti 1993 in 2003 v pogojih, kjer funkcionalnost podslapij ni bila zagotovljena. Posledica je formiranje velikega erozijskega tolmana pod pregrado. V letu 2001 je bil izveden sanacijski ukrep z izgradnjo bočnih letev, s katerim je stabiliziran vodni skok v podslapju prvega prelivnega polja. Na drugih prelivnih poljih posebnih disipacijskih objektov ni bilo zgrajeno, tako obstaja še vedno nevarnost pojava odgnanega vodnega skoka pri velikih pretokih in posledično napredovanje erozijskih procesov v strugi pod pregrado (slika 14). Zaenkrat ni nevarnosti za stabilnost pregrade, obstaja pa še vedno veliko tveganje zaradi nefunkcionalnih podslapij.



Slika 14: Razmere pri prevajanju visokih voda na pregradi Vrhovo
(vir: SEL)

Tabela 24: Lastništvo in upravljanje objektov

Lastništvo in upravljanje objektov:	kat.	ocena	komentar k oceni
ni jasnega lastništva, ne upravljalca	1	3	Lastnik in upravljaec pregrade je SEL d.o.o.
upravljanje objektov je deloma urejeno	2		
upravljanje objektov je urejeno	3		

Tabela 25: Dostopnost objekta

Dostopnost objekta:	kat.	ocena	komentar k oceni
pregrada in objekti niso zavarovani	1	3	Dostop do pregrade je omejen z zapornimi vrati ter nadzorovan z video nadzorom
dostop do pregrade je možen, oprema je zavarovana	2		
dostop do pregrade in objektov je omejen in nadzorovan	3		

Skupno število točk za kriterij tveganja: 30 (maksimalno število točk za ta kriterij – 64)

8.5 Stanje objektov in opreme:

Tabela 26: Stanje pregrad

Stanje pregrad:	kat.	ocena	komentar k oceni
na pregradi so jasno vidni degradacijski procesi večjega obsega	1	2	Projekt tehničnega opazovanja in letna poročila o tehničnem opazovanju - ZAG
mestoma se pojavljajo degradacijski procesi	2		
pregrada je enaka projektne stanju	3		

Leta 1995 je ZAG izdelal kataster razpok in drugih poškodb pregrade HE Vrhovo. Razpoke in druge poškodbe so prikazane s pomočjo fotografij v kombinaciji s skicami. Zadnji dopolnjen kataster razpok in drugih poškodb je v poročilu za leto 2012. ZAG je predlagal, da se dopolnitev katastra razpok izvede vsake tri leta, torej bo naslednji dopolnjen kataster razpok in poškodb v letošnjem poročilu (2015). Med terenskim ogledom pregrade nisem opazil nobenih večjih težav, vse vidne razpoke so že dokumentirane.

Tabela 27: Stanje vplivnega območja pregrade

Stanje vplivnega območja pregrade:	kat.	ocena	komentar k oceni
stalna prisotnost degradacijskih procesov	1	1	Projekt tehničnega opazovanja in letna poročila o tehničnem opazovanju - ZAG
občasna prisotnost degradacijskih procesov	2		
ni značilnih vplivov	3		

V coni delovnega nihanja in nad gladino akumulacije je bilo pri pregledu novembra 2013 ugotovljeno, da so se mnoge poškodbe, ki so bile prej označene kot poškodbe obloge, spremenile v območje povečane erozije, pogosto tudi v območje zaporednih manjših usadov, ki pa se bodo s časom le še povečevali. Ta erozija je posledica nihanja vode.

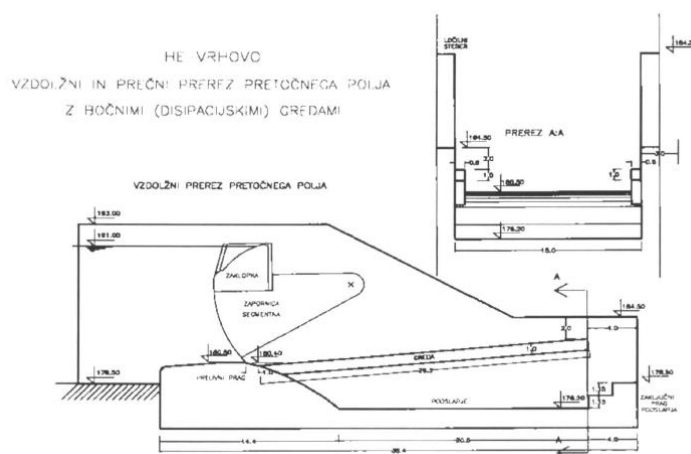
Tabela 28: Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem

Stanje prelivnih objektov, vključno s podslapjem:	kat.	ocena	komentar k oceni
preliv ni v funkciji - sanacija je nujna	1	2	Problematika delovanja podslapij in disipacijske grede
preliv je v funkciji - potreben sanacije	2		
preliv je polno funkcionalen	3		

Leta 2001 je bil izveden sanacijski ukrep z izgradnjo bočnih disipacijskih gred v podslapju prvega prelivnega polja. Na drugih prelivnih poljih disipacijske grede niso bile vgrajene, zato obstaja še vedno nevarnost pojava kritičnih hidrodinamičnih razmer, ki povzročajo poškodbe spodnje struge dolvodno od jezua. Voda je neposredno pod jezom izkopala tolmun že vse do globine 14 metrov. Glavni razlog

za nastanek poškodb je presežek kinetične energije pri nestabilnem delovanju podslapij v času, ko je vodni skok odrinjen izven podslapja. To se ponavadi dogaja v času odplavljanja savskih plavin čez pretočna polja ob visokih vodah. Zaenkrat ni nevarnosti za stabilnost pregrade, obstaja pa še vedno veliko tveganje zaradi nefunkcionalnosti podslapij, zato bi bilo potrebno čimprej sanirati še ostala prelivna polja na HE Vrhovo.

Vgradnja bočnih gred na bočne stene vzdolž podslapja stabilizira vodni skok v podslapjih in spreminja tokovne razmere v podslapjih. Bočne grede ne zmanjšujejo proizvodnje električne energije, ampak celo omogočajo njeno povečanje (Steinman, Ciuha in Mlačnik, 2002)



Slika 15: Vzdolžni in prečni prerez pretočnega polja z bočnimi (disipacijskimi) gredami
(Vir: Steinman, Ciuha in Mlačnik)



Slika 16: Preizkus bočnih gred

Četrto prelivno polje nima vgrajenih bočnih gred in je opaziti nestabilno delovanje polja. Opazno je tudi stabilno delovanje ostalih prelivnih polj, ki imajo vgrajene bočne grede (Vir: Steinman, Ciuha in Mlačnik)

Tabela 29: Stanje struge dolvodno

stanje struge dolvodno:	kat.	ocena	komentar k oceni
priključek evakuacijskih objektov ni funkcionalen	1	2	Problematika delovanja podslapij in disipacijske grede
izvedba je funkcionalna - potrebni sanacijski ukrepi	2		
evakuacija voda dolvodno poteka nemoteno	3		

Zaradi pogostega nestabilnega delovanja podslapij pride do poškodb brežin na spodnji strugi Save v razdalji do več sto metrov od pregrade. Prav tako se povečuje tudi globinska erozija dna spodnje struge za jezom. Z vgraditvijo bočnih grd na prelivnih poljih HE Vrhovo bi evakuacija vode dolvodno potekala nemoteno, ker bi se zmanjšala hidrodinamika v strugi Save (Steinman, Ciuha in Mlačnik, 2002).

Tabela 30: Stanje mehanske opreme

stanje mehanske opreme:	kat.	ocena	komentar k oceni
večina opreme ni v funkciji	1	3	Poročila o pregledih
oprema je delno v funkciji	2		
vsa oprema je funkcionalna	3		

Vsa mehanska oprema je v dobrem stanju in deluje optimalno.

Tabela 31 Stanje elektro opreme

stanje elektro opreme:	kat.	ocena	komentar k oceni
večina opreme ni v funkciji	1	3	Poročila o pregledih
oprema je delno v funkciji	2		
vsa oprema je funkcionalna	3		

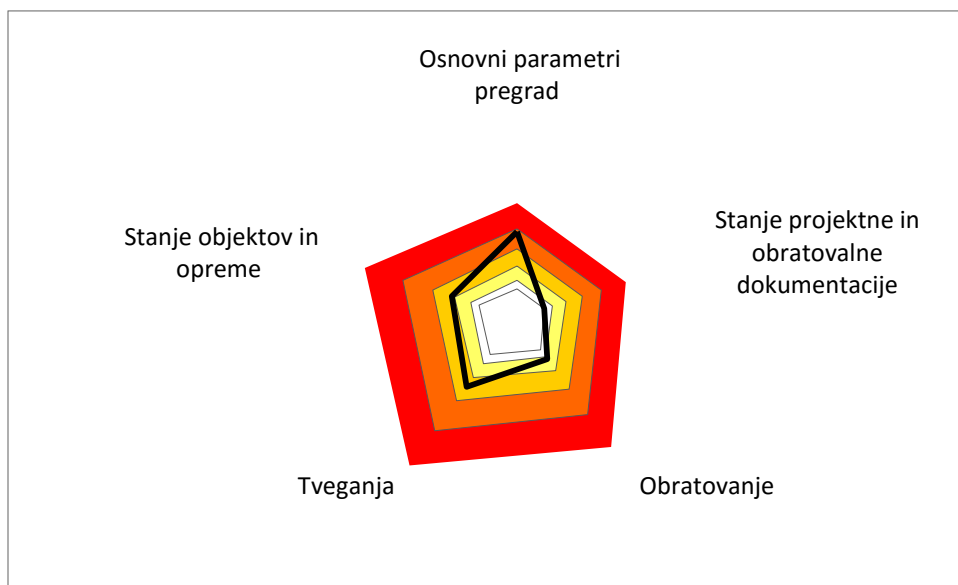
Leta 2006 se je vgradila nova oprema za upravljanje agregatov z možnim daljinskim vodenjem iz centra vodenja savskih elektrarn Ljubljana. Vsa elektro oprema je v dobrem stanju in deluje optimalno.

Skupno število točk za kriterij stanje projektne in obratovalne dokumentacije: 24 (maksimalno število točk za ta kriterij – 48)

8.6 Končna ocena tveganja za pregrado HE Vrhovo

Tabela 32: Končna ocena tveganja

KRITERIJI OCENJEVANJA:	Skupna ocena	TVEGANJE				
		MALO	MALO DO SREDNJE	SREDNJE	SREDNJE DO VELIKO	VELIKO
Osnovni parametri pregrad	30	10 - 13	14 - 18	19 - 24	25 - 31	32 - 40
Stanje projektne in obratovalne dokumentacije	10	10 - 13	14 - 18	19 - 24	25 - 31	32 - 40
Obratovanje	18	14 - 17	18 - 23	24 - 31	32 - 42	43 - 56
Tveganja	30	16 - 20	21 - 26	27 - 36	37 - 49	50 - 64
Stanje objektov in opreme	24	14 - 17	18 - 23	24 - 31	32 - 42	43 - 56
Skupna ocena	110	64 - 79	80 - 105	106 - 140	141 - 191	192 - 256



Slika 17: Končna ocena tveganja

Kot je razvidno v tabeli, pregrada HE Vrhovo predstavlja srednje tveganje za okolico, kar je povsem razumljivo, glede na njeno velikost. Zmanjšanje tveganja bi najbolj zmanjšali na račun dokončanja sanacije prelivnih polj z izgradnjo disipacijskih objektov in ureditvijo brežin ob pregradi na območju degradacijskih procesov, s čimer bi zmanjšali obratovalno tveganje in vplive na strugo dolvodno, kar bi uvrstilo pregrado v območje malo do srednjega tveganja.

9 OCENA OGROŽENOSTI ENERGETSKE PREGRADE VRHOVO

Ocena ogroženosti za HE Vrhovo je bila izdelana na podlagi Zakona o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami, Navodila o pripravi ocen ogroženosti ter projektov porušitve.

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

9.1 Možni vzroki nastanka nesreče

Največjo grožnjo za nastanek nesreče na HE Vrhovo predstavlja zajezena voda v akumulaciji hidroelektrarne.

Obstajajo trije primeri verjetnosti pojava nesreče na HE Vrhovo (Purkart, 2009):

- nekontrolirano delovanje hidromehanske opreme – majhna verjetnost,
- porušitev ali izpad enega prelivnega polja – zelo majhna verjetnost in
- porušitev ali izpad vseh petih prelivnih polj – minimalna oziroma praktično nemogoča verjetnost.

9.2 Vrste, oblike in stopnje ogroženosti ter posledice v primeru nesreč

Vrste in oblike ogroženosti so povzete iz študije o posledicah morebitne porušitve dela jezovne zgradbe HE Boštanj in kombinacije porušitve dela jezovne zgradbe HE Vrhovo in HE Boštanj na odseku HE Boštanj – NE Krško (FGG, oktober 2004).

Stopnje ogroženosti so tri:

- 1. stopnja ogroženosti – ni poplav,
- 2. stopnja ogroženosti – poplave ne ogrožajo nikogar in
- 3. stopnja ogroženosti – poplave ogrožajo objekte.

Opisanih je sedem vrst nevarnosti zloma ene ali vseh zapornic na pregradi HE Vrhovo pri obratovalnem pretoku $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ali pa pri najbolj kritičnem pretoku $1200 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri pretoku $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ so zapornice že nekoliko dvignjene in obstaja največja verjetnost, da bi lahko zdrsnile nazaj in ostale zablokirane. Prav tako je pri pretoku $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ gladina akumulacijskega jezera na nominalni koti in bi se v primeru zloma zapornic sprostito največ vode.

Tabela 33: Vrste, oblike in stopnje ogroženosti na pregradi Vrhovo

Št.	Vrsta nevarnosti	Oblika ogroženosti	Stopnja ogroženosti
1	Zlom ene zapornice na HE Vrhovo pri osnovnem pretoku in takojšnjem odpiranju zapornic na HE Boštanj	Ne pride do nevarnega seganja vode čez brežine	1
2	Zlom ene zapornice na HE Vrhovo in osnovnem pretoku 500 m ³ /s ter blokade segmentov na HE Boštanj v obstoječem položaju	Povečanje gladine vode v akumulaciji HE Boštanj (dvig vode za 21 cm nad obratovalno gladino)	1
3	Zlom vseh zapornic V HE Vrhovo in popolno odpiranje zapornic na HE Boštanj pri pretoku 500 m ³ /s	Poplavljanje obrežnega terena in objektov neposredno pod pregrado HE Boštanj	3
4	Zlom ene zapornice na HE Vrhovo in pretoku 1200 m ³ /s ter popolnem dvigu segmentov na HE Boštanj	Poplavljanje objektov do kote 175.95 m n.m.	3
5	Zlom ene zapornice HE Vrhovo in okvara zapornic na HE Boštanj pri pretoku 1200 m ³ /s	Predivanje čez nasipe in njihovo rušenje do kote obrežnega terena 181.3 m n.m. ter ogrožanje objektov pod nasipom HE Boštanj	3
6	Zlom vseh petih zapornic na HE Vrhovo pri pretoku 1200 m ³ /s ter istočasno popolno odpiranje vseh zapornic na HE Boštanj	Poplavljenje terena in objektov	3
7	Zlom vseh petih zapornic na HE Vrhovo pri pretoku 1200 m ³ /s ob defektu zapornic na HE Boštanj (ni možno dvigniti zapornic)	Povečanje gladine vode nad pregrado na koto 184.23 m n.m. (53 cm nad krono nasipov oz. izliv vode preko odprtine nasipa, ogrožanje območja pod nasipom HE Boštanj)	3

Verjetnosti nastanka verižnih nesreč so zanemarljive.

9.3 Preprečevanje možnosti pojava nesreč

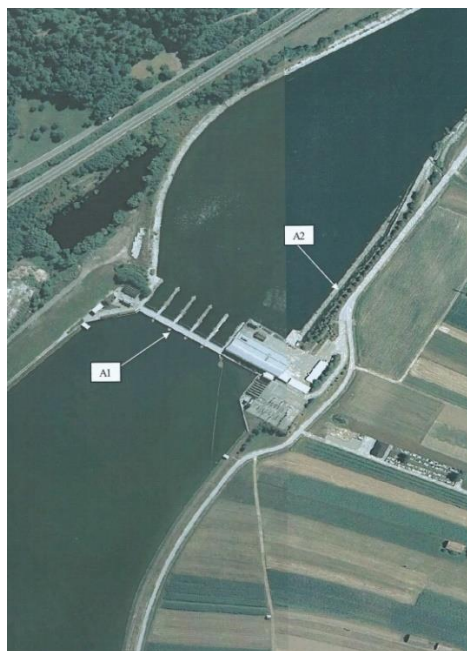
Nesreče je možno predvidevati na podlagi:

- stalnega preverjanja stanja hidromehanskih naprav,
- spremljanja hidrometeoroloških razmer (ARSO),
- spremljanja hidroloških razmer (ARSO, center vodenja SEL) in
- seizmičnega oziroma tehničnega opazovanja pregradnih objektov.

Poplavljanje reke Save se z gradnjo verige hidroelektrarn na spodnji Savi zelo zmanjšuje. Pretok reke Save je reguliran z zapornicami na prelivnih poljih hidroelektrarn. S pravilno uporabo zapornic pretok vode, v primeru povišanja vodnih tokov, ne ogroža energetskega objekta in okolice (Purkart, 2009).

Seizmično opazovanje se izvaja v Centru vodenja na HE Medvode, kjer se nahaja tudi center seizmološkega opazovanja. Podatki iz seizmoloških sensorjev se beležijo in prenašajo na centralni nadzorni sistem, kjer se shranjujejo v grafični in numerični obliki. Seizmično opazovanje pregrad za pregrado Vrhovo se vsako leto opisuje tudi v Poročilu o seizmičnem opazovanju, ki ga izvaja Mikro Medica Radenci d.o.o.. Na pregradi HE Vrhovo sta nameščena dva akcelografa, ki merita pospeške premikov, katere nato snemalnik pošilja v center vodenja. Akcelografa na pregradi Vrhovo sta (Poročilo o seizmičnem opazovanju, 2013):

- A1 – v temelju pregrade v kontrolnem hodniku v stebru med 3. in 4. prelivnim poljem,
- A2 – v seizmološki vrtini na desnem bregu Save, cca. 100m dolvodno od turbinske osi, na brežini pod dovozno cesto.



Slika 18: Lokacija sensorjev na HE Vrhovo
(Vir: SEL)

10 ZAKLJUČEK

Kot je razvidno iz vsebine diplomskega dela, se normalno vzdrževanje in obratovanje naprav ter pripadajoče opreme na hidroelektrarni Vrhovo vrši redno in relativno v skladu s predpisi in navodili. Objekt HE Vrhovo je redno vzdrževan in osebje je strokovno usposobljeno za upravljanje električnih naprav. Prav tako se tudi redno izvaja monitoring pregrade in pripadajoče okolice s strani zunanjega izvajalca. Glede na vse omenjeno, so pogoji za nastanek nesreče na pregradi Vrhovo resnično minimalni.

Največje tveganje na pregradi HE Vrhovo predstavlja nefunkcionalnost delovanja podslapij, ki so potrebna čimprejšnje obnove, saj se tolmun v podslapju ob kritičnih hidrodinamičnih razmerah, samo še povečuje. Najboljša rešitev je, da bi se vgradile bočne disipacijske grede, kot je že bilo storjeno na prvem prelivnem polju ter bi tako ustavili poglobljanje tolmana, neposredno pod jezom.

Poudaril bi še, da je bila metodologija VODPREG razvita za vodne pregrade, ki večinoma ležijo na manjših vodotokih, zato metodologija ni povsem realna za pregrade, ki so namenjene energetski izrabi, saj le-te zadržujejo veliko večjo količino vode. Prav tako so zgrajene v bližini poseljenih območij in zato predstavljajo veliko večje tveganje za okolje in prebivalstvo v vplivnem območju kot vodne pregrade, ki ležijo na stranskih vodotokih.

Zagotavljanje varnosti pregrad in varovanje brežin akumulacij ter struge dolvodno od pregrad je osnovna in najpomembnejša naloga vseh udeležencev pri gradnji, upravljanju ter obratovanju pregrad. Verjetno je še največji problem, pri zagotavljanju varnosti teh objektov v Sloveniji, v odsotnosti oziroma zastarelosti regulative za to področje, zato je nujno potrebno čimprejšnje sprejetje nove regulative za zagotovitev varnosti pri načrtovanju, gradnji in obratovanju pregradnih objektov.

VIRI

Zavod za gradbeništvo Slovenije. 2014. Poročilo o tehničnem opazovanju na pregradnem objektu in bazenu HE Vrhovo v letu 2013. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 40 str.

Mikro Medica Radenci. 2014. Poročilo o seizmičnem opazovanju za leto 2013: Pregrada: HE Vrhovo. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 77 str.

Zakrajšek M. 1997. Preračun posledic morebitne porušitve jezovne zgradbe HE Vrhovo in račun visokovodnih valov. Ljubljana, FGG, katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 13 str.

Zakrajšek M. 2004. Študija o posledicah morebitne porušitve dela jezovne zgradbe HE Boštanj in kombinacije porušitve dela jezovne zgradbe HE Boštanj na odseku HE Boštanj – NE Krško. Ljubljana, FGG, katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 11 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2006. Poslovnik o obratovanju in vzdrževanju objektov in naprav HE Vrhovo. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 11 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 2013. Pravilnik o izvajanju nalog obratovanja. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 1 str.

Savske elektrarne Ljubljana. 1999. Navodilo za varnostno praznjenje akumulacijskih bazenov savskih elektrarn v primeru nevarnosti rušenja pregrad. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 2 str.

Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami. Uradni list RS št. 51/2006 <https://www.uradni-list.si/1/content?id=73400> (Pridobljeno 10.9.2015).

Navodilo o pripravi ocen ogroženosti. Uradni list RS št. 39/1995. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=NAVO242> (Pridobljeno 10.9.2015).

Uredba o organizaciji in delovanju sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja, Uradni list RS, št. 105/2007. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4341> (Pridobljeno 10.9.2015).

Uredba o vsebini in izdelavi načrtov zaščite in reševanja. Uradni list RS 3/2002. <https://www.uradni-list.si/1/content?id=107977> (Pridobljeno 10.9.2015).

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

Savske elektrarne Ljubljana. 2009b. Ocena ogroženosti za objekt HE Vrhovo. Medvode, Savske elektrarne Ljubljana: 10 str.

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

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

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

Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov. Uradni list SFRJ št. 7/1996. Str. 128 – 129.
http://www.e-konstrukcije.si/user_files/vsebina/Zakonodaja/SFRJ_66_7_81.pdf (Pridobljeno 10.9.2015)

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

Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade. Uradni list RS, št. 92/1999.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV2172> (Pridobljeno 10.9.2015)

Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov , Uradni list RS, št. 101/2005.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV6452> (Pridobljeno 10.9.2015)

ICOLD. 1987. Dam Safety Guidelines. Bulletin 59: 191 str.

ICOLD. 2011. Dam Safety Management: Operational Phase of the Dam Life Cycle. Bulletin 154: 337 str.

Zadnik B. 20123. Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 48 str.

Humar N., Kryžanowski A. 2014. Kako lahko z minimalnimi organizacijskimi ukrepi izboljšamo varnost vodnih pregrad v Sloveniji. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 25. Mišičev vodarski dan 2014, Maribor, Slovenija, 4. December 2014. Maribor, Vodnogospodarski biro: 172-179
<http://mvd20.com/LETO2014/R26.pdf> (Pridobljeno 10.9.2015)

Kryžanowski A., Horvat A., Brilly M. 2008. Možnosti izkoriščanja energetskega potenciala v Sloveniji. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, Slovenija, 8. December 2008. Maribor, Vodnogospodarski biro: 244-253. <http://mvd20.com/LETO2008/R32.pdf> (Pridobljeno 10.9.2015)

Janežič, A. 2015. Analiza varnosti energetske pregrade Vrhovo.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

Ciuha D., Mlačnik J., Steinman F. 2002. Bočne grede v podslaphih na jezu HE Vrhovo kot ukrep za omejitev nadaljnjega poglobljanja dna struge. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, Slovenija, 29. november 2008. Maribor, Vodnogospodarski biro: 116-123. <http://mvd20.com/LETO2002/R18.pdf> (Pridobljeno 10.9.2015)

Humar N. 2008. Skrb za varnost pregrad v Sloveniji in možnosti za zmanjšanje tveganja. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, Slovenija, 8. december 2008. Maribor, Vodnogospodarski biro: 269–278. <http://mvd20.com/LETO2008/R35.pdf> (Pridobljeno 10.9.2015)

Galonja S. 2010. Pregled tehničnih predpisov s področja graditve pregrad. V: Andrej Sedej (ur.), Andrej Širca (ur.), Mojca Ravnikar Turk (ur.). 12. posvetovanje SLOCOLD: Varnost pregrad v Sloveniji, Krško, Slovenija, marec 2010: 7-11 http://www.slocold.si/zbornik/Z_12.pdf (Pridobljeno 10.9.2015)

Ravnikar Turk M., Žvanut P., Širca A., Humar N. 2012. Varnost pregradnih objektov. Ljubljana, I. kongres o vodah Slovenije 2012. http://ksh.fgg.uni-lj.si/kongresvoda/03_prispevki/01_vabljeniZnanstStrok/02_RavnikarTurk.pdf (Pridobljeno 10.9.2015)

Kryžanowski, A., Širca, A., Humar, N., Ravnikar Turk, M., Žvanut, P., Četina, M., Rajar, R., Detela, I., Polič, M. 2012. Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS – VODPREG. Razvojno raziskovalni projekt. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo. http://www.sos112.si/slo/tdocs/naloga_97.pdf (Pridobljeno 10.9.2015)

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 10.9.2015)

Humar N., Kryžanowski A. 2012. Zadrževalniki v Sloveniji. Ljubljana, I. kongres o vodah Slovenije 2012. http://ksh.fgg.uni-lj.si/kongresvoda/03_prispevki/02_strokovni/26_Humar_Kryzanowski.pdf (Pridobljeno 10.9.2012)

Savske elektrarne Ljubljana. 2015a. <http://www.sel.si/HE-vrhovo> (Pridobljeno 10.9.2015)

Savske elektrarne Ljubljana. 2015b. <http://www.sel.si/MHE-vrhovo> (Pridobljeno 10.9.2015)

Fokus društvo za sonaraven razvoj. 2015. Vodna energija. <http://www.focus.si/ove/index.php?11=vrste&12=vodna> (Pridobljeno 10.9.2015)