

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:

Benedik, N. 2012. Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentor Dolšek, M.): 142 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Benedik, N. 2012. Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Dolšek, M.): 142 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
HIDROTEHNIČNA SMER

Kandidat:

NEJC BENEDIK

ANALIZA LOKACIJE HE ZALOG NA SREDNJI SAVI

Diplomska naloga št.: 3265/HS

**LOCATION ANALYSIS OF HYDRO POWER PLANT
ZALOG ON THE MIDDLE SAVA**

Graduation thesis No.: 3265/HS

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Član komisije:

doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek

Ljubljana, 29. 11. 2012

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani NEJC BENEDIK izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»ANALIZA LOKACIJE HE ZALOG NA SREDNJI SAVI«.

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

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

Ljubljana, 6. 8. 2012

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 627.8(282.243.743)(043.2)
Avtor: Nejc Benedik
Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
Naslov: Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Obseg in oprema: 142 str., 9 pregl., 60 sl., 4 en., 52 pril.
Ključne besede: Srednjesavska veriga, HE Šentjakob, HE Zalog, HE Jevnica, nasip, poglobitev struge, akumulacija, optimizacija, zaježitvene krivulje

Izveček

Diplomska naloga je vsebinsko razdeljena na tri dele. V uvodnem sklopu je podan opis splošnega stanja energetike v Sloveniji. Predstavljeni so tako že izkoriščeni kakor tudi še neizkoriščeni energetski potenciali pri nas, poleg tega pa so navedeni tudi cilji in smernice skupne evropske energetske politike, k izpolnjevanju katerih smo kot polnopravni člani EU zavezani tudi sami. Brez večjih posegov v samo strukturo energetske proizvodnje pri nas bo do leta 2020 praktično nemogoče izpolniti pogoje, ki so predpisani v evropski energetske zakonodaji. Ker voda predstavlja enega redkih obilnejših naravnih virov pri nas, saj se po njeni količini na prebivalca uvrščamo na tretje mesto v Evropi, bo v prihodnosti za izpolnjevanje evropskih zahtev neizogibna gradnja novih hidroelektrarn. V drugem sklopu diplomske naloge je zato podan splošni pregled načrtovanih hidroelektrarn na energetske sicer zelo slabo izkoriščeni reki Savi, s posebnim poudarkom na odseku med Šentjakobom in Jevnico. Ideja o izgradnji verige energetskih objektov na tej reki ni novost, saj so bili prvi načrti izdelani že na začetku prejšnjega stoletja, kljub temu pa vse do danes še ni prišlo do realizacije projekta. V vmesnem obdobju so bile izdelane številne dodatne študije in variante verige. Zadnji in posledično tudi najbolj aktualni sta t.i. koncesijska in okoljska varianta verige. Izkaže se, da HE Zalog zaostaja za ostalimi srednjesavskimi elektrarnami tako v energetskem kot ekonomskem smislu, poleg tega pa ima tudi velik vpliv na bližnje naravne znamenitosti. V zadnjem delu naloge so podrobno predstavljene alternativne zasnove, pri katerih je nedonosna in okoljsko nesprejemljiva HE Zalog opuščena, namesto nje pa je predvidena modifikacija sosednjih dveh elektrarn. Prikazanih je 21 različnih alternativ, ki predvidevajo kombinacijo nadvišanja kote zaježitve pri HE Jevnica ter poglobljanje struge pod HE Šentjakob. Za vsako izmed različic je prikazana zaježitvena krivulja, poleg tega pa je izračunana tudi nova moč modificiranih elektrarn ter podana ocena obsega zemeljskih del. V nadaljevanju je izbrana optimalna možnost, kjer so podrobno obdelane vse potrebne tehnične rešitve vzdolž obravnavanega odseka. Prikazan je okoljski vpliv nove zasnove, podana je tudi ocena stroškov izvedbe. V zaključku so ovrednotene prednosti in slabosti izbrane zasnove pred okoljsko varianto verige, podan je tudi predlog boljše od obeh verzij.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 627.8(282.243.743)(043.2)
Author: Nejc Benedik
Supervisor: Assistant professor Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Title: Location analysis of hydro power plant Zalog on the middle Sava
Notes: 142 p., 9 tab., 60 fig., 4 eq., 52 ann.
Key words: the middle Sava power chain, HPP Šentjakob, HPP Zalog, HPP Jevnica, embankment, riverbed deepening, optimization, stagnation curves

Abstract:

The thesis is divided into three parts. In the introductory part, a description of an overall situation in slovenian energy sector is given. Both the already utilized, as well as yet untapped energy potentials of our country are presented. In addition, the goals and guidelines of the common european energy policy, to which we are bound as a full members of the EU, are listed. Without major interventions in the very structure of slovenian energy production capacities by the end of 2020, it is going to be virtually impossible to meet the conditions, specified in the european energy legislation. Since water represents one of the few abundant natural resources in our country and since its quantity per capita ranks third in Europe, the construction of new hydroelectric power plants is inevitable, if we are to meet the european requirements. Therefore, a general overview of the planned hydroelectric power plants on river Sava is presented in the second part of the thesis. Special emphasis is put on a stretch between Šentjakob and Jevnica. The idea of building a chain of power plants on the Sava is not new, since such plans were first made in the beginning of previous century, but the project remained unrealized til now. In the meantime, a number of additional studies and versions of the power chain have been made. The last and consequently most up to date are the so called concessional and environmental versions of the power chain. It turns out that HPP Zalog is lagging behind the other hydropower plants on the middle Sava on both, energetic and economical terms. In addition, it also has a major impact on the surrounding natural landmarks. In the last part of the thesis, alternative conceptions, where the unprofitable and environmentally unacceptable HPP Zalog is abandoned, are presented. Instead of building HPP Zalog, an adjustment of the adjacent plants is proposed. 21 different alternatives, that provide a combination of water level rise at the HPP Jevnica and deepening of the riverbed below HPP Šentjakob, are given. For each of these variants, a stagnation curve is shown, rated power of the modified power plants is calculated and the extent of earthworks is assesed. Hereafter, optimal of the presented variants is chosen and a detailed description of the proposed technical solutions along the discussed stretch of the river is

given. In addition, environmental impact and bill of costs of the new conception is also presented. In conclusion, strengths and weaknesses of the chosen modified version are compared to the environmental version and the better of the two variants is proposed.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu za strokovno pomoč in usmerjanje tekom nastajanja diplomske naloge. Za vso spodbudo, pomoč in podporo skozi vsa leta šolanja se še posebej zahvaljujem mami, očetu ter starim staršem.

KAZALO VSEBINE

1.0 UVOD	1
2.0 SPLOŠNI PREGLED STANJA V ENERGETIKI	3
2.1 Slovenski vodni potencial	4
2.2 Energetska problematika na reki Savi	6
2.2.1 Hidrološke značilnosti	7
2.2.2 Organizacija verige hidroelektrarn na reki Savi	10
2.2.3 Princip delovanja sklenjene verige hidroelektrarn	12
2.3 Predstavitev glavnih zasnov verige hidroelektrarn na srednji Savi	14
2.3.1 Koncesijska varianta verige hidroelektrarn na srednji Savi (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)	15
2.3.2 Okoljska varianta verige hidroelektrarn na srednji Savi (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)	17
3.0 PROSTORSKA ANALIZA ODSEKA REKE SAVE MED ŠENTJAKOBOM IN JEVNICO	20
3.1 Predstavitev naravnih in ustvarjenih danosti na obravnavanem odseku	20
3.1.1 Naravne danosti (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)	21
3.1.2 Ustvarjene danosti (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)	25
3.2 Tehnični opis verige hidroelektrarn na odseku med Šentjakobom in Jevnico	30
3.2.1 Predstavitev izbranega tipa hidroelektrarn na obravnavanem odseku	34
3.2.2 Opis izbranega pogonskega objekta in tipa turbine	35
3.2.3 Opis izbranih prelivnih objektov	37
3.2.4 Opis energetskih nasipov vzdolž akumulacij obravnavanih hidroelektrarn	38
3.3 Podrobnejša predstavitev problematike v zvezi s HE Zalog	38
3.3.1 Energetski vidik HE Zalog	39
3.3.2 Ekonomski vidik HE Zalog	39
3.3.3 Izvedbeni vidik HE Zalog	41
3.3.4 Okoljski vidik HE Zalog	42

4.0 PREDLOGI OPTIMIZACIJE SREDNJESAVSKE VERIGE Z OPUSTITVIJO HE ZALOG	45
4.1 Opis hidravličnega modela modificiranega odseka med Šentjakobom in Jevnico.....	45
4.2 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 263 m.n.v.....	47
4.2.1 Modificirana različica 1.0	48
4.2.2 Modificirana različica 1.1	52
4.2.3 Modificirana različica 1.2	56
4.2.4 Modificirana različica 1.3	58
4.2.5 Modificirana različica 1.4	60
4.2.6 Modificirana različica 1.5	62
4.2.7 Modificirana različica 1.6	64
4.3 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 264 m.n.v.....	66
4.3.1 Modificirana različica 2.0	66
4.3.2 Modificirana različica 2.1	69
4.3.3 Modificirana različica 2.2	72
4.3.4 Modificirana različica 2.3	74
4.4 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 265 m.n.v.....	76
4.4.1 Modificirana različica 3.0	76
4.4.2 Modificirana različica 3.1	78
4.4.3 Modificirana različica 3.2	81
4.4.4 Modificirana različica 3.3	83
4.5 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 266 m.n.v.....	85
4.5.1 Modificirana različica 4.0	85
4.5.2 Modificirana različica 4.1	88
4.5.3 Modificirana različica 4.2	90
4.5.4 Modificirana različica 4.3	92
4.5.5 Modificirana različica 4.4	94
4.5.6 Modificirana različica 4.5	96
5.0 IZBOR IN DETAJLNA OBDELAVA OPTIMALNE MODIFICIRANE RAZLIČICE	98
5.1 Pregled potrebnih ureditvenih ukrepov na modificiranem odseku.....	102
5.2 Predlog tehničnih rešitev in tehnologije gradnje na območju jevniške akumulacije.....	103

5.2.1 Izvedba poglobljanja savske struge	104
5.2.2 Izvedba energetskih nasipov v sklopu jevniške akumulacije	106
5.2.3 Nadvišanje terena ob sotočju Save in Ljubljanice	111
5.2.4 Ureditev manjših pritokov reke Save	112
5.2.5 Ureditev ribje steze.....	115
5.3 Predlog modifikacij pregradnih objektov HE Šentjakob in HE Jevnica.....	116
5.3.1 Modifikacije pogonskega objekta in pretočnih polj HE Jevnica	117
5.3.2 Modifikacije pogonskega objekta in pretočnih polj HE Šentjakob.....	119
5.3.3 Kontrola velikosti modificiranih pretočnih polj pri pojavu stoletne in tisočletne visoke vode	121
5.4 Stroškovna primerjava izhodiščne zasnove verige z modificirano različico	127
5.5 Zaključna primerjava izhodiščne in modificirane različice	134
6.0 ZAKLJUČEK	136
VIRI	138

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Energetski potencial slovenskih rek (vir: Kryžanowski, Rosina: Izraba vodnih sil v Sloveniji)	6
Preglednica 2: Prikaz specifičnih stroškov hidroelektrarn z obravnavanega odseka reke Save	40
Preglednica 3: Primerjava glavnih karakteristik predstavljenih modificiranih različic verige	100
Preglednica 4: Groba ocena stoletnih pretokov manjših pritokov Save z obravnavanega odseka	113
Preglednica 5: Ocena stroškov gradbenih del, povezanih z ureditvijo jevniškega akumulacijskega bazena po modificirani različici 4.5	132
Preglednica 6: Približna ocena stroškov izgradnje modificirane jezovne zgradbe HE Jevnica	133
Preglednica 7: Približna ocena stroškov opreme modificirane različice HE Jevnica	133
Preglednica 8: Približna ocena stroškov izgradnje modificirane jezovne zgradbe HE Šentjakob	134
Preglednica 9: Približna ocena stroškov opreme modificirane različice HE Šentjakob	134

KAZALO SLIK

Slika 1: Izvir Save Dolinke (levo) in izvir Save Bohinjke (desno) (vir: http://www.slovenia.info/ in http://www.mojalbum.com/javornik1270)	7
Slika 2: Sotočje Save s Kamniško Bistrico (levo) ter Ljubljanico (desno).....	9
Slika 3: Grafični prikaz razlik med izrazitim snežno-dežnim (Radovljica I) in izrazitim dežno-snežnim (Čatež I) rečnim režimom reke Save za leto 2008 (povzeto po: http://www.arso.gov.si/).....	9
Slika 4: Poenostavljen dnevni diagram obratovanja HE (vir: Kryžanowski, A. in sod., , 2007)	14
Slika 5: Situacija, predvidena po koncesijski varianti verige (vir: Kryžanowski, A. in sod.: Umeščanje HE na srednji Savi v prostor, 2007)	17
Slika 6: Razpored elektrarn po okoljski varianti (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)	19
Slika 7: Prikaz podrobneje obravnavanega odseka reke Save med Šentjakobom in Jevnico	20
Slika 8: Široko prodišče na sotočju med Ljubljanico in Savo (levo) ter prehod reke v Posavsko hribovje (desno).....	22
Slika 9: Glavne vire točkovnega onesnaženja voda na obravnavanem območju predstavljajo neurejeno kanalizacijsko omrežje (levo) ter divja odlagališča vzdolž bregov Save (desno)..	23
Slika 10: Mrtvica na desnem bregu Save v Lazah pri Dolskem (levo) in območje Beriških travnikov, kjer je predvidena vzpostavitev nadomestnih habitatov (desno).....	25
Slika 11: Zaradi občutnega dviga talne vode (levo) bodo po izgradnji hidroelektrarne Jevnica še posebej na udaru nizko ležeče kmetijske površine v okolici Dolskega (desno).....	27
Slika 12: Predlog ureditve rekreacijskih območij in kampa ob sotočju treh rek (levo – vir http://www.rralur.si), ki je danes priljubljena točka rekreativnih ribičev (desno).....	28
Slika 13: Avtocestni most pri Šentjakobu z dovolj višinske rezerve (levo) ter most v bližini naselja Laze pri Dolskem, katerega bo potrebno porušiti ter nadomestiti z novim (desno)...	29
Slika 14: Centralna čistilna naprava Zalog (levo) in razdelilna transformatorska postaja Beričevo (desno).....	30
Slika 15: Ureditev verige hidroelektrarn na odseku med Šentjakobom in Jevnico po zasnovi iz trenutno aktualne študije (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).....	33
Slika 16: Primer rečnih elektrarn – HE Boštanj in HE Blanca (vir: http://www.he-ss.si).....	34
Slika 17: Podolžni prerez tipične strojnice z vgrajeno horizontalno cevno turbino (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007) in tridimenzionalni prikaz slednje (vir: Tianfa, 2011).....	36

Slika 18: Prerez tipičnega pretočnega polja na hidroelektrarnah z obravnavanega odseka s prikazom dodatne in pomožne hidromehanske opreme (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007)	37
Slika 19: Presek ekološko pomembnih območij (rumena barva) in zaščitenih naravnih vrednot (rdeča barva) med HE Šentjakob in HE Jevnica (vir: Atlas okolja, http://gis.arso.gov.si)	43
Slika 20: Prikaz obstoječega stanja na sotočju Save s Kamniško Bistrico in Ljubljano	44
Slika 21: Prikaz ureditve, ki je na sotočju treh rek predvidena po trenutno aktualni zasnovi	44
Slika 22: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.0	49
Slika 23: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 1.0	52
Slika 24: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.1	54
Slika 25: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 1.1	55
Slika 26: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.2	57
Slika 27: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.3	59
Slika 28: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.4	61
Slika 29: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.5	63
Slika 30: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.6	65
Slika 31: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.0	68
Slika 32: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 2.0	69
Slika 33: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.1	71
Slika 34: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.2	73
Slika 35: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 2.3	74
Slika 36: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.3	75
Slika 37: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 3.0	77
Slika 38: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 3.0	78
Slika 39: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 3.1	80
Slika 40: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 3.2	82
Slika 41: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 3.3	84
Slika 42: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 4.0	86
Slika 43: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.0	87
Slika 44: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.1	89

Slika 45: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.2 .	91
Slika 46: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.3 .	93
Slika 47: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.4 .	95
Slika 48: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.5 .	97
Slika 49: Prikaz izvedbe poglobljanja struge pod HE Vuzenica (vir: Rajh, Dobnikar, Milič, 2002)	106
Slika 50: Detajl tipičnega prečnega prereza zemeljskih nasipov vzdolž jevniške akumulacije	109
Slika 51: Prikaz izgradnje skalometa vzdolž akumulacije HE Krško (vir: http://www.he-ss.)	110
Slika 52: Detajl prečnega prereza valjano-betonskih nasipov tik ob obeh hidroelektrarnah	111
Slika 53: Prikaz navadnega sifona in shema obrnjenega sifona (vir: Dr. Stephen W. Hughes: A practical example of siphon at work, USBR – Design of small canal structures 1978)	114
Slika 54: Primer ureditve vtočnega (levo) in iztočnega dela (desno) ribje steze na HE Blanca (vir: HESS d.o.o. Brežice, 2010)	116
Slika 55: Prikaz poteka gladine stoletne visoke vode z upoštevanjem modificirane struge reke Save in N-1 delujočih pretočnih polj	123
Slika 56: Prikaz poteka gladine tisočletne visoke vode z upoštevanjem modificirane struge reke Save in vseh razpoložljivih pretočnih polj	124
Slika 57: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Šentjakob pri pojavu stoletnih visokih voda.	125
Slika 58: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Jevnica pri pojavu stoletnih visokih voda	126
Slika 59: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Šentjakob pri pojavu tisočletnih visokih voda	126
Slika 60: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Jevnica pri pojavu tisočletnih visokih voda ..	126

1.0 UVOD

Poraba električne energije v svetu ves čas narašča, kar je v prvi vrsti posledica naraščanja števila prebivalcev ter intenzivne industrijske rasti držav v razvoju. V prihodnosti bo zato neizogibno večanje proizvodnih kapacitet. Ker so fosilna goriva čedalje dražja, njihova količina pa vedno bolj omejena, je za dolgoročni razvoj potrebno zagotoviti čim večji delež električne proizvodnje s pomočjo obnovljivih virov energije. K temu smo se zavezali tudi z nedavnim sprejetjem skupne evropske energetske zakonodaje ter novega Nacionalnega energetskega programa. V Sloveniji pride v poštev predvsem gradnja hidroelektrarn, saj voda tu predstavlja praktično edini naravni vir, ki ga imamo v izobilju, poleg tega pa v preteklosti še nismo v celoti izkoristili vseh večjih vodnih potencialov.

Diplomska naloga je vsebinsko razdeljena na tri dele. V prvem delu je podan splošni pregled stanja v slovenski energetiki. Predstavljeni so tako že izkoriščeni kakor tudi še neizkoriščeni energetske potenciali pri nas, poleg tega pa so navedeni tudi cilji in smernice skupne evropske energetske politike, k izpolnjevanju katerih smo kot polnopravni člani EU zavezani tudi sami. Podrobneje je predstavljena reka Sava ter energetska problematika na njej. Poseben poudarek je dan območju srednje Save, ki se razteza od Medvod do Suhadola. Predstavljene so pomembnejše zasnove verige elektrarn, načrtovanih na tem odseku reke, skupaj s principi njenega delovanja. Opisana so tudi podjetja oziroma družbe, ki bodo v bližnji prihodnosti skrbele za nemoten potek gradnje energetskih objektov na srednji Savi.

V drugem delu naloge, ki zajema poglavje 3, je opisan odsek reke Save med naseljema Šentjakob in Jevnica. Podrobno so predstavljene naravne in ustvarjene danosti tega prostora, podan pa je tudi tehnični opis energetskih objektov, predvidenih na tem območju. Po danes aktualnih zasnovah so tu predvidene tri hidroelektrarne. To so HE Šentjakob, HE Zalog ter HE Jevnica. V dosedanjih študijah se je HE Zalog z ekonomskega, energetskega in izvedbenega stališča izkazala kot ena najslabših elektrarn v verigi, zato ostaja okoli njene izvedbe veliko odprtih vprašanj. Tu je podan njen tehnični opis, ki v nadaljevanju naloge služi kot temelj za snovanje alternativnih načinov izkoriščanja vodnega padca na tem odseku reke.

Zaradi slabih ekonomskih kazalcev, majhne nazivne moči in tehnološke zahtevnosti zaloške hidroelektrarne je vprašljiva smiselnost njene izvedbe. V tretjem delu diplomske naloge, ki obsega poglavji 4 in 5, so zato podrobneje predstavljene alternativne možnosti, ki namesto izgradnje HE Zalog predvidevajo modifikacije sosednjih dveh elektrarn. Z opustitvijo stopnje

v Zalogu se močno spremenijo hidravlične razmere na obravnavanem odseku reke Save. Predlagani so posegi v strugo, s katerimi je mogoče zagotoviti energetsko ugoden nivo spodnje vode pri HE Šentjakob ter na ta način povečati njeno nazivno moč. Prikazan je vpliv zaježitvenih krivulj za posamezne modificirane geometrije struge. V poglavju 4 je dokazano, da lahko s kombinacijo poglobitve dna struge in nadvišanja kote zaježitve pri HE Jevnica v celoti pokrijemo izpad proizvodnje električne energije zaradi opustitve HE Zalog, pri nekaterih variantah pa lahko celo znatno izboljšamo energetske kazalce. Za vsako od različic je podana tudi ocena obsega zemeljskih del, detajlno pa je predstavljen tudi vpliv hidrotehničnih objektov na naravne vrednote tega območja, še posebej na sotočje treh rek ter reko Ljubljanico. Na podlagi teh treh kriterijev je predlagana optimalna zasnova verige na obravnavanem odseku, ki je v poglavju 5 še nekoliko bolj podrobno obdelana. Tu so namreč predstavljeni vsi potrebni gradbeni posegi za vzpostavitev nove ureditve, vključno s tehnologijo del ter tehničnimi rešitvami za vse problematične točke na trasi. Na koncu je izdelana še stroškovna primerjava modificirane verzije z izhodiščno zasnovo s tremi hidroelektrarnami. V samem zaključku so opisane prednosti in slabosti predlagane modificirane različice v primerjavi z danes aktualnimi zasnovami verige.

2.0 SPLOŠNI PREGLED STANJA V ENERGETIKI

Države članice Evropske unije, med njimi tudi Slovenija, so leta 2007 sprejele sistem celovitega reševanja podnebnih in energetskih vprašanj in se s tem zavezale k prehodu Evropske unije v visoko energetsko učinkovito ter nizkoogljično družbo. Cilj evropske podnebne politike je, da pride do leta 2020 do 20 % zmanjšanja porabe primarne energije, 20 – 30 % zmanjšanja emisij toplogrednih plinov glede na izhodiščno leto 1990 ter da doseže proizvodnja energije iz obnovljivih virov vsaj 20 % delež v primarni energetski bilanci. Ogljikov dioksid predstavlja z vidika človekovega prispevka najpomembnejši toplogredni plin. Največ se ga emitira pri proizvodnji električne energije (29 %), sledi promet (20 %), gospodinjstva (17 %) ter industrija (12 %). Energetski sektor torej predstavlja eno ključnih področij za zmanjšanje količin toplogrednih plinov, če želimo izpolniti zahteve evropske energetske politike. V ta namen je v Sloveniji predvideno zmanjšanje porabe fosilnih goriv, gradnja sodobnih nizkoemisijskih termoelektrarn na premog (šesti blok termoelektrarne Šoštanj) in plin, gradnja drugega bloka jedrske elektrarne Krško, spodbujanje rabe obnovljivih virov (biomasa, sonce, veter) in ne nazadnje tudi pospešena gradnja hidroelektrarn. Z večjim izkoriščanjem razpoložljivega hidroenergetskega potenciala slovenskih rek, postopnim prestrukturiranjem gospodarstva, pospeševanjem razvoja storitvenih dejavnosti ter uvajanjem energetsko varčnejših tehnologij je možno upočasniti naraščanje energetske odvisnosti in intenzivnosti. Realno gledano lahko sami pokrijemo le potrebe po dobršnem delu električne energije in manjšem delu toplotne energije tako, da moramo tudi v prihodnje računati na uvoz določenih količin energentov (vir: Kryžanowski, 2011).

Zaradi stalnega naraščanja energetske odvisnosti države ter zviševanja energetske intenzivnosti (t.j. rabe primarne energije na enoto bruto domačega proizvoda) postaja tudi pri nas koriščenje domačih obnovljivih virov energije čedalje bolj aktualno. V zadnjih dveh desetletjih je Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo skupaj z Ministrstvom za kmetijstvo in okolje pričelo z uresničevanjem politike preučevanja možnih investicij s področja izkoriščanja obnovljivih virov energije. Na to temo so bili izdelani številni uradni dokumenti, načrtovanje vodnih moči pa je podrobneje opredeljeno v Osnutku predloga Nacionalnega energetskega programa Republike Slovenije za obdobje do leta 2030 (Urbančič, A. in sod., 2011), Resoluciji o Nacionalnem energetskega programu (Uradni list RS, št. 57/2004), Energetskem zakonu (Uradni list RS, št. 27/2007) skupaj s kasnejšimi dopolnitvami ter v Državnem programu za prevzem pravnega reda Evropske unije (Ljubljana, marec 1998). V teh dokumentih so navedeni glavni cilji slovenske energetske politike, ki

narekujejo zagotavljanje zanesljivosti oskrbe z energijo in energetskimi storitvami, okoljske trajnosti, boja proti podnebnim spremembam, socialne kohezivnosti ter konkurenčnosti gospodarstva. V Osnutku predloga Nacionalnega energetskega programa iz leta 2011 so predlagani tudi konkretni operativni cilji, ki glede na izhodiščno leto 2008 predvidevajo:

- 20-odstotno izboljšanje učinkovitosti rabe energije do leta 2020 in 27-odstotno izboljšanje do leta 2030
- 25-odstoten delež obnovljivih virov energije v rabi bruto končne energije do leta 2020 in 30-odstoten delež do leta 2030
- 9,5-odstotno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov iz zgorevanja goriv do leta 2020 in 18-odstotno zmanjšanje do leta 2030
- Zmanjšanje energetske intenzivnosti za 29 odstotkov do leta 2020 in 46 odstotkov do leta 2030
- Zagotovitev 100-odstotnega deleža skoraj ničelno energijskih stavb med novimi in obnovljenimi stavbami do leta 2020
- Zmanjšanje uvozne odvisnosti na raven ne več kot 45 % do leta 2030
- Diverzifikacijo virov oskrbe z energijo na enaki ali boljši ravni od sedanje
- Nadaljnje izboljšanje mednarodne energetske povezanosti Slovenije za večjo diverzifikacijo virov energije, dobavnih poti in dobaviteljev ter nadaljnjo integracijo s sosednjimi energetskimi trgi

2.1 Slovenski vodni potencial

Voda predstavlja praktično edini naravni vir, ki ga je v sicer surovinsko siromašni Sloveniji na pretek. Povprečni letni pretok slovenskih vodotokov namreč znaša $1072 \text{ m}^3/\text{s}$, kar pomeni 16903 m^3 vode letno na prebivalca. To nas v evropskem merilu uvršča le za Švico in Norveško, kljub temu pa pri nas za gospodarske namene izkoriščamo le slaba dva odstotka razpoložljivih letnih vodnih količin, kar nas na svetovni lestvici uvršča skoraj povsem na dno. Za primerjavo, na Norveškem s hidroelektrarnami krijejo kar 99 % njihovih potreb po električni energiji, čeprav omenjena država razpolaga z velikimi zalogami nafte v Severnem morju (vir: Aqua – Media International Ltd, 2008). Tudi ostale države razvitega sveta so svojo hidroenergetsko infrastrukturo povečini že dogradile, zato Slovenija na tem področju vedno bolj zaostaja. Naša dolgoročna strateška usmeritev sicer teži k povečanju izkoriščenosti domačega hidroenergetskega potenciala in s tem k povečanju deleža hidroenergije v primarni bilanci, vendar je zaradi čedalje strožje okoljske zakonodaje in pomanjkanja finančnih sredstev ter politične volje za izvedbo velikih in dolgotrajnih infrastrukturnih

projektov vprašljiva celo izraba nekaterih ekonomsko upravičljivih vodnih potencialov. Za doseganje zadanih energetske ciljev ter izpolnjevanje evropskih zahtev bo v prihodnosti potrebno izvesti posege tako na vseh večjih, kakor tudi na nekaterih manjših vodotokih, pri čemer bo potrebno paziti, da ne pride do dodatnega poslabšanja prostorskih in ekoloških razmer. V predlogu Nacionalnega energetskega programa in v Energetskem zakonu se pri oskrbi z električno energijo daje prednost izgradnji hidroelektrarn, saj gre za obnovljiv vir energije, ki je ob spoštovanju prostorskih pogojev in naravovarstvenih zahtev tudi okoljsko sprejemljiv. Poleg tega je v Sloveniji predvsem na reki Savi in Muri na razpolago še precej neizkoriščenega vodnega potenciala, s katerim bi lahko znatno povečali delež obnovljivih virov energije v slovenski energetske shemi. Prednost hidroelektrarn je tudi v njihovi zelo dolgi življenjski dobi. Pri tem je potrebno zagotoviti sprotno vzdrževanje objekta, odpravljanje neželenih vplivov (npr. zaprojevanje akumulacijskih jezer ali zamuljenje rečnih strug), redno posodabljanje strojne opreme ter pravočasno prilagajanje njenih lastnosti bodočim potrebam elektroenergetskega sistema.

Bruto energetske potencial slovenskih vodotokov je ocenjen na 19,44 TWh letno. Za proizvodnjo elektrike je na razpolago okrog 9,15 TWh tehnično izkoristljivega vodnega potenciala, kar bi pokrilo 75 % vseh potreb po električni energiji pri nas, izkoriščanje preostanka pa z ekonomskega, tehničnega ali okoljskega vidika ni smiselno. V energetske namene je danes izkoriščena šele polovica tehnično izkoristljivega potenciala. To pomeni, da ima Slovenija pri izgradnji hidroenergetske infrastrukture še precejšnje rezerve (povzeto po: Kryžanowski, Mikoš, Brilly, 2011).

Naša energetske najbolj izkoriščena reka je Drava. Že leta 1916 je bila na njej zgrajena prva hidroelektrarna – HE Fala. V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja je bila na Dravi dokončana veriga osmih hidroelektrarn. Z dokončanjem obnove HE Ožbalt, HE Vuhred in HE Zlatoličje je vodni potencial reke Drave praktično v celoti izkoriščen. Reka Soča izkorišča okrog 34 % svojega vodnega potenciala. Na tej reki je bila zgrajena tudi prva črpalna hidroelektrarna pri nas in sicer ČHE Avče. Z izjemo HE Učja zaradi naravovarstvenih razlogov na reki Soči dolgoročno ni načrtovanih nobenih novih elektrarn. Reka Mura je na avstrijskem ozemlju dobro energetske izkoriščena, pri nas pa je bila šele leta 2005 izdana uredba, ki predvideva izgradnjo osmih hidroelektrarn. Izvedba celotnega projekta je na omenjenem vodotoku iz naravovarstvenih razlogov še vedno precej negotova. Z Osnutkom predloga Nacionalnega energetskega programa Republike Slovenije za obdobje do leta 2030 je na reki Muri namreč predvidena izgradnja zgolj dveh elektrarn (HE Hrastje in HE Veržej) v skupni moči 55 MW. Poleg omenjenih večjih vodotokov je v Sloveniji s pomočjo malih

hidroelektrarn v energetske namene izkoriščenega tudi okrog 25 % vodnega potenciala manjših vodotokov.

Reka Sava je v energetske smislu naš drugi najpomembnejši vodotok, a je s slabimi 25 % dokaj slabo izkoriščen. Prve študije za izgradnjo verige hidroelektrarn na tej reki so bile zasnovane že na začetku prejšnjega stoletja. Predvidevale so izgradnjo dveh večjih akumulacij v zgornjem toku reke, ki bi s sezonsko akumulacijo zagotavljale dovolj vode za obratovanje celotne verige tudi v sušnem delu leta. Po izgradnji HE Moste in HE Medvode se je ta ideja opustila, v ospredje pa je stopil načrt o izgradnji verige petnajstih pretočnih elektrarn na območju dolvodno od Medvod pa vse do državne meje z republiko Hrvaško pri Mokricah. Gradnja omenjene verige se je začela na odseku spodnje Save, ki je zaradi pritoka reke Krke in Savinje energetske gledano najbolj zanimiv. Spodnjesavske elektrarne naj bi bile predvidoma dokončane do leta 2018 in bi tako v normalnih razmerah letno proizvedle okrog 900 GWh električne energije, kar pa še vedno ne bi bilo dovolj za izpolnjevanje pogojev iz evropske direktive o obnovljivih virih energije. Za doseganje vsaj 20 % deleža proizvodnje energije iz obnovljivih virov bi bila nujna tudi izgradnja hidroelektrarn na srednji Savi. Tu je predvidenih devet oziroma deset hidroelektrarn, ki naj bi bile zgrajene do leta 2030, v normalnih razmerah pa bi letno skupaj proizvedle približno 1000 GWh električne energije.

VODOTOK	BRUTO POTENCIAL	TEHNIČNO IZKORISTLJIV POTENCIAL	IZRABLJEN POTENCIAL	DELEŽ ENERGETSKE RABE
	[GWh/leto]	[GWh/leto]	[GWh/leto]	[%]
Sava z Ljubljanico	4134	2794	683	24.4
Drava	4301	2896	2833	97.8
Soča z Idrijco	2417	1442	491	34.0
Mura	928	690	5	0.7
Kolpa	310	209	0	0.0
Ostali vodotoki	7350	1114	284	25.5
Skupaj	19440	9145	4296	47.0

Preglednica 1: Energetski potencial slovenskih rek (vir: Kryžanowski, Rosina: Izraba vodnih sil v Sloveniji)

2.2 Energetska problematika na reki Savi

Sava je po dolžini tretji najdaljši, po pretoku pa celo največji pritok reke Donave. Na svoji poti, dolgi 940 km, prečka štiri države. To so Slovenija, Hrvaška, Bosna in Hercegovina ter

Srbija. Posebnost reke Save je, da ima dva izvira. Prvi je Sava Dolinka, ki izvira kot Nadiža v Tamarju, nato ponikne in pride ponovno na dan v Zelencih pri Ratečah, od koder teče proti jugovzhodu. Drugi izvir je Sava Bohinjka, ki nastane z združitvijo Mostnice in Jezernice, ki izvira iz Bohinjskega jezera in teče proti severovzhodu. Oba pritoka se združita v bližini Radovljice, reka Sava pa nato teče pretežno v jugovzhodni smeri vse do Beograda, kjer se izlije v Donavo. Celotno porečje reke Save obsega 95.720 km² in zajema 7 različnih držav (poleg zgoraj omenjenih še Črno goro, Kosovo in Albanijo). Savsko porečje se pri nas razprostira na 10.746 km², kar predstavlja približno 53 % slovenskega ozemlja. Z 220 km je Sava tudi naša najdaljša reka. Njeni večji pritoki so Kokra, Sora, Kamniška Bistrica, Ljubljana, Savinja, Mirna, Krka in Sotla.



Slika 1: Izvir Save Dolinke (levo) in izvir Save Bohinjke (desno) (vir: <http://www.slovenia.info/> in <http://www.mojalbum.com/javornik1270>)

2.2.1 Hidrološke značilnosti

Zaradi značilnosti hidrološkega sistema lahko prostor reke Save razdelimo na dva dela, mejo med njima pa predstavlja sotočje omenjenega vodotoka s Kamniško Bistrico ter Ljubljano. Na zgornjem območju prevladuje t.i. snežno-dežni režim. Zanj sta značilna dva letna viška ter dva nižka pretokov. Primarni višek se navadno pojavi v pozni pomladi (maj, začetek junija) in je posledica taljenja snega v visokogorju. Sekundarni maksimum, ki se pojavi v pozni jeseni (konec oktobra, november), je ponavadi nekoliko manj izrazit. Do njega pride v času obilnih in dolgotrajnih jesenskih deževij, v primeru sušne jeseni pa se ne pojavi. V času maksimalnih pretokov odteče približno 21% celoletnega odtoka. Za zgornje območje Save velja, da se primarni minimum pretokov pojavi pozimi (od decembra do marca). To je posledica dejstva, da takrat glavnina padavin pade v obliki snega, ki se lahko v visokogorju zadrži vse do pozne pomladi. Drugi, manj izrazit minimum, nastopi v poletnih mesecih. Z oddaljevanjem od visokogorskega sveta začne pluvialna komponenta čedalje bolj

prevladovati. To se odraža v poletno-jesenskem minimumu, ki počasi postaja izrazitejši od zimskega. Visok koeficient variacije v času januarja, februarja, avgusta in septembra kaže na močno odvisnost nastopa visoke vode od padavinskih in meteoroloških pogojev. Zaradi hudourniškega značaja zgornjega dela reke Save ter večine njenih pritokov s tega območja lahko visoke vode privedejo do katastrof različnih razsežnosti. Večjih pritokov, ki bi vplivali na hidrološko sliko Save do sotočja s Kamniško Bistrico in Ljubljani ni, zato so tudi hidrološke lastnosti tega območja dokaj homogene, tako da se lahko celoten zgornji odsek reke obravnava kot enovit.

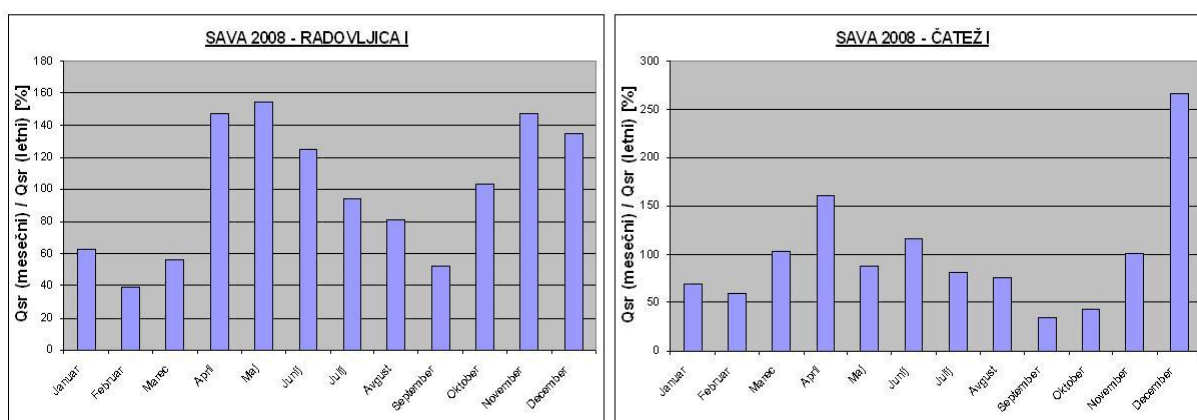
V bližini naselja Beričevo se v Savo z leve strani izliva prvi večji pritok. To je slabih 33 km dolga Kamniška Bistrica. Izvira ob južnem vznožju Kamniško-Savinjskih Alp. Njeno povodje obsega 540 km², kar znaša 5 % slovenskega dela porečja Save. V svojem zgornjem toku je reka oblikovala tudi do 20 metrov globoka korita (Mali in Veliki Predoselj), ki so nastala zaradi njenega hitrega vrezovanja vodotoka v apnenec. Nižje dolvodno je Kamniška Bistrica precej bolj degradirana, saj se je v preteklosti na tem območju močno razvila obrt in industrija. Na omenjeni reki so med drugim zgrajene tudi tri male hidroelektrarne, dve v Kamniku ter ena na Količevem. Med glavne pritoke Kamniške Bistrice spadajo Črna, Nevljica ter Pšata. Povprečni pretok reke v bližini sotočja s Savo znaša 20,9 m³/s.

Le nekaj metrov dolvodno od sotočja Kamniške Bistrice in Save dobi slednja z desne strani nov večji pritok – Ljubljani. Gre za tipično kraško reko, ki se ob Savinji ter Krki uvršča med tri največje pritoke Save v Sloveniji. Njeno porečje obsega 1890 km², kar znaša slabih 18 % porečja Save. Ljubljani je po obsegu porečja enakega velikostnega razreda kot Sava do sotočja treh rek. Porečje slednje do omenjene točke meri 2292 km². Prispevna površina reke Save se po sotočju treh rek več kot podvoji in skupaj znaša 4715 km². Vodna pot Ljubljanice obsega večje število poimensko različnih rek. Kot Truhovica izvira na Prezidskem polju na Hrvaškem ter nato teče proti Babnemu Polju, kjer tudi ponikne. Nato teče in ponika po jugozahodnem območju Slovenije pod imeni Obrh, Stržen, Rak, Pivka in Unica vse dokler ne pride na dan v Močilniku pri Vrhniku kot reka Ljubljani. Od izvirov na obrobju Ljubljanskega barja nadaljuje svojo pot sklenjeno do izliva v Savo. Na območju Barja je Ljubljani že od časa Rimljanov regulirana tako, da teče z minimalnim padcem. S pritokom hudourniške Gradaščice na območju Trnovega v Ljubljani se postopoma začne spreminjati tudi značaj reke Ljubljanice. Ta iz Ljubljanskega barja počasi preide na Ljubljansko polje, kjer se vreže v prodni nasip. Sava je skozi čas s svojim prodom zasipavala Ljubljansko polje ter s tem postopoma odpravila izliv reke Ljubljanice proti jugovzhodu, tako da se danes ta izliva vanjo šele ob močni zožitvi Ljubljanske kotline v bližini kraja Podgrad. Povprečni pretok reke Ljubljanice na tem mestu znaša okrog 55 m³/s.



Slika 2: Sotočje Save s Kamniško Bistrico (levo) ter Ljubljanico (desno)

Pritok Kamniške Bistrice ter Ljubljanice močno vpliva na značaj reke Save dolvodno od sotočja. Dotok reke Ljubljanice predstavlja dokončno prevlado pluvialne komponente odtoka, kar pomeni, da se rečni režim Save spremeni iz snežno-dežnega v dežno-snežnega. Zanj so značilni primarni maksimumi pretokov v obdobju od marca do maja. To je posledica navadno precej deževnih pomladi. Drugi višek se pojavi v pozni jeseni zaradi podobnih vzrokov. Primarni minimumi so pri tej vrsti rečnega režima bolj izraziti v času poletja (julij, avgust). Vpliv snežne komponente rečnega režima se še vedno kaže pri zimskem sekundarnem minimumu. Naslednji večji pritok Save predstavlja Savinja. Na vmesnem območju sicer reka dobi še nekaj manjših pritokov, ki pa bistveno ne vplivajo na njene značilnosti.



Slika 3: Grafični prikaz razlik med izrazitim snežno-dežnim (Radovljica I) in izrazitim dežno-snežnim (Čatež I) rečnim režimom reke Save za leto 2008 (povzeto po: <http://www.arso.gov.si/>)

Ena najpomembnejših študij, na podlagi katere so bili opredeljeni povprečni, stoletni in tisočletni pretoki reke Save, je Hidrološka študija Save, ki jo je leta 1983 izdelal Vodnogospodarski inštitut. Kot vhodni podatki za izračun na odseku tik nad sotočjem treh rek so bili uporabljeni podatki z vodomerne postaje Šentjakob, ki obratuje že od leta 1893. Za

območje tik pod sotočjem treh rek so bili uporabljeni podatki z vodomerne postaje Litija. Na gorvodnem odseku je bil srednji letni pretok ocenjen na $100 \text{ m}^3/\text{s}$, pretok s stoletno povratno dobo na $1783 \text{ m}^3/\text{s}$, pretok s tisočletno povratno dobo pa na $2119 \text{ m}^3/\text{s}$. Dolvodno od sotočja so številke zaradi pritoka Ljubljanice in Kamniške Bistrice bistveno višje. Pod Ljubljanico je bil namreč srednji letni pretok ocenjen na $176 \text{ m}^3/\text{s}$, pretok s stoletno povratno dobo na $2410 \text{ m}^3/\text{s}$, ter pretok s tisočletno povratno dobo na $2931 \text{ m}^3/\text{s}$. Rezultati te študije so bili kasneje uporabljeni tudi pri snovanju koncesijske variante srednjesavske verige hidroelektrarn. Najnovejša študija pretokov reke Save, ki je bila leta 2007 izdelana na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, kaže na izrazit trend upadanja pretokov. V 35-ih letih so se namreč desetletni povprečni pretoki zmanjšali za 26 %. Po tej študiji je na območju gorvodno od sotočja treh rek povprečni letni pretok namreč ocenjen zgolj na $89 \text{ m}^3/\text{s}$, po log Pearsonovi metodi dobljena pretoka stoletnih oziroma tisočletnih voda pa na $1590 \text{ m}^3/\text{s}$ oziroma $1830 \text{ m}^3/\text{s}$. Pod omenjenim sotočjem je povprečni letni pretok ocenjen na $168 \text{ m}^3/\text{s}$, z log Pearsonovo metodo dobljena pretoka stoletnih oziroma tisočletnih voda pa znašata $2130 \text{ m}^3/\text{s}$ oziroma $2420 \text{ m}^3/\text{s}$ (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

2.2.2 Organizacija verige hidroelektrarn na reki Savi

V energetskega smislu se reka Sava deli na gornje, srednje in spodnje območje. Veriga hidroelektrarn, ki je planirana na njej, predstavlja enega naših zadnjih velikih obnovljivih virov, ki jih je še mogoče izkoristiti za pridobivanje večjih količin električne energije. Z izgradnjo celotne savske verige bi Slovenija poleg dravskih hidroelektrarn dobila še drugo močno proizvodno hrbtnico obnovljive energije. Kljub temu, da projekt izgradnje savskih hidroelektrarn z vmesnimi prekinitvami traja že več kot 60 let, pa jih je do danes od predvidenih devetnajstih v obratovanju le sedem. Dela se na različnih odsekih reke nahajajo v različnih fazah. Kot prva je bila leta 1952 na Savi zgrajena HE Moste, ki s šestdesetimi metri višine predstavlja najvišjo slovensko pregrado. Akumulacijski bazen s prostornino $6,24 \text{ hm}^3$ omogoča tedensko izravnavo pretokov, elektrarna pa se posledično uporablja predvsem za proizvodnjo vršne energije. Leto kasneje je bila nad sotočjem Save s Soro dokončana še HE Medvode, nato pa se je gradnja hidroenergetskih objektov na slovenskem delu reke Save zaradi atraktivnejših projektov drugod po tedanji Jugoslaviji za nekaj časa ustavila. Naša naslednja savska elektrarna je bila namreč dograjena šele leta 1986. To je bila HE Mavčiče. Vsi trije zgoraj omenjeni objekti spadajo v območje zgornje Save. Danes za njihovo upravljanje in vzdrževanje skrbi družba Savske elektrarne Ljubljana, d.o.o. (SEL), s sedežem v Medvodah. Korenine družbe segajo že v leto 1908, ko je bila na potoku Završnica zgrajena prva slovenska javna hidroelektrarna. Družba z današnjim imenom je bila ustanovljena leta

1990 v Ljubljani, po šestih letih pa se je z uredbo Vlade Republike Slovenije preimenovala v Javno podjetje Savske elektrarne Ljubljana, d.o.o. Leta 2001 je Republika Slovenija kot večinski lastnik omenjenega podjetja z namenom izboljšanja upravljanja družb s področja elektroenergetike ustanovila družbo Holding Slovenske elektrarne, d.o.o. ter nanjo prenesla svoj poslovni delež v Savskih elektrarnah Ljubljana. S sklepom Vlade Republike Slovenije je leta 2007 prišlo do prenosa poslovnega deleža družbe Savske elektrarne Ljubljana iz HSE d.o.o. na GEN energijo d.o.o., ki je danes 98,9 odstotni lastnik omenjene družbe (vir: <http://www.sel.si>).

Po letu 1986 se je pozornost z zgornjega preselila na spodnji del reke Save, ki je zaradi večjih razpoložljivih vodnih količin bolj ekonomsko zanimiv. Kot prva od šestih predvidenih hidroelektrarn na spodnjem odseku Save je bila leta 1993 zgrajena HE Vrhovo, ki leži pri istoimenskem naselju, približno sedem kilometrov pod sotočjem Save s Savinjo. Omenjen objekt predstavlja edino hidroelektrarno z območja spodnje Save, ki je še v lasti družbe Savske elektrarne Ljubljana. Gradnja spodnesavske verige elektrarn se je nadaljevala z izvedbo projekta HE Boštanj. Ta je bil uspešno zaključen leta 2006 pod vodstvom družbe Skupni podvig. Zaradi zagotavljanja transparentnosti vlaganj ter skladnosti s koncesijsko pogodbo se je omenjena družba leta 2008 preoblikovala v samostojen pravni subjekt z imenom Hidroelektrarne na spodnji Savi, d.o.o. (HESS) s sedežem v Brežicah. Družba je v večinski lasti (51 %) skupine HSE, s 15,4 odstotnim deležem pa je v lastniško strukturo vključena tudi skupina GEN energija. Prioritetna naloga družbe HESS je zgraditi še preostali del verige hidroelektrarn na spodnji Savi. Leta 2010 so dokončali projekt izgradnje HE Blanca, dela pa se zaključujejo tudi na HE Krško. Letos poleti je bil sprejet tudi državni prostorski načrt za HE Brežice, pričetek del na tem objektu pa je predviden aprila naslednje leto. Pri projektu HE Mokrice se še čaka na sprejetje državnega prostorskega načrta, ki je sicer predvideno za letošnje leto. Gradnja verige elektrarn na spodnji Savi bo predvidoma končana leta 2018 (vir: <http://www.he-ss.si> in <http://www.hse.si>).

Na približno 75 km dolgem odseku srednje Save, ki obsega prostor vzdolž reke od Medvod do Suhadola, se z gradnjo hidroelektrarn še ni začelo. Za razliko od spodnesavskega območja, kjer so se dela že prevesila v drugo polovico, je bila za območje srednje Save šele leta 2004 oziroma 2006 pripravljena zakonodajna podlaga z Uredbo o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije na delu vodnega telesa reke Save od Ježice do Suhadola (Uradni list RS, št. 121/04, EVA 2004-2511-0301) in Uredbo o spremembah Uredbe o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije na delu vodnega telesa reke Save od Ježice do Suhadola (Uradni list RS, št. 83/06, EVA 2006-2511-0136). V teh aktih so navedeni pogoji za izkoriščanje energetskega potenciala na območju srednje Save.

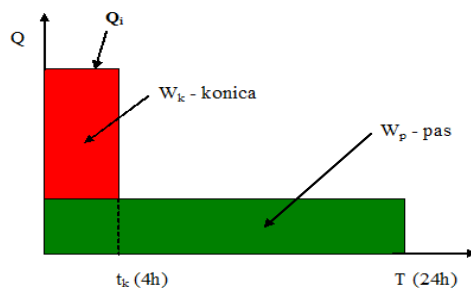
Koncesijo je pridobila družba HSE d.o.o., ki predstavlja največjega proizvajalca in trgovca z električno energijo na veleprodajnem trgu v Sloveniji. Leta 2011 je bila ustanovljena družba SRESA oziroma Srednjesavske elektrarne, d.o.o., s sedežem v Trbovljah. Njeni družbeniki so s 60 % HSE d.o.o., s 30 % SEL d.o.o. ter z 10 % GEN energija d.o.o. Družba SRESA je bila v skladu z zgoraj omenjeno uredbo ustanovljena z namenom čim prejšnjega začetka izgradnje in upravljanja devetih oziroma desetih večjih srednjesavskih elektrarn. Od HE Medvode navzdol si po vrsti sledijo HE Ježica, HE Šentjakob, HE Zalog, HE Jevnica, HE Kresnice, HE Ponoviče, HE Renke, HE Trbovlje in HE Suhadol, za zdaj pa ostaja odprta tudi možnost izgradnje HE Tacen in HE Gameljne, ki bi nadomestila drago in tehnično zahtevno derivacijsko HE Ježica. Trenutno se projekt izgradnje srednjesavskih elektrarn nahaja v procesu umeščanja v prostor, začetek gradnje je predviden za leto 2014 oziroma 2015, celotna veriga pa bo dokončana do leta 2030 (vir: <http://www.hse.si>).

2.2.3 Princip delovanja sklenjene verige hidroelektrarn

Hidroelektrarne so v elektroenergetskih sistemih sprva služile za pokrivanje konstantnega dela dnevnih potreb po električni energiji. Zaradi velike prilagodljivosti in zmožnosti takojšnjega vklopa v omrežje se je njihova vloga sčasoma spremenila, tako da danes služijo v glavnem za pokrivanje dnevnih konic električne porabe. Potrebe elektroenergetskega sistema se tekom dneva namreč močno spreminjajo (vir: Gubina, 2000). Omrežje mora s polno močjo delovati le okrog štiri ure dnevno, osem ur na dan deluje z okrog 80 % moči, približno šest ur je potrebno obratovanje s 60 % moči, preostalih šest ur pa deluje z okrog 40 % moči. Skladno s svojo vlogo v elektroenergetskem sistemu bo veriga hidroelektrarn na Savi obratovala v dnevnem režimu po principu pretočnih akumulacij s kar najmanjšim možnim nihanjem gladine vode v bazenih. Gre za razmeroma kompleksen sistem, kjer bosta HE Mavčiče in HE Medvode prevzeli vlogo čelnih akumulacijskih bazenov, akumulaciji hidroelektrarn Brežice in Mokrice pa bosta služili za izravnavanje obratovalnih pretokov celotne verige. Vlogo izravnalnih oziroma kompenzacijskih bazenov bosta opravljali tudi vmesni hidroelektrarni Jevnica in Vrhovo, saj bosta morali uravnati večje pritoke vode z Ljubljanice, Kamniške Bistrice in Savinje, pri ostalih stopnjah pa bo šlo bolj ali manj za pretočne akumulacije. Posebnost verige elektrarn je tudi v tem, da kota zgornje vode na nižje ležeči elektrarni predstavlja koto spodnje vode na višje ležeči. Morebitna kasnejša opustitev gradnje katerekoli od vmesnih hidroelektrarn bi lahko povzročila precejšnje spremembe načrtovanih vlog ostalih energetskega objektov in posledično tudi težave pri zagotavljanju normalnega delovanja verige in drugih medsebojno odvisnih dejavnosti. Želja je, da bi se manjkajoče stopnje dogradile v najkrajšem možnem času, saj bo šele po sklenitvi celotne

verige od Mavčič oziroma Medvod do Mokric možno optimalno izkoriščanje vodnega potenciala za proizvodnjo električne energije. Prve savske hidroelektrarne bodo namreč na začetku lahko obratovale le pretežno pretočno. Z nadaljnjim dograjevanjem členov v verigi se bo povečevala njihova sposobnost za proizvodnjo variabilne in vršne energije ter regulacijske moči (povzeto po: Kryžanowski, A. in sod., Hidroelektrarne na srednji Savi, 2006).

Dnevno konično obratovanje verige hidroelektrarn na Savi je razdeljeno na dopoldanski in večerni del. Vrednost šestmesečnega pretoka na odseku med Mavčičami in Zalogram znaša povprečno okrog $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Akumulacijska bazena HE Mavčiče in HE Medvode imata razmeroma veliki prostornini, zato lahko oba ta dotok pri 0,43-metrski denivelaciji dvakrat dnevno pretvorita v dve uri trajajočo konico s pretokom $214 \text{ m}^3/\text{s}$ in enourno konico s pretokom $172 \text{ m}^3/\text{s}$. Nižje ležeča tacenska akumulacija posledično dobi regulirani pretok v dveh dnevnikih konicah po tri ure, pri tem pa nima dovolj prostornine, da bi izravnala vmesni dotok reke Sore. Ta se zato uporablja za zagotavljanje biološkega minimuma v strugi ter potrebe kajakaške proge v Tacnu. Obratovalni pretoki HE Tacen imajo podoben režim kot HE Medvode, saj gladina vode v akumulacijskem bazenu niha le v skladu z dotoki Save. Naslednji dve hidroelektrarni (Ježica in Šentjakob) imata tolikšen vmesni dotok, da ga je skupaj z obratovalnimi vodami iz Tacna pri denivelaciji okrog 0,4 m možno dvakrat dnevno pretvoriti v dvourno konico po $202 \text{ m}^3/\text{s}$ in dvourno konico po $242 \text{ m}^3/\text{s}$. Naslednja stopnja v verigi je HE Zalog, ki ima tako majhen vmesni dotok, da je potrebno le manjše korigiranje pretoka skozi turbine, denivelacija pa je zanemarljivo majhna. Bolj kompliciran je nižje ležeči jevnški bazen, saj ima nalogo izravnavanja razmeroma velikega vmesnega dotoka Ljubljanice in Kamniške Bistrice (skupaj okrog $49 \text{ m}^3/\text{s}$). Instalirani pretok HE Jevnica je zato povečan na $400 \text{ m}^3/\text{s}$, kar pa še vedno omogoča dvourno dopoldansko in štiriurno večerno obratovanje elektrarne s pretokom $380 \text{ m}^3/\text{s}$ in denivelacijo okrog 0,8 m. Podobna zgodba se ponovi tudi pri HE Vrhovo zaradi dotoka reke Savinje. Manjše dotoke na vmesnih stopnjah je možno korigirati podobno kot na HE Šentjakob oziroma HE Zalog. Posebno vlogo imata še izravnalna bazena v Brežicah in Mokricah, ki na dolvodni strani blažita razlike v pretokih, do katerih pride zaradi obratovanja hidroelektrarn. Pomembno je, da se zgradi celotna veriga v nizu, saj bo le tedaj omogočeno optimalno delovanje celotne savske verige po principu pretočne akumulacije z dnevno izravnavo pretokov (povzeto po: Študija IBE, 1988).



Slika 4: Poenostavljen dnevni diagram obratovanja HE (vir: Kryžanowski, A. in sod., 2007)

2.3 Predstavitev glavnih zasnov verige hidroelektrarn na srednji Savi

Področje srednje Save, ki se razprostira med Medvodami in Suhadolom, obsega 3.711 km², dolžina reke na tem odseku pa znaša 75,2 km. Bruto energetski potencial, ki predstavlja energijo celotne vodne količine, ki odteče v enem letu na določenem odseku vodotoka pri dani višinski razliki, je za omenjeno območje ocenjen na 1185 GWh/leto. Ta številka je bila dobljena na osnovi povprečnih letnih pretokov v obdobju med leti 1961 in 1990 ter ob upoštevanju višinske razlike med spodnjo vodo pri HE Medvode in zgornjo vodo pri HE Vrhovo, ki znaša 117 metrov. Bruto energetski potencial predstavlja zgolj informativno vrednost, praktično pa ga je nemogoče v celoti izkoristiti, saj zajema tudi vodne količine, ki jih fizično ni mogoče v celoti zajeti (npr. visoke vode), poleg tega pa tudi pri pretvorbi mehanske energije v električno prihaja do določenih energijskih izgub. Dejanska proizvodnja električne energije na odseku srednje Save je tako ocenjena na 994 GWh/leto. Po dokončanju celotne verige na reki Savi bo skupna instalirana moč znašala 614 MW, srednja letna električna proizvodnja pa 2,1 TWh. Delež energetske izrabe omenjenega vodotoka se bo z izgradnjo verige povečal na 75 %, odstotek izkoriščenosti celotnega slovenskega vodnega potenciala pa na 63 %. Skupna proizvodnja slovenskih hidroelektrarn se bo tedaj povzpela na 5,7 TWh, kar je ekvivalentno celoletni proizvodnji jedrske elektrarne Krško (povzeto po: Kryžanowski, A., Mikoš, M., Brilly, M.: Hidroelektrarne na srednji Savi).

Ideja o izgradnji verige energetskih objektov na reki Savi ni novost, saj so bili prvi načrti izdelani že v začetku prejšnjega stoletja, kljub temu pa projekt še danes ni speljan do konca. Sprva je bila v zgornjem toku Save blizu Radovljice predvidena izgradnja velike akumulacije, ki bi omogočala zadrževanje zadostnih količin vode, da bi nižje ležeča veriga elektrarn lahko obratovala tudi v sušnem delu leta. Gradbena dela so se dejansko začela izvajati šele po drugi svetovni vojni. Zaradi nove infrastrukture, ki je bila zgrajena v vmesnem obdobju, in močnejše poselitve tega območja, je bila prvotna ideja opuščena. V ospredje je stopil predlog izgradnje osemnajstih manjših hidroelektrarn, ki bi obratovala v akumulacijsko pretočnem

režimu, prilagojenemu dnevni porabi električne energije. Tudi realizacija tega projekta ni potekala po terminskem planu, zato so bili tekom let potrebni čedalje večji popravki izhodiščne zasnove, predvsem na območju srednje Save. Po izgradnji HE Moste in HE Medvode so bile izdelane številne dodatne študije in variante verige, ki so bolj zajele spremenjeno stanje v naravi. Poleg tega so vedno strožje okoljske zahteve čedalje bolj zaostrovale izvedbene pogoje, kar je posledično oteževalo izvedbo projekta. S tem je le ta postajal tudi čedalje bolj ekonomsko in politično nezanimiv. Ponoven interes za izgradnjo verige elektrarn na srednji Savi se je vzpostavil šele s sprejetjem skupne evropske energetske zakonodaje in tam navedenih ciljev do leta 2020 oziroma 2030, saj so v primeru njihovega neizpolnjevanja zagrožene visoke kazni. Zadnji in posledično tudi najbolj aktualni sta t.i. koncesijska in okoljska varianta verige.

2.3.1 Koncesijska varianta verige hidroelektrarn na srednji Savi (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)

Koncesijska varianta verige hidroelektrarn na območju srednje Save temelji na izhodiščih Uredbe o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije na delu vodnega telesa reke Save od Ježice do Suhadola iz leta 2004, oziroma njenih popravkov iz leta 2006 ter 2011. Predvidena je izgradnja devetih hidroelektrarn (vir: Janežič, 2011). Veriga se začne z derivacijsko HE Ježica, ki ima predviden pregradni objekt v Vikrčah. Kota vodne gladine v akumulaciji je predvidena na 308 m.n.v. Akumulacijski bazen bo prek približno 6 km dolgega dovodnega rova in 1,35 km dolgega tlačnega rova povezan s strojnico na levem bregu Save, dolvodno od Črnuč. Izgradnja vodostana je predvidena ob izlivu Gameljščice v Savo. Pri HE Ježica se postavlja precej vprašanj, vezanih na ekonomsko upravičenost in tehnološko izvedljivost objekta. Hidravlične izgube, povezane z dolžino cevovoda, velike obremenitve tlačnega cevovoda zaradi vodnega udara, ki je posledica hitrega manevriranja s turbinami ter kompleksnost tako velike podzemne gradnje, ne govorijo v prid izvedbi omenjene elektrarne, zato se na tem odseku iščejo alternativne možnosti. Veriga se nadaljuje s HE Šentjakob. Gre za elektrarno rečnega tipa. Pregradni objekt je predviden v strugi Save, gorvodno od avtocestnega mostu pri Šentjakobu. Gladina zgornje vode se nahaja na koti 279 m.n.v. Okrog 500 metrov nad sotočjem Save, Kamniške Bistrice in Ljublanice je po koncesijski varianti predviden nov objekt, in sicer HE Zalog. Ta je zasnovana kot rečna elektrarna s pregradnim objektom v strugi Save ter deloma na nizki prodni terasi desnega brega Save. Njena kota zaježitve se nahaja na 271 m.n.v. Zgoraj omenjeno sotočje predstavlja tudi pomembno ločnico na območju srednje Save. Njegov vpliv se med drugim kaže v velikosti instaliranega pretoka na posameznih elektrarnah. Na hidroelektrarnah, ki so predvidene na

območju med sotočjem treh rek in pregradnim objektom v Medvodah, znaša instalirani pretok $260 \text{ m}^3/\text{s}$, na območju med sotočjem treh rek in izlivom Savinje v Savo pa se le-ta poveča na $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Približno 6 km dolvodno od sotočja Save z Ljubljano je ob naselju Jevnica predviden naslednji energetski objekt. Tudi ta je rečnega tipa, s koto zaježitve na 263 m.n.v. Njegova posebnost je nekoliko večji akumulacijski bazen, ki služi za izravnavo dodatnih vodnih količin iz Ljubljane in Kamniške Bistrice. Naslednja v nizu je tik nad cestnim mostom preko Save v Kresnicah predvidena HE Kresnice. Tudi v tem primeru gre za rečno hidroelektrarno, s koto zaježitve na 254 m.n.v. V verigi ji sledi nova derivacijska hidroelektrarna, in sicer HE Ponoviče s pregradnim objektom Pogonik in koto zaježitve na 245,5 m.n.v. Dovodni tunel ima dolžino 2,2 km in premer 15 m. Ponoviška strojnica se nahaja na levem bregu Save dolvodno od Litije in je prek 1,75 km dolgega odvodnega kanala povezana s Savo. Naslednja v nizu je rečna hidroelektrarna Renke. Njena kota zaježitve se nahaja na 225,5 m.n.v. Okrog 6,5 km dolvodno od tod ji sledi rečna HE Trbovlje, s koto zaježitve na 214,5 m.n.v. Kot zadnji v nizu se ob naselju Suhadol nahaja istoimenski energetski objekt rečnega tipa. Njegova kota zaježitve se nahaja na 204 m.n.v. Posebnost koncesijske variante je tudi črpalna hidroelektrarna Požarje, ki je predvidena med HE Renke in HE Trbovlje, vendar zaradi svojih specifičnosti ni obravnavana kot del srednjesavske verige. Njen akumulacijski bazen s koto zaježitve na 670 m.n.v. je predviden pri naselju Kal, tlačni cevovod z vodostanom pri vasi Požarje, strojnica elektrarne pa neposredno ob Savi.

Veriga energetskih objektov na območju srednje Save je zasnovana tako, da bo poleg pozitivnih energetskih učinkov prinesla še številne druge koristi. Tako bo na primer izboljšana zaščita okoliških zemljišč in objektov pred vplivi škodljivega delovanja voda, v sklopu projekta izgradnje hidroelektrarn bo prenovljena obstoječa prometna infrastruktura, preko pregradnih objektov se bodo zagotovile nove premostitve reke Save, odprle se bodo nove možnosti za razvoj turizma ter rekreacijskih dejavnosti, do izboljšav pa bo prišlo tudi na področju vodooskrbe. Pri velikih infrastrukturnih projektih, kamor sodi tudi izgradnja verige elektrarn na srednji Savi, pogosto prihaja tudi do različnih navzkrižij interesov v prostoru. Nekatera nesoglasja je možno zgladiti z ustreznim načrtovanjem tehničnih rešitev, pri drugih pa je potrebno sklepati kompromise, ki so sprejemljivi za čim širšo skupino udeležencev. Za zagotavljanje zadostnih količin ter ustrezne kvalitete pitne vode na območju srednje Save je na primer potrebno prilagoditi način obratovanja oziroma tehnične lastnosti nekaterih hidroelektrarn. V tem primeru ima vodooskrba prednost pred energetsko rabo vodotoka, obstaja pa tudi drugačen tip nasprotij, kjer se prednost daje energetskemu izkoriščanju reke. Tak primer je prilagajanje obstoječe lokalne prometne infrastrukture, ki bi utegnila biti v napoto predvidenim energetskim objektom.



Slika 5: Situacija, predvidena po koncesijski varianti verige (vir: Kryžanowski, A. in sod.: Umeščanje HE na srednji Savi v prostor, 2007)

2.3.2 Okoljska varianta verige hidroelektrarn na srednji Savi (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)

Že pri pregledu obstoječe dokumentacije o območju srednje Save je bilo ugotovljeno, da zasnova, opredeljena s koncesijskim aktom, ni optimalna niti v okoljskem niti v ekonomskem pogledu. Zakonsko predpisan postopek priprave državnega prostorskega načrta narekuje preverjanje sprejemljivosti gradnje energetske infrastrukture v lokalnem okolju. S tem je zagotovljeno pravočasno sodelovanje z lokalno skupnostjo in posledično tudi razreševanje morebitnih konfliktov. Tu je ponavadi pomembna predvsem stopnja neposredne prizadetosti okoliških prebivalcev zaradi morebitnih rušitev stanovanjskih in gospodarskih objektov, uničenja kmetijskih zemljišč, onemogočanja opravljanja dosedanjih dejavnosti, itd. Prav zaradi teh razlogov nadaljnje snovanje različnih tehnično, okoljsko ali ekonomsko bolj upravičenih variant verige tudi po sprejetju Uredbe o koncesiji in pripravi koncesijske variante ni povsem zamrlo. Namen priprave več različnih variant zasnove je čim bolj optimalna izraba vodnih moči ter hkrati doseganje čim boljše umestitve energetskih objektov v prostor in na ta način v kar največji meri zmanjšati škodljive vplive teh zgradb na okolje.

Okoljska varianta verige hidroelektrarn na srednji Savi je bila izdelana v okviru študije Fakultete za gradbeništvo in geodezijo ter podjetja Geateh kot optimizacija rešitev, predlaganih v koncesijski varianti, tako z okoljskega kakor tudi s tehničnega vidika. Po tej različici je na območju srednje Save predlagana izgradnja desetih hidroelektrarn v nizu ter dveh pragov. Glavne razlike v primerjavi s koncesijsko varianto se kažejo pri količini, značilnostih in času trajanja gradbenih del, s tem pa posledično tudi pri investicijskih stroških celotnega projekta. Slednji se znižajo predvsem zaradi opustitve izgradnje HE Ježica. S tem se znebimo velikih izdatkov, povezanih z izvedbo dolgega derivacijskega rova, hkrati pa se izognemo tudi slabšanju napajalnih razmer podtalnice pri vodnem zajetju v Rojah.

Namesto HE Ježica sta po okoljski varianti predlagani dve manjši, vendar tehnično lažje izvedljivi derivacijski hidroelektrarni. Prva je HE Tacen, kjer je derivacija dolžine približno 1100 m predvidena po desnem bregu Save od pregrade v Vikračah do mostu v Tacnu. Tam se nadomesti obstoječa hidroelektrarna z novo, ki bo imela večjo inštalirano moč. Druga hidroelektrarna, ki nadomešča HE Ježica, je HE Gameljne. Njen jez je lociran nad črnuškim mostom. Ob njem je po levem bregu reke predviden dovodni tunel pod tlakom dolžine približno 1600 m, ki vodi do strojnice HE Gameljne, ki si nahaja okrog 570 m dolvodno od prvotno predvidene HE Ježica.

Naslednja velika razlika med koncesijsko in okoljsko varianto je predvidena na odseku med HE Kresnice in HE Renke. Z Uredbo o koncesiji predvidena derivacijska HE Ponoviče bi preusmerila velik del pretoka reke Save v dovodni rov. S tem bi zajeta voda obšla okljuk skozi Litijo. To bi povzročilo zmanjšanje vodostaja in pretoka Save na omenjenem odseku, kar bi privedlo tudi do znižanja izdatnosti in poslabšanja kakovosti podtalnice na območju litijskega črpališča pitne vode. V okoljski verziji je zato malenkostno korigirana lokacija derivacijske HE Ponoviče, na odseku Save med pregradnim objektom Pogonik in ponoviško strojnico pa je predlagana še izgradnja dveh pragov oziroma manjših hidroelektrarn z instaliranim pretokom $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Ta dva objekta, imenovana HE Litija 1 in HE Litija 2, si v enakomernih presledkih sledita na območju litijskega okljuka. Z njuno pomočjo se lahko zagotovi večje vodne količine na območju Litije, s čimer se ohrani tudi današnji vodni značaj tega mesta.

Tretja večja sprememba, ki jo predvideva okoljska varianta, je uporaba vertikalnih namesto horizontalnih agregatov na HE Renke, HE Trbovlje in HE Suhadol zaradi bližine močnega proizvodnega objekta v Trbovljah (TET). Do manjših sprememb pri lokaciji in zaježitvenih višinah pride tudi na HE Šentjakob, HE Zalog in HE Jevnica. Prva je po okoljski varianti predstavljena pod avtocestni most preko Save pri Šentjakobu. Zaloška stopnja ostane na istem mestu, spremenjena je le njena zaježitvena višina, ki je znižana na koto 270 m.n.v. Jevniški objekt je glede na izhodiščno zasnovo premaknjen dober kilometer gorvodno, saj je s tem zmanjšan škodljiv vpliv na kmetijska zemljišča, hkrati pa je zagotovljen tudi zadosten odmik od obstoječih stanovanjskih objektov. Edina hidroelektrarna, ki glede na koncesijsko varianto ostane nespremenjena, je HE Kresnice.



Slika 6: Razpored elektrarn po okoljski varianti (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)

3.0 PROSTORSKA ANALIZA ODSEKA REKE SAVE MED ŠENTJAKOBOM IN JEVNICO

V tem poglavju je podan splošen opis naravnih in ustvarjenih danosti obravnavanega odseka reke Save. Ta se razteza od avtocestnega mostu pri Šentjakobu do predvidenega pregradnega objekta HE Jevnica v bližini naselja Senožeti. Obravnavano območje spada v prostor Mestne občine Ljubljana in občine Dol pri Ljubljani. Širina območja analize se razlikuje po posameznih vidikih, odvisna pa je od neposrednih in posrednih vplivov posega v prostor oz. od možnih interakcij posameznih dejavnosti s projektom izgradnje hidroelektrarn Šentjakob, Zalog in Jevnica. Analiza obstoječega stanja v prostoru predstavlja temelj za ugotavljanje tako pozitivnih kot negativnih vplivov na okolje, ki jih bo prineslo morebitno izkoriščanje energetskega potenciala reke Save na tem odseku. Ugotovitve študije vplivov posega na okolje lahko služijo investitorju kot opozorilo o potrebnih nadaljnjih aktivnostih in prilagoditvah projekta ter na ta način pripomorejo k izogibanju kasnejšim konfliktnim situacijam med novimi in obstoječimi dejavnostmi v prostoru. Dovolj zgodnja vključitev varstvenih mehanizmov v postopke načrtovanja, priprave prostorskih aktov in sprejemanja odločitev je nujna za zagotavljanje celovitih rešitev, tako z energetskega kot tudi z okoljskega in ekonomskega vidika. Za zagotavljanje in vzdrževanje dobrih odnosov z lokalnim prebivalstvom je pomembna tudi njihova pravočasna vključitev v vse faze projekta, saj izgradnja hidroelektrarn trajno vpliva na njihov bivanjski prostor.



Slika 7: Prikaz podrobnejše obravnavanega odseka reke Save med Šentjakobom in Jevnico

3.1 Predstavitev naravnih in ustvarjenih danosti na obravnavanem odseku

Poznavanje naravnih danosti daje eno ključnih informacij o prostoru in predstavlja temelj za nadaljnje snovanje celotne projektne dokumentacije. Specifične lastnosti lokacije v veliki meri pogojujejo primernost območja za izvajanje določene dejavnosti. Le na podlagi dobrega

poznavanja obstoječega stanja širšega območja, predvidenega za gradnjo energetskih objektov, je možno z zadovoljivo natančnostjo predvideti celoten spekter vplivov, ki jih tako velik projekt, kot je izgradnja verige hidroelektrarn, vnaša v okolje. Posegi v rečni prostor morajo biti zasnovani tako, da z njimi v nobenem pogledu prekomerno ne poslabšujemo obstoječega stanja, pač pa lahko tehnične rešitve predstavljajo neko novo kakovost in dodano vrednost v prostoru. V praksi je zaradi kompleksne prepletenosti različnih vplivov to pogosto težko doseči. Takrat je s pravilnim lociranjem, načrtovanjem ter gradnjo objekta treba poiskati opcijo, ki ustreza čim večjemu številu kriterijev, pri čemer čedalje pomembnejšo vlogo igra skrb za okolje. Za vsak večji poseg v prostor je v Sloveniji zakonsko predpisana izdelava presoje vpliva objekta na okolje. Za izdelavo omenjene dokumentacije je potrebna ekipa strokovnjakov z interdisciplinarnim znanjem s področja gradbeništva, strojništva, elektrotehnike, biologije, hidrologije, ekonomije, itd. Poleg njih je potrebno k snovanju čim bolj optimalnega posega dovolj zgodaj vključiti tudi lokalno prebivalstvo, saj bo objekt trajno vključen v njihovo okolje (vir: USDI Bureau of Reclamation, 1987).

3.1.1 Naravne danosti (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)

Obravnava območje leži na prehodu med dvema večjima pokrajinskima enotama, Savsko ravno in Posavskim hribovjem. Pregradni objekti šentjakobske, zaloške in jevniške elektrarne so locirani na jugovzhodnem delu Savske ravni, točneje na območju Ljubljanskega polja. Gre za severni del Ljubljanske kotline, kjer so reke v času pleistocena na terciarne usedline odložile velike količine prodnega materiala, ponekod debelega tudi do 100 metrov. Ljubljansko polje je sicer prežeto z rečnimi terasami, ki so na območju Šentjakoba in Zaloga že močno razširjene in posledično manj izrazite. Neposredno ob reki Savi so ponekod še ohranjeni mikroreliefni pojavi, kot so na primer ostanki mrtvih rokavov, jež in strug, večina pa jih je zaradi porasta gospodarske rabe tega prostora že popolnoma uničenih. Na levem bregu Save med HE Šentjakob in HE Zalog so relativno dobro ohranjeni Beriški travniki, ki predstavljajo življenjski prostor številnim ogroženim rastlinskim in živalskim vrstam. Dobro so ohranjena tudi prodišča na sotočju Ljubljanice in Save. Dolvodno od sotočja treh rek, v bližini naselja Dol pri Ljubljani, začne Sava počasi vstopati v novo pokrajinsko enoto – Posavsko hribovje. Dno doline reke Save se tu prične postopoma ožiti, na bregovih pa se pojavijo tudi prvi nekoliko višji vrhovi. Najpomembnejši med njimi so Lazarjev vrh, Špil, Kramarjev hrib Lipavčev grič, Velika Benica, Konikve, Štolja ter Špilj (vir: <http://www.geopedia.si> ter študija UL FGG in Geateh, 2007).



Slika 8: Široko prodišče na sotočju med Ljubljanico in Savo (levo) ter prehod reke v Posavsko hribovje (desno)

Ocena stanja voda predstavlja izhodišče za pripravo ukrepov, s katerimi naj bi se do leta 2015 doseglo dobro kakovostno stanje vseh vodnih teles pri nas. Na območju srednje Save se je do leta 2005 izvajal nadzor na merilnih mestih Šentjakob, Dolsko, Litija in Suhadol. Iz obstoječih podatkov je razvidno, da je Sava na obravnavanem odseku precej onesnažena, saj je uvrščena v drugi oziroma tretji kakovostni razred. Glavni problem predstavlja trend naraščanja vsebnosti kadmija in živega srebra v rečnih sedimentih. Na območju Zaloga je zaradi neustreznega gnojenja okoliških polj in neurejene kanalizacije problematična tudi obremenjenost reke s hranili. Z izgradnjo HE Zalog bo reka prešla v jezerski režim, kar bo povzročilo zmanjšanje njene samočistilne sposobnosti, povečano sedimentacijo, manjše navzemanje kisika in povečanje zadrževalnega časa, zato je možen pojav eutrofikacije. Kljub vsemu se kakovostno stanje reke Save v zadnjih letih izboljšuje, kar je posledica propada dela industrije ter večje pokritosti s komunalno infrastrukturo. Kakovostno stanje površinskih voda v veliki meri vpliva tudi na kakovost podtalnice. Pogosto namreč prihaja do procesov, ko površinske vode napajajo ali drenirajo podtalnico, pri čemer se medsebojno izmenjujejo tudi v vodi raztopljena onesnažila. Za podtalnico na obravnavanem območju največjo grožnjo predstavljata atrazin in njegov razgradni produkt desetil – atrazin, težave pa povzročajo še dušik, nitrati in različna fitofarmaceutvska sredstva. Če omenjena onesnažila v preveliki meri zaidejo v podtalnico, lahko ogrozijo vodooskrbo Ljubljane s širšo okolico. Kljub omenjenim težavam je podtalnica na območju Zaloga uvrščena v dober kakovostni razred, saj se za zdaj še lahko učinkovito prefiltrira na debelih prodnih plasteh Ljubljanskega polja. V sklopu projekta izgradnje hidroelektrarn na srednji Savi je potrebno poskrbeti za zmanjšanje oziroma odpravo ploskovnega in točkovnega onesnaževanja, saj bi v nasprotnem primeru prišlo do nedopustnega poslabšanja kakovosti voda na tem območju (vir: Brancelj, I., Smrekar, A., Kladnik, D., 2005).



Slika 9: Glavne vire točkovnega onesnaženja voda na obravnavanem območju predstavljajo neurejeno kanalizacijsko omrežje (levo) ter divja odlagališča vzdolž bregov Save (desno)

Pri načrtovanju in umeščanju hidroelektrarn v prostor pride v lokalnih skupnostih pogosto do strahu pred vplivi, ki bi jih imela širina in volumen novonastalega vodnega telesa na njihovo življenjsko okolje. Med okoliškimi prebivalci se največ vprašanj poraja glede vpliva akumulacij na povečano pogostost pojavljanja megle. Strah pred tem pojavom v na splošno dokaj vlažni Sloveniji ni utemeljen, saj v okolici naravnih jezer ni zaznanega izrazito pogostejšega pojavljanja megle kot na preostalih območjih. Pri nas so najpogostejše t.i. radiacijske megle, ki so značilne za nižine, kotline in doline. Nastajajo zaradi ohlajanja zraka in s tem povezanega procesa kondenzacije. Za formiranje megle torej sploh ni nujna prisotnost procesa izhlapevanja iz vodnih površin. Akumulacijski bazeni pri nastanku radiacijske megle še največjo vlogo odigrajo zaradi svoje velike toplotne kapacitete, ki bi teoretično lahko vplivala na pogostejše formiranje megle spomladi, vendar so opazovanja podobnih zajezev pri nas in v tujini pokazala, da je njihov vpliv zanemarljivo majhen. V redkih primerih bi lahko prišlo do pojava t.i. puhteče oz. parne megle, ki pa je omejena na vodno površino akumulacije. Za okoliško prebivalstvo bo v času gradbenih del večji problem predstavljala povišana koncentracija prašnih delcev in emisij v zraku, vendar se bo kvaliteta zraka na dolgi rok izboljšala, saj se bo na račun hidroelektrarn zmanjšala poraba fosilnih goriv v energetske namene. Po dokončanju projekta bodo akumulacije zaradi svoje toplotne kapacitete ublažile temperaturno nihanje v bližnji okolici. V času velike vročine bo nekoliko hladnejše akumulacijsko jezero zniževalo temperaturo okoliških zračnih plasti, pozimi pa bo toplejša akumulacija segrevala okoliški zrak (vir: Študija FGG in Geateh, 2007).

Postavitev hidroelektrarne predstavlja velik poseg v rečni prostor in povsem spremeni rečni ekosistem. Pregrada prekine prečno, do neke mere pa tudi vzdolžno povezanost reke z njenim zaledjem. Spremembe se odražajo predvsem v hitrosti toka, velikosti pretokov ter spremenjeni rečni dinamiki. Dnevne in sezonske spremembe fizikalnih parametrov postanejo

bolj predvidljive in imajo manjši razpon. Obratovanje hidroelektrarn povzroča izrazita nihanja pretokov ter vodnih gladin. Pregradni objekt predstavlja oviro za prehod rinjenih plavin, kar povzroča njihovo zastajanje v akumulacijskem bazenu, dolvodno pa se zaradi njihovega pomanjkanja struga začne poglabljati. Zaradi trajnega dviga vodne gladine v akumulacijskem bazenu so potopljena okoliška prodišča, mrtvice, lagune in deli poraslih brežin. Vse zgoraj našteje spremembe kvarno vplivajo na življenjske pogoje številnih vodnih ter obvodnih organizmov in ogrožajo njihov obstoj. Najbolj so ogroženi sulci, potočne postrvi, podusti in druge salmonidne ribje vrste, poleg njih pa bodo na udaru še kačji pastirji, dvoživke, raki, vodomci, itd. Ogrožen bo tudi obstoj rastlinskih vrst kot so brstična lilija, močvirski meček, piramidasti pilovec in navadni kukavičnik. Posebno pozornost bo med gradnjo potrebno nameniti tudi invazivnim rastlinskim in živalskim vrstam. V Sloveniji največ tovrstnih težav povzroča japonski dresnik, ki se uvršča med 100 najbolj invazivnih rastlin sveta in še posebej hitro naseli površine, kjer je zaradi človekovega delovanja prišlo do večjih premikov zemlje (vir: Ministrstvo za okolje, 2012). Varovanje ogroženih rastlinskih in živalskih vrst ter naravnih vrednot postaja pomemben del družbenih dejavnosti, saj zaradi človeških posegov v naravne procese čedalje bolj narašča pritisk na okolje. Na odseku od Mavčič do naselja Sava vzhodno od Litije je reka Sava zakonsko razglašena za ekološko pomembno območje, saj s svojimi prodišči, suhimi travišči, obrežnimi poplavnimi gozdovi, mrtvicami, mokrišči ter drugimi posebnostmi nudi življenjski prostor zgoraj omenjenim ogroženim rastlinskim in živalskim vrstam in na ta način prispeva k ohranjanju biotske pestrosti. Poleg tega je območje reke Save med Medvodami in Kresnicami uvrščeno med potencialna posebna varstvena območja (potencialna območja Natura 2000). S Pravilnikom o določitvi in varstvu naravnih vrednot so na obravnavanem območju določene štiri naravne vrednote. Edina naravna vrednota, ki ima na obravnavanem odseku državni pomen, je reka Ljubljanica, lokalnega pomena pa so še Gradolski potok, Gostinca ter sotočje Save, Kamniške Bistrice in Ljubljanice. Po Zakonu o ohranjanju narave je potrebno za vsak poseg v življenjski prostor ogroženih vrst izvesti tudi izravnalne ukrepe, s katerimi se omili negativne posledice posega na sprejemljivo raven. Določi se ekološko sprejemljiv pretok ter ekološko sprejemljiva gladina vode, ki ju je potrebno zagotavljati v vseh letnih obdobjih, ne glede na zunanje dejavnike. Sočasno je potrebno zagotoviti tudi nadzor sprememb v vodnih in obvodnih ekosistemih, saj lahko po dokončanju projekta pride do postopne sukcesije avtohtonih vrst in s tem do uničenja avtohtone flore in favne. Ob pregradah je potrebno zgraditi t.i. ribje steze, da je omogočena mobilnost rib in drugih vodnih organizmov po celotnem vodotoku. Poleg tega se lahko kot del omilitvenih ukrepov zgradi nadomestne habitate za najbolj prizadete organizme. Na odseku med Šentjakobom in Jevnico je za to predvideno območje Beriških travnikov. Gre za področje relativno dobro ohranjene kulturne krajine mokrotnih travnikov, kjer bodo urejena umetna prodišča, mokrišča, plitvine ter otoki (vir: Povž, Kryžanowski, 2007).



Slika 10: Mrtvica na desnem bregu Save v Lazah pri Dolskem (levo) in območje Beriških travnikov, kjer je predvidena vzpostavitev nadomestnih habitatov (desno)

Na obravnavanem odseku reke Save obstaja relativno visoka verjetnost pojava naravnih nesreč v obliki poplav in potresov. Poplavna območja so najizrazitejša na levem bregu Save v okolici naselij Brinje in Beričevo vse do sotočja Kamniške Bistrice in Save. Desni breg reke Save ni tako močno ogrožen, saj je bil tam zgrajen protipoplavni nasip, ki se razteza od avtocestnega mostu pri Šentjakobu pa skoraj do izliva reke Ljubljanice v Savo. Dolvodno od sotočja treh rek so na levem bregu ogrožene njivske površine v bližini naselja Dolsko, na desnem pa posamezne manjše obvodne ravnice. Projekt izgradnje verige hidroelektrarn prinaša ureditev vodnega režima Save ter postavitve energetskih nasipov vzdolž reke, zato bo na obravnavanem odseku prišlo do izboljšanja poplavne varnosti. Potresna nevarnost območja srednje Save še ni bila detajlno preučena, kljub temu pa lahko okvirno sliko dobimo iz karte nadžarišč potresov, verjetnostnih intenzitetnih kart, verjetnostnih kart vršnega pospeška tal ter karte spektralnega pospeška. Obravnavan odsek spada v področje s potresno nevarnostjo VIII. stopnje po evropski makroseizmični lestvici (EMS). Pri takšni intenziteti potresa pride do težjih poškodb nekaterih zgradb, starejši ali slabše grajeni objekti pa se lahko celo porušijo. Drugih večjih naravnih nesreč na obravnavanem odseku ne gre pričakovati (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

3.1.2 Ustvarjene danosti (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)

Zaradi čedalje manjše razpoložljivosti fosilnih goriv in vedno večjih potreb po električni energiji predstavlja vlaganje v hidroenergijo učinkovit ukrep za zagotavljanje dodatnih energetskih zmogljivosti. Ob ustreznem načrtovanju večnamenske rabe hidroelektrarn lahko njihova izgradnja prinese še mnoge druge pozitivne učinke, kot so na primer večja poplavna varnost, izboljšana vodooskrba, možnost vzpostavitve namakalnih sistemov, revitalizacija

degradiranih območij, prenova prometne in komunalne infrastrukture itd. Izgradnja srednjesavskih hidroelektrarn bo poleg pozitivnih prinesla tudi nekaj negativnih učinkov. Del zemljišč bo na račun dviga vodne gladine in postavitve spremljajočih objektov trajno izgubljen za izvajanje dosedanjih gospodarskih dejavnosti. Tekom gradnje bo bivanjska kakovost prostora manjša, zaradi uporabe težke mehanizacije pa lahko pride tudi do poškodb na obstoječi prometni in komunalni infrastrukturi. Spremenjena bo tudi krajinska podoba.

Glavno gospodarsko dejavnost na obravnavanem odseku predstavlja kmetijstvo. Prostor vzdolž Save od Medvod do Dolskega namreč spada med najrodovitnejša območja v Sloveniji. Na njem prevladuje poljedelsko živalorejska pridelovalna usmeritev. Zaradi dobro odcednih tal ter bližine Ljubljane kot večjega prodajnega trga je del kmetijskih površin namenjen tudi za vrtnarsko pridelavo. Načrtovana izgradnja hidroelektrarn Šentjakob, Zalog in Jevnica bo imela tako pozitiven, kakor tudi negativen vpliv na okoliške kmetijske površine. Na območju Zadobrove, Brinja, Sneberškega proda, Beričevega, Zaloga, Vidma ter Dolskega, kjer se nahajajo največje sklenjene površine kakovostnih tal, je po izgradnji energetskih objektov možno vzpostaviti namakalni sistem, ki bi omogočal še intenzivnejše kmetijsko izkoriščanje njivskih površin in zmanjšal razsežnosti suš. Poleg tega bo večja tudi njihova poplavna varnost. V okviru projekta izgradnje hidroelektrarn je predvidena tudi zložba oziroma komasacija kmetijskih zemljišč. Gre za upravni postopek, kjer se zemljišča na določenem območju zložijo ter ponovno razdelijo med prejšnje lastnike, tako da vsak dobi čim bolj zaokrožena območja, s tem pa je zagotovljena večja rentabilnost kmetijskih površin (vir: Geodetska družba, 2011). Med negativne učinke, ki jih bo prinesla gradnja hidroelektrarn, sodijo trajna izguba nekaterih najboljših kmetijskih površin v državi, dvig talne vode, povečano onesnaženje in zbitost tal v času gradnje ter spremenjene fizikalne lastnosti prsti. Vse to zmanjšuje obstoječi pridelovalni potencial zemljišč, zato je potrebno na prizadetih območjih zagotoviti ustrezne omilitvene ukrepe. V sklopu izvedbe projekta je predvideno izplačilo denarnih nadomestil lastnikom prizadetih zemljišč, razrahljanje tal po končani gradnji, vzpostavitev drenažnega sistema ter vzpostavitev dolgoročnega nadzora fizikalnih lastnosti okoliških tal. Izvedeno bo tudi nadvišanje območij, katerih površje se nahaja manj kot 1,5 m nad koto podtalnice. Ta ukrep predstavlja razmeroma drago in kompleksno rešitev, pri kateri je potrebna posebna previdnost, saj se lahko ob nepravilni izvedbi formirajo nepropustne plasti, ki bi stanje na terenu le dodatno poslabšale (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).



Slika 11: Zaradi občutnega dviga talne vode (levo) bodo po izgradnji hidroelektrarne Jevnica še posebej na udaru nizko ležeče kmetijske površine v okolici Dolskega (desno)

Izgradnja hidroelektrarn na obravnavanem odseku močno vpliva na poselitev in krajinsko podobo. Zaradi postavitve energetske in visokovodne nasipov, novih prometnic, komunalne infrastrukture in raznih spremljajočih objektov se zmanjša obseg razpoložljivih zazidljivih površin. Ker ureditev še ni dokončno določena s prostorskimi akti, je potrebna razmeroma široka rezervacija prostora. Desnemu bregu Save se najbolj približata naselja Laze pri Dolskem in Podgrad, poleg tega pa še posamezni stanovanjski in gospodarski objekti vzdolž Ceste v Kresnice ter Ceste v prod, levemu bregu reke pa so najbližje naselja Senožeti, Brinje, Beričevo in Dolsko. Po sedanji zasnovi se nekateri objekti nahajajo preblizu reki, tako da ni izključena njihova rušitev. Problematičnih je predvsem 8 objektov ob Gostinci ter 15 objektov v Lazah pri Dolskem med strugo reke Save in glavno cesto G2-108. Današnja podoba krajine bo močno spremenil tudi daljnovod Beričevo – Trbovlje, ki bo potekal pretežno po severnem delu savske doline. Poleg tega bodo v času gradnje naselja v bližini gradbišč dodatno obremenjena z gostejšim tovornim prometom, prekinitvami nekaterih poti, povečano količino prašnih delcev v zraku ter z višjimi nivoji hrupa v okolici, kar bistveno poslabša bivanjsko kakovost poseljenih območij. Za zagotavljanje normalnih življenjskih pogojev je potrebna izvedba omilitvenih ukrepov. Ti predvidevajo sanacijo začasno zasedenih zemljišč, zagotovitev novih javnih zelenih površin, rekreacijskih območij, dostopov do vode, čim manjše obremenjevanje lokalnih prometnic, itd. Negativni vplivi na krajinsko podobo se rešujejo s sonaravnim oblikovanjem struge in obvodnega prostora, ohranjanjem krajinskih prvin, vzpostavljanjem nadomestnih krajinskih vzorcev in kakovostnim arhitekturnim oblikovanjem energetskih objektov. Eno od ključnih točk obravnavanega odseka predstavlja sotočje Save, Kamniške Bistrice in Ljubljance, kjer je potrebno s čim manjšim gradbenim posegom zagotoviti ustrezen krajinski ambient in vzpostaviti primerne funkcionalne povezave (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

Na območju Mestne občine Ljubljana je celoten prostor vzdolž reke Save, kljub ne najbolj urejeni infrastrukturi, močno uporabljen v rekreacijske namene. Prevladujejo rekreacijske dejavnosti kot so sprehajanje, kolesarjenje, konjenišstvo, kopanje, rafting, vrtičkarstvo, itd. Med pomembnejše prostočasne dejavnosti spada tudi rekreacijski ribolov, najbolj cenjena riba na tem odseku pa je sulec. V prihodnosti bo ta prostor še bolj rekreacijsko usmerjen. Predvsem sotočje Save, Kamniške Bistrice in Ljubljanice predstavlja velik razvojni potencial za razvoj turizma in različnih prostočasnih dejavnosti, ki pa je za zdaj praktično povsem neizkoriščen. Projekt izgradnje hidroelektrarn na srednji Savi predstavlja priložnost za pristop k celovitemu urejanju širše okolice. Na odseku med Šentjakobom in Jevnico obstaja več zanimivih razvojnih možnosti. Dostopne poti, ki bodo urejene za vzdrževanje energetskih objektov ob robovih zajezev, se bodo sočasno lahko izkoriščale še za sprehajanje, kolesarjenje ali jahanje. Možne bodo povezave na različna programska jedra, urejene bodo lokacije za piknike, omogočeno bo izvajanje novih vodnih športov, odpravljena bodo okoliška divja odlagališča, pregrade bo moč vključiti v turistično ponudbo kot zanimive tehnične objekte, ob sotočju pa je predvidena tudi postavitve kampa. V okolici bo postavljenih več gostinskih obratov, urejene bodo ribolovne cone ter področja, namenjena kopanju in čolnarjenju (vir: Regionalna razvojna agencija, 2007).



Slika 12: Predlog ureditve rekreacijskih območij in kampa ob sotočju treh rek (levo – vir <http://www.rralur.si>), ki je danes priljubljena točka rekreativnih ribičev (desno)

Zaradi gradnje hidroenergetskih objektov na srednji Savi je potrebno prestaviti, nadvišati ali zaščititi nekatere odseke državnih in občinskih cest in železniških prog. Na vseh premostitvenih točkah je treba ugotoviti, ali bo po izgradnji akumulacij še vedno zagotovljena minimalna predpisana varnostna višina, ki znaša 1,5 m. Poleg tega je potrebno preveriti tudi velikost razpetin mostnih konstrukcij, saj morajo le-te omogočati nemoten odvod vode. Na odseku med Šentjakobom in Senožetmi pri Jevnici se nahajajo tri cestne premostitve. Prva je del regionalne ceste 3. reda R3 – 644 Ljubljana – Duplica. Njen spodnji rob se nahaja na koti

278,38 m, kar pomeni, da je pod predvideno koto zaježitve HE Šentjakob, zato bo stari most potrebno nadomestiti z novim, katerega spodnji rob se bo nahajal približno dva metra višje. Druga premostitev se nahaja le nekaj metrov dolvodno. Gre za del avtoceste A1 Šentilj – Koper. Pri projektiranju avtocestnega mostu je bila upoštevana tudi morebitna izgradnja HE Šentjakob dolvodno od njega, čemur je bila prilagojena višina spodnjega roba konstrukcije, ki se nahaja na koti 280,38 m. To pomeni, da se most nahaja na spodnji meji sprejemljive varnostne višine (1,38 m). Tretja premostitev na obravnavanem odseku je del lokalne ceste LC 069030 med naseljema Dolsko in Laze pri Dolskem. Spodnji rob te konstrukcije se nahaja na koti 263,2 m, kar je le 20 cm višje od predvidene kote zaježitve HE Jevnica, zato je most nujno potrebno odstraniti ter ga nadomestiti z novim, ki bo imel spodnji rob konstrukcije vsaj 1,3 m višje od današnjega. Težav s prometno infrastrukturo v bližini reke Save ne predstavljajo le premostitve, pač pa tudi horizontalni potek nekaterih cest. Nekatere odseke je potrebno nadvišati ter dodatno zaščititi njihov spodnji ustroj, drugod pa jih je treba v celoti prestaviti na novo traso. Od državnih cest je na obravnavanem odseku najbolj problematična glavna cesta G2 – 108 Ljubljana – Zidani Most. Na odseku med naseljema Dolsko in Senožeti bo namreč potrebno izvesti dvometrsko nadvišanje v dolžini okrog 2,7 km. Do težav lahko pride tudi na lokalni cesti LC 213072 Zalog – Kresnice pri podvozu pod železniško progo v Lazah pri Dolskem. Na območju srednje Save se med zelo pomembne infrastrukturne objekte uvršča tudi glavna dvotirna elektrificirana železniška proga Ljubljana – Zidani Most. Zaradi svoje pomembnosti na državni ravni je potrebno železnici posvetiti posebno pozornost in jo zaščititi pred vsakršnimi škodljivimi vplivi hidroelektrarn, bodisi z izgradnjo zaščitnih nasipov, bodisi s prilagajanjem zasnove hidroelektrarn. Izgradnja hidroelektrarn ima na prometno infrastrukturo tudi pozitivne učinke, saj so v sklopu projekta zagotovljene nove premostitve prek pregradnih objektov, v sklopu projekta pa je predvidena tudi ureditev številnih novih pešpoti, kolesarskih stez ter poljskih poti za kmetijsko mehanizacijo (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).



Slika 13: Avtocestni most pri Šentjakobu z dovolj višinske rezerve (levo) ter most v bližini naselja Laze pri Dolskem katerega bo potrebno porušiti ter nadomestiti z novim (desno).

Zaradi gradnje hidroenergetskih objektov na srednji Savi bo potrebno urediti tudi vse vrste obstoječe komunalne, energetske ter telekomunikacijske infrastrukture. Največ težav se pričakuje v povezavi s kanalizacijskim omrežjem. Na območju MOL se bo v kratkem dogradila mreža kanalizacijskih zbiralnikov, ki je ključnega pomena za transportno kapaciteto obstoječe kanalizacijske mreže in priključevanje novih območij. Prioritetna je predvsem izgradnja kanalizacijskega zbiralnika C0, ki poteka od čistilne naprave Brod vzdolž desnega brega Save preko Sneberij do Centralne čistilne naprave v Zalogu. Njegov osnovni namen je nemoteno gravitacijsko odvajanje komunalnih in tehnoloških odpadnih voda. Prečiščena voda se izpušča v reko Ljubljanico tik pred sotočjem s Savo. Detajlno je potrebno preveriti tudi morebitne spremembe razmer v okolici CČN Zalog. Oceniti je potrebno ustreznost višinskih kot iztokov voda v Savo ob upoštevanju novih razmer v strugi reke. Na mestih, kjer kota iztoka ni locirana vsaj 1 m nad koto zaježitve posamezne HE, je potrebno iztok ustrezno preurediti. Poleg kanalizacije je potrebno poskrbeti tudi za normalno delovanje elektroenergetskega omrežja. Njegovo osrčje na odseku med Šentjakobom in Jevnico predstavlja razdelilna transformatorska postaja Beričevo. Gre za največjo transformatorsko postajo v Sloveniji, kamor bodo priključene vse tri hidroelektrarne z obravnavanega območja. Ostali komunalni vodi se bodo v glavnem urejali sočasno z rekonstrukcijo glavne ceste G2 – 108 Ljubljana – Litija, poskrbeti pa je potrebno za obstoječe toplovodno, telekomunikacijsko in plinovodno omrežje (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).



Slika 14: Centralna čistilna naprava Zalog (levo) in razdelilna transformatorska postaja Beričevo (desno)

3.2 Tehnični opis verige hidroelektrarn na odseku med Šentjakobom in Jevnico

V preteklosti so v zvezi z energetske izrabo območja srednje Save že bile izdelane številne študije, ki so med drugim predvidevale izgradnjo hidroelektrarn tudi na odseku med Šentjakobom in Jevnico. Najstarejšo med njimi (Študija energetske izrabe Save od Medvod

do Mokric) je leta 1979 izdelalo podjetje IBE. V njej je na obravnavanem odseku predvidena postavitvev treh hidroelektrarn. Po vrsti si sledijo HE Šentjakob, HE Zalog in HE Jevnica. Prva je bila zasnovana okrog 1,5 km gorvodno od cestnega mostu preko Save v Šentjakobu, njen neto padec pa je bil ocenjen na 10 m. V isti študiji je HE Zalog predvidena kot rečna elektrarna, locirana približno 700 m gorvodno od sotočja Save z Ljubljanico oziroma Kamniško Bistrico. Njen neto padec bi po tedanji zasnovi znašal približno 10,4 m. Zadnja elektrarna z obravnavanega območja je bila v IBE-jevi študiji predvidena okrog 900 m gorvodno od mostu preko Save v Jevnici. Njena zaježitvena gladina se je po tedanji zasnovi nahajala na koti 265 m.n.v. in je hkrati predstavljala tudi višino spodnje vode HE Zalog. Neto padec HE Jevnica je bil v študiji ocenjen na 8,85 m (vir: študija UL FGG in Geateh, 2007).

Ker se je z izvedbo projekta izgradnje predolgo čakalo, je študija postala zastarela, saj ni več opisovala dejanskih razmer na terenu. Te so se na obravnavanem območju še posebej hitro spreminjale. Vzrok za to je izgradnja HE Medvode, ki je povzročila zastajanje plavin v akumulaciji, dolvodno od pregradnega objekta pa je prišlo do izrazitega poglobljanja struge. Od leta 1953, ko je bila HE Medvode zgrajena, pa do danes, se je savska struga na območju Zaloga poglobila za kar štiri metre. Proces intenzivno poteka še danes, brez ustreznih ureditvenih ukrepov pa lahko poglobljanje struge na dolgi rok povzroči težave v kmetijstvu in vodooskrbi. Poleg sprememb terenskih razmer se je v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja močno zaostriala tudi okoljska zakonodaja. Varovanje ogroženih rastlinskih in živalskih vrst ter ohranjanje nedotaknjenosti njihovih habitatov je dobivalo vedno večjo veljavo, kar je onemogočilo izvedbo hidroenergetskih objektov po študiji podjetja IBE. Tekom let se bile zato opravljene številne raziskave ter izdelane dodatne študije. Vsem novim zasnovam je skupno nižanje zaježitvenih višin po posameznih elektrarnah. V luči dodatnih geoloških in hidrogeoloških podatkov je bila nekoliko prilagojena tudi lokacija pregradnih objektov nekaterih elektrarn. Ker projekt izgradnje hidroelektrarn na srednji Savi še vedno ni vstopil v izvedbeno fazo, so tudi te študije postale zastarele, zato so za nadaljnje projektiranje le delno uporabne.

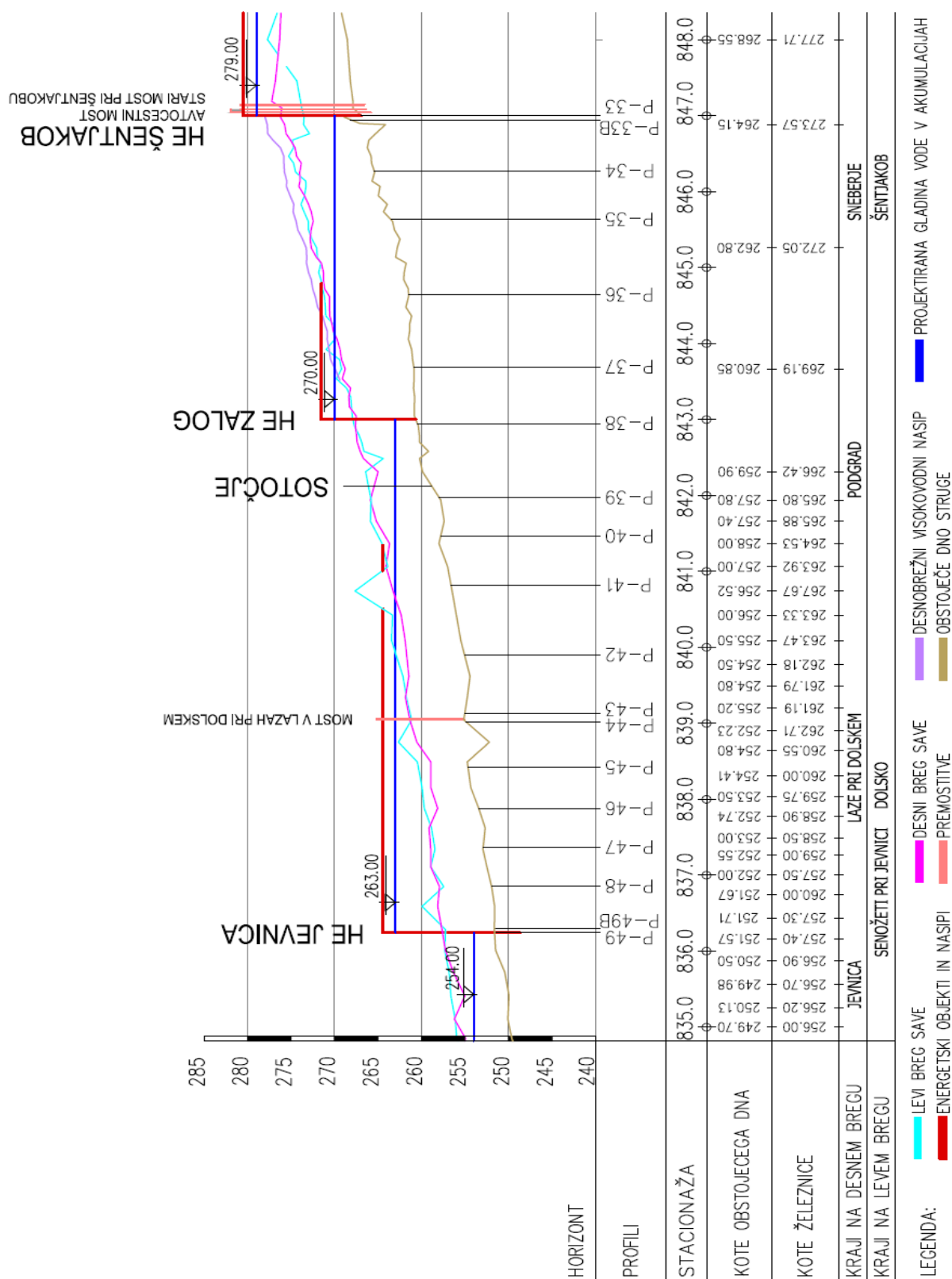
Iz tega razloga je bila leta 2004 v sklopu priprave Uredbe o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije na delu vodnega telesa reke Save med Ježico in Suhadolom izdelana nova študija, ki danes predstavlja temelj za nadaljnje projektiranje srednjesavskih hidroelektrarn. Gladine zgornje vode na zgoraj omenjenih hidroelektrarnah so v tej študiji močno znižane, kar zagotavlja manjši okoljski vpliv, hkrati pa z nižanjem vodnih padcev slabi ekonomske kazalce investicije. Izkazalo se je, da vodni potencial srednje Save tudi po t.i. koncesijski zasnovi ni optimalno izkoriščen, zato je bila leta 2007 v okviru študije UL FGG in podjetja Geateh izdelana optimizirana zasnova verige, ki je aktualna še danes. V njej je HE

Šentjakob prestavljena nekaj metrov dolvodno od cestnega in avtocestnega mostu preko Save, kar sicer povzroča težave z zagotavljanjem zadostne varnostne višine omenjenih premostitev, vendar je to praktično edina lokacija, kjer se geološko ugodne karbonske in permske klastične kamnine nahajajo dovolj blizu površja, da se na njih lahko izvede normalno temeljenje pregradnega objekta. Gladina vode v šentjakovski akumulaciji je predvidena na koti 279 m.n.v., bruto vodni padec na tem objektu pa znaša devet metrov (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

Hidroelektrarna Zalog je po zasnovi iz leta 2007 locirana približno 500 m nad sotočjem reke Save s Kamniško Bistrico in Ljubljano. Tudi pri tem objektu ni na razpolago veliko manevrskega prostora v zvezi z mikrolokacijo. HE Šentjakob in HE Zalog sta namreč že v osnovi med seboj oddaljeni le slabe štiri kilometre, kar je eden glavnih razlogov za majhen vodni padec na zaloški stopnji. Ta po zasnovi UL FGG in podjetja Geateh znaša le sedem metrov. Kota gladine zgodnje vode v zaloški akumulaciji je predvidena na 270 m.n.v., kar je skoraj šest metrov nižje kot po prvotni zasnovi iz leta 1979. Znižanje kote zaježitve pri HE Zalog predstavlja najboljši kompromis med učinkovito izrabo vodnih moči za proizvodnjo električne energije in neželenimi vplivi energetskega objekta na okolico. Na ta način je namreč možno omiliti vpliv akumulacije na okoliške kmetijske površine, zmanjšan pa je tudi vpliv na tokovno sliko podtalnice Ljubljanskega polja, ki je pomembna z vidika vodooskrbe. Morebiten premik zaloške hidroelektrarne v gorvodno smer ne bi imel pravega smisla, saj bi se vodni padec na račun zaježitvene krivulje v jevniški akumulaciji dodatno zmanjšal. Poleg tega so gorvodno od trenutno predvidene lokacije tudi razmere za temeljenje pregradnega objekta precej slabše. Tam se namreč nahaja debela plast zelo prepustnega savskega proda, kar bi močno podražilo gradnjo. Pomik pregradnega objekta HE Zalog dolvodno ni mogoč, ker bi s tem prišlo do potopitve sotočja treh rek in prevelikih vplivov na izlivni del reke Ljubljane. Oboje je nesprejemljivo s stališča varovanja naravnih vrednot (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

HE Jevnica je zadnja elektrarna z obravnavanega odseka reke Save. Po študiji UL FGG in podjetja Geateh iz leta 2007 je pregradni objekt predviden v neposredni bližini naselja Senožeti pri Jevnici. Tudi v tem primeru je lokacija pregrade dokončno določena, saj so ravno tu pogoji za temeljenje objekta še najbolj ugodni. Pri HE Jevnica je kota zaježitve predvidena na 263 m.n.v., kota spodnje vode pa na 254 m.n.v. Akumulacijski bazen se razteza med jevniškim in zaloškim pregradnim objektom, njegov vpliv pa se pozna tudi na izlivnem delu Ljubljane in Kamniške Bistrice. Jevniška akumulacija po volumnu sodi med večje, saj med drugim služi za izravnavo vodnih količin Ljubljane in Kamniške Bistrice. HE Jevnica je tudi prva elektrarna srednesavske verige s povečanim instaliranim pretokom. Ta

znaša 400 m³/s, medtem ko le-ta na višje ležečih elektrarnah znaša zgolj 260 m³/s (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).



Slika 15: Ureditev verige hidroelektrarn na odseku med Šentjakobom in Jevnico po zasnovi iz trenutno aktualne študije (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007)

3.2.1 Predstavitev izbranega tipa hidroelektrarn na obravnavanem odseku

Zaradi naravnih razmer na reki Savi vzdolž obravnavanega območja, se kot najprimernejši izkaže rečni tip hidroelektrarn. Ta je namreč primeren za vodotoke z velikimi pretoki in majhnimi padci (do maksimalno 35 m). Na naših vodotokih je rečni tip hidroelektrarne tudi sicer najpogosteje uporabljen. Od večjih slovenskih hidroelektrarn so bile na ta način izvedene HE Dravograd, HE Vuzenica, HE Vuhred, HE Ožbalt, HE Fala, HE Mariborski otok, HE Mavčiče, HE Medvode, HE Vrhovo, HE Boštanj, HE Blanca, HE Krško in HE Solkan. Rečne elektrarne se delijo na več podvrsti, na obravnavanem odseku srednje Save pa je bila izbrana blokovna shema. Gre za osnovni tip rečne elektrarne, kjer pregradni profil sestavljata dva sklopa – pogonski in prelivni del. Strojnica z agregati se nahaja v enovitem bloku na enem od bregov, prelivni blok pa na preostanku prečnega profila. Slednji služi za prevajanje visokih voda ter plavja oziroma plavin, zato mora biti dovolj širok, da ne pride do težav pri odvajanju visokih pretokov. V nasprotnem primeru je potrebno rečno strugo dodatno razširiti ali prestaviti strojnični blok še bolj v breg (vir: Kryžanowski, 2011).



Slika 16: Primer rečnih elektrarn – HE Boštanj in HE Blanca (vir: <http://www.he-ss.si>)

Na obravnavanem odseku Save predstavljata HE Šentjakob in HE Zalog tipični pretočni hidroelektrarni. Zaradi majhne prostornine njunih akumulacij, ti elektrarni nimata možnosti, da bi za jezom zbirali večje zaloge vode, pač pa sproti izrabljata trenutno razpoložljivo vodo v strugi. Glavna slabost tega je, da sta proizvedena energija in oddana moč odvisni od pretoka, ki ga v veliki meri narekujejo višje ležeče elektrarne v verigi. HE Jevnica ima nekoliko večji volumen akumulacije, zato se tudi njena vloga v verigi razlikuje od vloge zgoraj opisanih elektrarn. Jevniški bazen namreč služi za vmesno izravnavo pretokov v verigi. Ker gre za prvi energetski objekt dolvodno od izliva Ljubljanice in Kamniške Bistrice v Savo, mora jevniška akumulacija skrbeti tudi za izravnavo dodatnih vodnih količin s teh dveh rek. Zaradi bolj kompliciranih obratovalnih pogojev je v akumulacijskem bazenu HE Jevnica dovoljena denivelacija vodne gladine v višini enega metra (vir: Voršič, J., 2012).

3.2.2 Opis izbranega pogonskega objekta in tipa turbine

Pri rečnih elektrarnah je pogonski objekt oziroma strojnična zgradba sestavni del pregradnega objekta. Sestavljen je iz določenega števila agregatov, dovodnega dela, centralnega dela turbinskega trakta z generatorjem in pomožnimi napravami ter iz odvodnega dela. Zasnova strojničnih prostorov srednjesavskih hidroelektrarn je bila za potrebe idejne faze v glavnem povzeta po načrtih pogonskih objektov hidroelektrarn na spodnji Savi. Glavno razliko med obema verigama predstavlja zmanjšanje števila agregatov po posameznih elektrarnah s treh na dva. Pomembno vlogo igrajo tudi podatki o zajeznih gladinah, ki so merodajne za določitev neto padcev in s tem tudi karakteristik turbin oziroma agregatov na hidroelektrarnah z obravnavanega odseka reke Save (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

Z vidika proizvodnje električne energije predstavlja turbina enega od najpomembnejših delov strojnice. Gre za mehansko napravo, ki pretvarja potencialno energijo vode v mehansko delo rotacije. Z usmeritvijo vodnega toka na gonilno kolo turbine se povzroči vrtenje gonilnika, ki je z gredjo povezan z rotorjem generatorja. Z vzbujanjem navitja rotorja se v navitju statorja generatorja inducira električni tok. Izbor tipa turbine temelji predvsem na splošno uveljavljeni praksi in izkušnjah proizvajalcev. Za optimalno izbiro je potrebno podrobno poznavanje rečnega pretoka in neto vodnega padca. S pomočjo teh dveh količin se določi instalirani pretok, na podlagi česar se nato izračuna specifično število vrtljajev ter izbere najustreznejši tip turbine za posamezno hidroelektrarno. Na hidroelektrarnah z obravnavanega odseka je predvidena vgradnja horizontalnih cevni turbini, saj se izkažejo za bolj učinkovite pri manjših padcih (do 25 m) in večjih pretokih. Poleg tega omogočajo tudi do 30 % večjo požiralnost kot vertikalne turbine. Cevni agregat je ožji in lažji, vodni trakt je daljši in nižji, dimenzije gonilnika pa tudi do 20 % manjše. Vgradnja cevni agregatov posledično zahteva plitvejšo temeljenje, zato je lahko izvedba tudi do 40 % cenejša kot pri vgradnji vertikalni agregatov, izkoristek v območju delovanja cevne turbine pa do 3 % višji od primerljivih vertikalni Kaplanovih turbin (vir: Kryžanowski, 2011).

V strojnici torej poteka pretvorba mehanske energije vode v električno energijo. Na osnovi podatka o moči hidroelektrarne lahko izračunamo povprečno letno količino proizvedene električne energije, na podlagi katere je zasnovan izračun ekonomske upravičenosti izgradnje objekta. Za določitev moči elektrarne moramo v splošnem poznati njen instaliran pretok ter razpoložljiv bruto vodni padec. Pri pretvorbi energije iz ene oblike v drugo prihaja tudi do izgub, ki jih je prav tako treba upoštevati v izračunu. Bruto padec se zmanjša zaradi izgub pri obtekanju ovir (npr. vtočnih rešetk) ter trenjskih izgub vzdolž turbinskega trakta,

poleg tega pa se pri polnem pretoku skozi turbine do določene mere dvigne tudi nivo spodnje vode. Do znatnih izgub prihaja še na turbinah in generatorjih. Skupni koeficient izgub se navadno vrti okrog številke 0,865. Za določitev moči hidroelektrarn z obravnavanega odseka reke Save izhajamo iz vprašanja, kolikšno delo opravi voda pri spustu s prvega na drugi nivo. Opravljeno delo je enako potencialni energiji vode na zgornjem nivoju, kar lahko izrazimo z enačbo:

$$\bullet \quad A[J] = F_g [N] * H_{net} [m] * \eta [l] = m [kg] * g \left[\frac{m}{s^2} \right] * H_{net} [m] * \eta [l] \quad (1)$$

Moč je definirana kot delo, ki je bilo opravljeno v določenem času, zato gornjo enačbo delimo s časom t in dobimo:

$$\bullet \quad P[W] = \frac{A[J]}{t[s]} = \frac{m [kg] * g \left[\frac{m}{s^2} \right] * H_{net} [m] * \eta [l]}{t[s]} = \frac{m [kg]}{t[s]} * g \left[\frac{m}{s^2} \right] * H_{net} [m] * \eta [l] \quad (2)$$

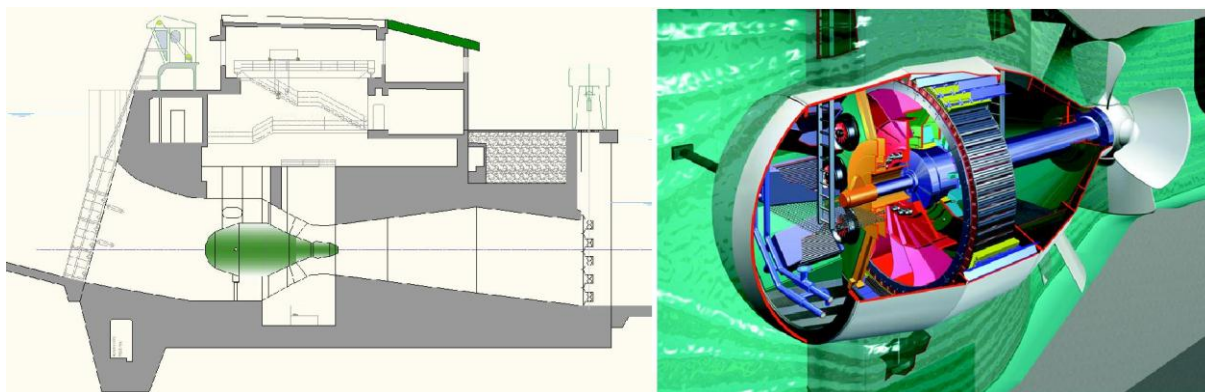
Prvi člen na desnem delu zgornje enačbe predstavlja maso tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbran presek. To količino imenujemo masni tok Φ_m in ga lahko zapišemo tudi na drug način:

$$\bullet \quad \Phi_m = \frac{m [kg]}{t[s]} = \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] * Q \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (3)$$

Pri tem predstavlja ρ gostoto vode, Q pa prostorninski tok. Če enačbo (3) vstavimo v enačbo (2) dobimo končni izraz za izračun moči hidroelektrarne:

$$\bullet \quad P[W] = \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] * Q \left[\frac{m^3}{s} \right] * g \left[\frac{m}{s^2} \right] * H_{net} [m] * \eta [l] \quad (4)$$

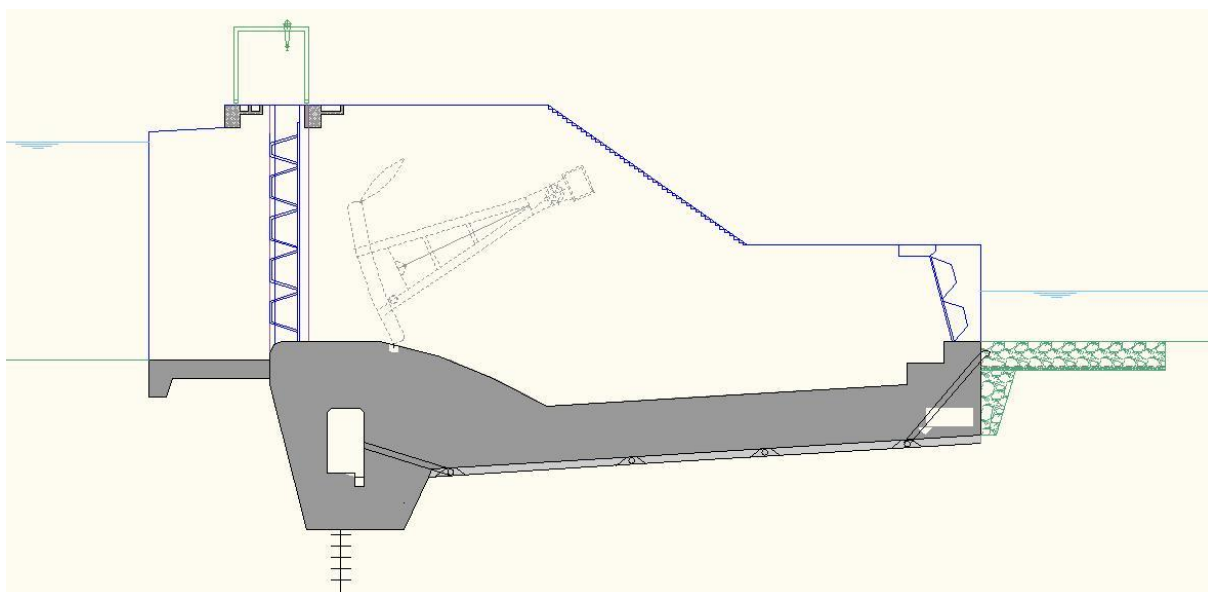
S pomočjo enačbe (4) in podatkov iz študije UL FGG in podjetja Geateh sem prišel do zaključka, da znaša moč HE Šentjakob 18,3 MW, moč HE Zalog 13,7 MW, moč HE Jevnica pa 23,3 MW.



Slika 17: Podolžni prerez tipične strojnice z vgrajeno horizontalno cevno turbino (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007) in tridimenzionalni prikaz slednje (vir: Tianfa, 2011)

3.2.3 Opis izbranih prelivnih objektov

Jezovna zgradba s pretočnimi polji služi za vzdrževanje zelene zaježitvene višine in zagotavljanje nemotenega odvajanja visokih voda. Pretočna polja morajo omogočati odvod stoletnih voda tako, da pri njihovem pojavu ne pride do povišanja vodne gladine v gorvodni polovici akumulacijskega bazena glede na naravno stanje struge pred zaježitvijo. Hkrati s tem, mora biti izpolnjen tudi pogoj, da pri morebitnem pojavu tisočletne visoke vode ni presežena nominalna zaježitvena gladina zgornje vode v pregradnem profilu. Velikost pretočnih polj skupaj z njihovim številom je pogojena z lokalnimi prostorskimi, terenskimi, hidrološkimi in hidravličnimi razmerami, zato se od elektrarne do elektrarne spreminja. Iz istih vzrokov prihaja na posameznih hidroelektrarnah do razlik še pri zasnovi in izvedbi podslapij, disipacijskih konstrukcij, zapornic ter utrditev brežin tako na gorvodni, kot na dolvodni strani. Na elektrarnah z obravnavanega odseka so po trenutno aktualni zasnovi predvidena pretočna polja širine 14 metrov, opremljena s tlačno obremenjenimi segmentnimi zapornicami z zaklopkami, pomožnimi plavajočimi dolvodnimi zapornicami, pomožnimi gorvodnimi zapornicami ter portalnim žerjavom s kleščami za njihovo vstavljanje in odstranjevanje. Na HE Šentjakob sta s to zasnovo predvideni dve, na HE Zalog pet, na HE Jevnica pa tri pretočna polja. Pomožna hidrotehnična oprema na elektrarnah srednje Save je medsebojno izmenljiva, zato je predvidena izdelava le enega seta, ki se ga bo v času obratovanja po potrebi selilo od objekta do objekta (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).



Slika 18: Prerez tipičnega pretočnega polja na hidroelektrarnah z obravnavanega odseka s prikazom dodatne in pomožne hidromehanske opreme (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007)

3.2.4 Opis energetskih nasipov vzdolž akumulacij obravnavanih hidroelektrarn

Želen nivo vodne gladine v akumulacijskih bazenih HE Šentjakob, HE Zalog in HE Jevnica je lahko dosežen le s pomočjo izgradnje nasipov. Ti so potrebni praktično vzdolž celotnega obravnavanega območja, izjema je le območje Beriških travnikov, kjer je predvidena vzpostavitev nadomestnih habitatov. Energetski nasipi so najvišji tik ob HE Jevnica in HE Zalog. Pri prvem objektu v višino merijo okrog 7,5 m, pri drugem pa slabih 6 m. Krona nasipov je pri HE Jevnica predvidena na koti 264,5 m, pri HE Zalog pa na 271,5 m. Varnostno nadvišanje torej znaša 1,5 m. Kljub relativno majhni dolžini obravnavanega odseka, se razmere za izvedbo nasipov močno razlikujejo. Najslabši pogoji so na območju Zaloga, saj je tam prisotna zelo debela in močno prepustna plast savskega proda. Na tem odseku je pod nasipi potrebno izvesti razmeroma globoko tesnjenje s pomočjo tesnilnih zaves oziroma tankostenske diafragme. Na ta način se podaljša pot precednih voda in posledično zmanjša iztekanje iz akumulacijskega bazena. Na obravnavanem območju je po zasnovi iz študije UL FGG in podjetja Geateh potrebno urediti dobrih 15 km nasipov. Zgrajeni bodo večinoma iz savskega proda. Ta je stabilen pri naklonih z razmerjem 1:1,5 ali več, zaradi dodatne varnosti pa so brežine nasipov izvedene v še nekoliko blažjem naklonu (1:2). Širina krone nasipa znaša štiri metre. S tem je omogočeno nemoteno manevriranje gradbene mehanizacije v času izvedbe, hkrati pa je zagotovljenega dovolj prostora za morebitno ureditev rekreacijskih poti po izgradnji hidroelektrarn. Predvideti je potrebno tudi ustrezne dostopne točke za vzdrževanje objektov. S pomočjo razpoložljivih vzdolžnih prerezov reke Save ter upoštevanjem zgoraj opisanih dimenzij nasipov sem izračunal, da je za izgradnjo vseh nasipov na obravnavanem območju potrebno okrog 800000 m³ materiala. K temu je potrebno prišteti še skalometno oblogo, saj je vodno stran nasipov potrebno dodatno zaščititi pred vzdolžno erozijo, ki se lahko pojavi kot posledica neprestanega nihanja gladine vode v akumulaciji zaradi obratovanja hidroelektrarne (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

3.3 Podrobnejša predstavitev problematike v zvezi s HE Zalog

V vseh dosedanjih študijah je izkoriščanje vodnih moči na odseku reke Save med Šentjakobom in Jevnico predvideno s tremi hidroelektrarnami. To so HE Šentjakob, HE Zalog in HE Jevnica. Starejše različice verige elektrarn na srednji Savi so zasnovane precej bolj velikopotezno od današnjih. Kota gladine zgornje vode na HE Jevnica je po IBE-jevi študiji iz leta 1979 na primer predvidena 2 metra višje kot danes. Razlika je še bolj očitna na HE Zalog in HE Šentjakob. Pri prvi je bila kota zajezitve predvidena na višini 276 m.n.v., kar je 6 metrov višje od trenutno aktualne zasnove, pri drugi pa je bil nivo zgornje vode planiran

na koti 286 m.n.v. oziroma 7 metrov višje kot danes. Zaradi hitrega poglobljanja savske struge, širitve urbaniziranih območij v neposredno bližino reke ter vedno strožje okoljske zakonodaje takšna ureditev danes ni več mogoča (povzeto po študiji podjetja IBE, 1988).

V študijah, ki so bile izdelane po letu 1979, so se načrtovane kote gladin zgornjih voda na omenjenih elektrarnah postopoma nižale, s tem pa so upadli tudi bruto vodni padci na posameznih energetskih objektih. Po trenutno aktualni zasnovi verige znaša predviden vodni padec na HE Šentjakob in HE Jevnica 9 metrov, na HE Zalog pa le še 7 metrov. Slednja zato iz proizvodnega in ekonomskega vidika postaja vedno manj zanimiva, proti njej pa govori tudi tehnična zahtevnost gradbenih del. Za nameček ima HE Zalog tudi velik okoljski vpliv, še posebej na zaščiteni območje sotočja treh rek. V zadnjem času se zato pojavlja vedno več dvomov o smiselnosti njene izgradnje. HE Zalog se bo predvidoma gradila kot zadnja v verigi. Na ta način bi lahko morebiten tehnološki napredek pocenil gradnjo, dvig cen električne energije pa izboljšal njeno rentabilnost (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007).

3.3.1 Energetski vidik HE Zalog

Po aktualni zasnovi verige se gladina zgornje vode HE Zalog nahaja na koti 270 m.n.v., gladina spodnje pa na 263 m.n.v. Bruto vodni padec na omenjeni elektrarni znaša le 7 metrov. Za nameček je del te višine zaradi učinka zaježitvene krivulje v nižje ležeči jevniški akumulaciji z energetskega stališča izgubljen. Zaradi velikosti jevniške akumulacije in razmeroma velike medsebojne oddaljenosti zaloške in jevniške pregrade je zaježitveni efekt na HE Zalog še posebej izrazit. Gladina spodnje vode se namreč pri polnem obratovanju tu dvigne kar za 80 cm. Poleg tega energijske izgube zaradi oviranega toka vode ter izgube pri pretvorbi energije dodatno prispevajo k zmanjšanju bruto vodnega padca. Ker je zaloška hidroelektrarna locirana nad sotočjem treh rek, znaša njen instaliran pretok $260 \text{ m}^3/\text{s}$, kar v primerjavi z nižje ležečimi elektrarnami dodatno slabi njeno nazivno moč. HE Zalog s 13,7 MW predstavlja najšibkejšo elektrarno v srednesavski verigi. S povprečno letno proizvodnjo električne energije v velikosti okrog 46 GWh je omenjena elektrarna z energetskega vidika dokaj nezanimiva (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

3.3.2 Ekonomski vidik HE Zalog

Stroškovnik HE Zalog je izdelan na podlagi tehničnih rešitev, predlaganih v idejni zasnovi in na osnovi projektantske ocene stroškov gradnje. Ta je bila izdelana na osnovi popisa količin,

materiala in opreme v okviru natančnosti, ki jo dopušča ta faza projektiranja. Za strojnico in prelivna polja je bilo popise količin možno izdelati z zadovoljivo natančnostjo, več neznank pa se je pojavilo pri opredelitvi stroškov, povezanih z gradnjo energetskih nasipov vzdolž reke Save. Gradbeni stroški so bili zato ocenjeni s pomočjo primerjave podobnih energetskih objektov na spodnji Savi. Urejanje širše okolice hidroelektrarne v stroškovniku ni zajeto. Celotni stroški investicije v HE Zalog so razdeljeni na gradbeno-okoljski del in elektro-strojni del. V prvem sklopu so bili zajeti izdatki, povezani z opredelitvijo investicijskih vlaganj, izgradnjo jezovnega objekta in akumulacijskega bazena, v drugi sklop pa so bili uvrščeni stroški, povezani z električno, strojno in hidromehansko opremo. Največji delež investicije predstavljajo gradbena dela (63 %), saj je kar 29 % celotnega vložka namenjenega za ureditev akumulacijskega bazena, sledi izgradnja jezovne zgradbe s 23 %, stroški preostalih sklopov pa so bolj enakomerno porazdeljeni med seboj in se vrtijo med 11 % in 14 % celotne investicije (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

Po do sedaj zbranih podatkih je bilo ugotovljeno, da je med relativno dragimi elektrarnami na srednji Savi z ekonomskega vidika najslabša ravno zaloška pregrada. Skupna investicija v višini slabih 79 milijonov evrov jo namreč uvršča med najdražje objekte v verigi. To je predvsem posledica zahtevnih gradbenih del. Interna stopnja donosnosti HE Zalog je ocenjena med 1,3 in 2,5 odstotka, neto sedanja vrednost pri osemodstotni diskontni stopnji pa med - 45,7 in - 48,5 milijoni evrov. Posledično je povračilna doba njenih investicijskih vlaganj najdaljša med vsemi predvidenimi hidroelektrarnami na srednji Savi in znaša od 32 do 35 let. S primerjavo razmerij med višino investicijskih stroškov in močjo posameznih hidroelektrarn z obravnavanega območja ugotovimo, da prihaja med njimi do precejšnjih razlik. Za zagotovitev 1 kW moči je na primer pri HE Jevnica potreben denarni vložek v višini okrog 3069 €. Pri HE Šentjakob je omenjeni znesek nekoliko višji in sicer znaša 3333 €/kW, za daleč najdražjo pa se izkaže HE Zalog, kjer ta številka znaša 5766 €/kW. Na zaloški elektrarni je torej specifični strošek za 1 kW moči za slabo polovico višji kot na sosednjih dveh elektrarnah. Slabi ekonomski kazalci postavljajo pod vprašaj smiselnost takšne investicije, zato je potrebno preveriti obstoj boljših alternativ izkoriščanja razpoložljivih vodnih moči na tem odseku (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

Energetski objekt	Investicijski vložek	Moč elektrarne	Specifični strošek
/	[€]	[kW]	[€/kW]
HE Šentjakob	61.000.000	18300	3333
HE Zalog	79.000.000	13700	5766
HE Jevnica	71.500.000	23300	3069

Preglednica 2: Prikaz specifičnih stroškov hidroelektrarn z obravnavanega odseka reke Save

3.3.3 Izvedbeni vidik HE Zalog

HE Zalog se nahaja na območju, ki je geološko oziroma geotehnično zelo slabo raziskano, zato je točnost preliminarne ocen vprašljiva. Med največje neznanke sodijo globina tesnjenja pregradnega objekta, pričakovana količina dotekajočih voda v izkop gradbene jame, globina tesnjenja bokov v pregradnem profilu ter na usmerjevalnem nasipu in globina temeljenja energetskih nasipov vzdolž bazena.

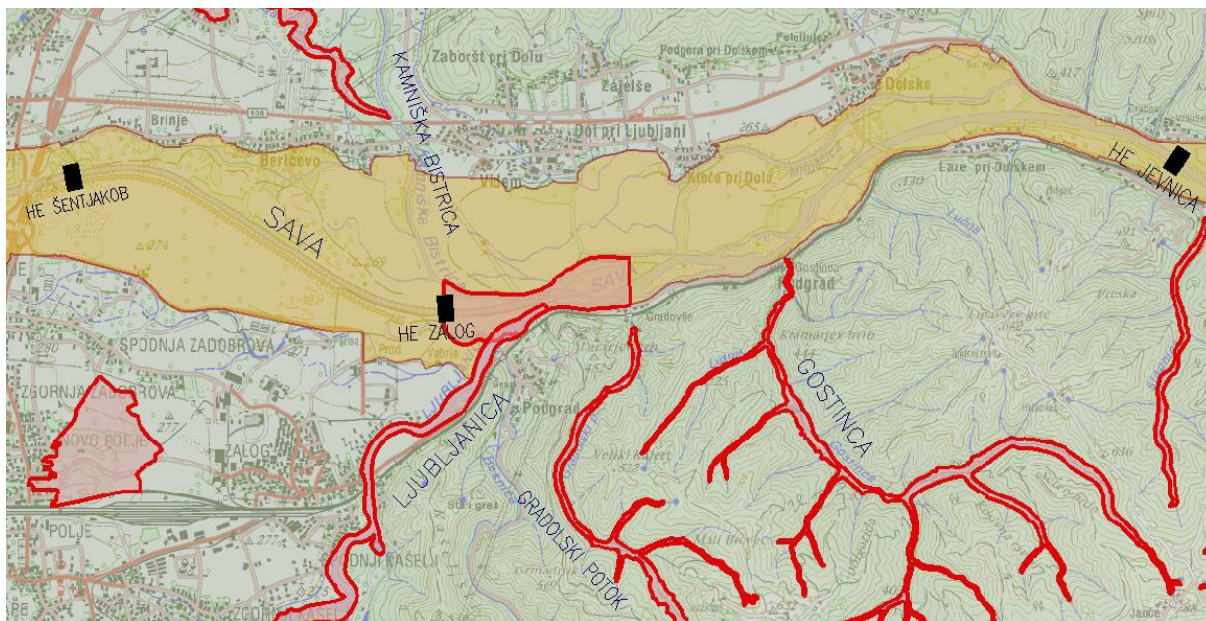
Po trenutno razpoložljivih podatkih se na območju, kjer je predviden zaloški pregradni objekt, nahaja karbonski glinasti skrilavec in peščenjak. Z geotehničnega vidika je neugoden, saj je občutljiv na vodo in preperevanje, kljub temu pa je material primerno nosilen za temeljenje objektov. Postavitev HE Zalog približno 500 metrov nad sotočjem treh rek predstavlja praktično edino možno rešitev, saj je na preostanku območja hribinska podlaga prekrita z debelo plastjo savskih prodnih naplavin. Pri slednjih gre večinoma za dobro graduiran meljasto peščen prod, ki je brez kohezije, srednje gost, močno prepusten, dobro nosilen ter stabilen do razmeroma strmega naklona 1:1,5. Njegova glavna težava je v veliki vodoprepustnosti, ki predstavlja nevarnost za izpiranje finih frakcij pod dnom pregradnega objekta oziroma nasipov, zaradi česar lahko pride do loma tal. Za zagotovitev ustrezne varnosti in stabilnosti celotne hidroelektrarne je zato nujno potrebno zagotoviti ustrezno tesnjenje temeljnih tal, kar pa je izjemno zahtevno in drago opravilo, saj zahtevana globina tesnjenja ponekod presega 30 metrov (povzeto po študiji podjetja IBE, 1988). Poleg tega mora biti tesnjenje hidroelektrarne izvedeno tako, da je s posegom v čim manjši meri spremenjena tokovna slika podtalnice Ljubljanskega polja. Ta namreč predstavlja eno najpomembnejših vodnih teles pri nas, saj se intenzivno uporablja za vodooskrbo Ljubljane s širšo okolico (vir: Rejec Brancelj in sod. 2005). Izvedba tesnilnih del v skupni dolžini preko 5 km tako predstavlja eno glavnih stroškovnih postavk HE Zalog, ki močno slabijo ekonomske kazalce investicije.

Zaloška elektrarna med drugim zahteva tudi približno 100.000 m³ nasipnih materialov. Del potrebnih količin je mogoče pridobiti pri izkopu gradbene jame za pregradni profil, del materiala pa se lahko zagotovi z razširitvijo in poglobitvijo savske struge. Tako pridobljene količine kljub vsemu ne pokrijejo celotnih potreb, zato je del materiala potrebno dobaviti z okoliških kamnolomov, kar dodatno zvišuje stroške izvedbe. Zaradi nezanesljivih geotehničnih podatkov, neugodnih terenskih razmer in tehnološko zahtevnih gradbenih del niso izključene nadaljnje podražitve gradnje, kar dodatno zmanjša upravičenost izvedbe tega projekta (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

3.3.4 Okoljski vidik HE Zalog

HE Zalog predstavlja veliko težavo tudi z vidika vplivov na okolje. Vzpostavitev akumulacijskega bazena z gladino vode na koti 270 m.n.v. povsem spremeni tokovno sliko podtalnice. Zaradi bližine vodnih zajetij igra to še posebej pomembno vlogo. Po izgradnji HE Medvode je sledilo izrazito poglobljanje dna savske struge na območju Zaloga, zato se je vodonosnik Ljubljanskega polja tu v glavnem le še dreniral. Z vnovičnim dvigom kote vodne gladine zaradi izgradnje zaloške hidroelektrarne pride do dviga nivoja talne vode, zaradi česar ponovno oživijo že dlje časa presahle zaloške Studenčnice. V sklopu izgradnje HE Zalog je zato potrebno predvideti ureditev njihovih strug in izlivov v Savo. Vpliv ponovnega dviga talne vode se pozna tudi na urbaniziranem območju, kjer povzroča težave s stabilnostjo nekaterih starejših oziroma slabše temeljenih objektov. Zaradi dolgoročnega procesa zablatenja brežin vzdolž zaloškega akumulacijskega bazena se občutno zmanjša infiltracija vode iz savske struge v zaledno podtalnico, kar povzroča probleme z vodooskrbo. Po sedanjih predvidevanjih se lahko že približno 40 let po izgradnji elektrarne pojavijo potrebe po umetnem bogatenju podtalnice, saj v nasprotnem primeru ne bi bilo mogoče zagotavljati zadostnih količin pitne vode okoliškemu prebivalstvu (povzeto po študiji UL FGG in Geateh, 2007).

HE Zalog leži tudi znotraj ekološko pomembnega območja, ki zajema koridor reke Save od Mavčič do naselja Sava, vzhodno od Litije. Gre za področje, ki je z Zakonom o ohranjanju narave definirano kot območje habitatnega tipa, dela habitatnega tipa ali večje ekosistemske enote, ki pomembno prispeva k ohranjanju biotske raznovrstnosti in hkrati predstavlja eno izmed izhodišč za izdelavo naravovarstvenih smernic (vir: Zakon o ohranjanju narave). Na ekološko pomembnih območjih, ki obenem niso del območij Nature 2000, zavarovanih območij ali območij naravnih vrednot, je možna gradnja objektov brez naravovarstvenega soglasja. Ker pa se HE Zalog nahaja v neposredni bližini sotočja Save, Kamniške Bistrice in Ljubljanice, je naravovarstveni aspekt še kako pomemben. Sotočje omenjenih rek je namreč uvrščeno med območja naravnih vrednot s širšim lokalnim pomenom. Obenem je reka Ljubljanica na celotnem območju od izvira na Vrhniki do izliva v Savo pri Podgradu uvrščena med naravne vrednote z državnim pomenom, zato je potrebno v največji možni meri omiliti negativne vplive novih ureditev na tem prostoru ter hkrati z gradbenimi deli čim manj posegati v naravno strukturo tega področja. Potrebno je poiskati kompromis, ki bi bil sprejemljiv tako z naravovarstvenega vidika, kakor tudi z vidika učinkovite energetske rabe vodotoka.



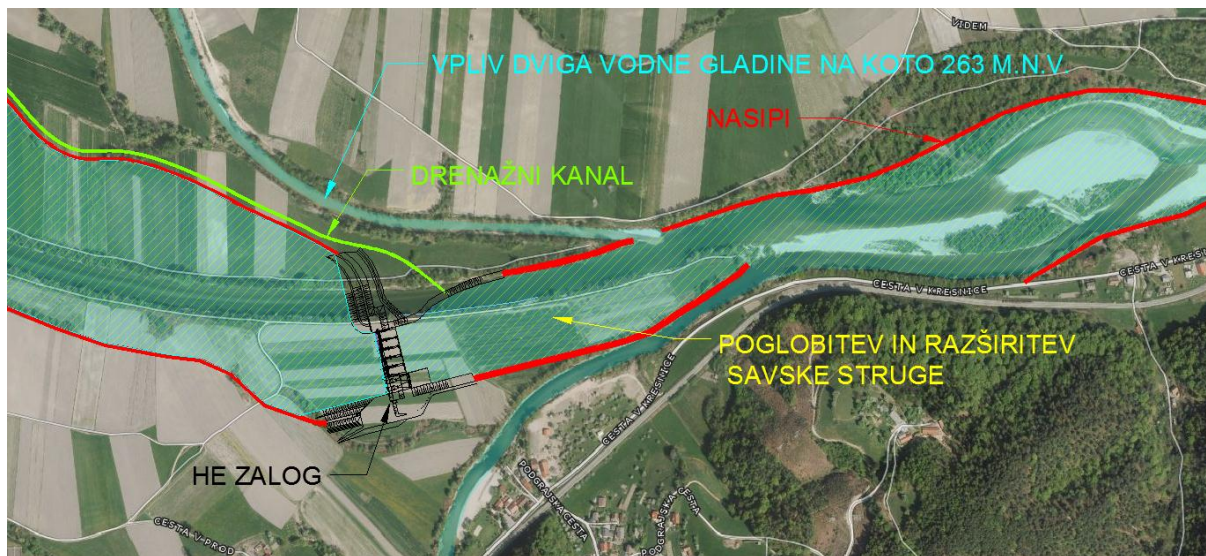
Slika 19: Presek ekološko pomembnih območij (rumena barva) in zaščitenih naravnih vrednot (rdeča barva) med HE Šentjakob in HE Jevnica (vir: Atlas okolja, <http://gis.arso.gov.si>)

Kot je razvidno iz slike 19, se HE Zalog nahaja v neposredni bližini sotočja Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice, ki je zakonsko zaščiteno kot naravna vrednota s širšim lokalnim pomenom. Ker je ta prostor sočasno uvrščen tudi med ekološko pomembna območja, gradnja energetskih objektov brez naravovarstvenega soglasja tu ni mogoča. Zaradi velikih vplivov, ki jih ima HE Zalog na sotočje treh rek, je do soglasja brez spremembe zakonodaje praktično nemogoče priti. Omenjena elektrarna po sedanji zasnovi namreč močno spremeni izgled zaščitenega območja. Spremenjen rečni režim z izrazitimi dnevnimi konicami pretokov in nihanji vodne gladine povsem spremeni življenjske razmere za tamkajšnje rastlinske in živalske vrste. Zaradi potreb zaloške strojnice in pretočnih polj je potrebna občutna razširitev savske struge tako nad kakor tudi pod pregradnim objektom. Ta poseg povsem spremeni današnja konturo sotočja. Izliv Ljubljanice in Kamniške Bistrice je namreč potrebno nekoliko prestaviti ter višinsko prilagoditi. Za zagotavljanje ustrezne poplavne varnosti je poleg tega potrebno izlivna odseka obeh rek obdati z nasipi. Ti so potrebni tudi na odseku Save med sotočjem in pregradnim objektom v Zalogu. Nadalje je tik pod HE Zalog za doseganje energetske ugodnega nivoja spodnje vode potrebna poglobitev dna struge. S tem posegom se popolnoma uničijo obširna prodišča na sotočju Save z Ljubljanico, kar lahko vodi v izumrtje nekaterih ribjih vrst na tem območju, ki jim ta prostor služi za drstišča. Dodatno degradacijo sotočja treh rek povzroča še dolvodna utrditev struge in brežin s skalometno oblogo. Zaradi velikih obremenitev v času obratovanja hidroelektrarne je tik pod njo potrebna kanalizacija struge in izvedba betonske obloge pod velikim naklonom. Tam je zato onemogočena rast rastlin, poleg tega pa je preprečen tudi prehod kopenskih živali preko

reke. Manjši vpliv na izgled sotočja Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice ima tudi nižje ležeča HE Jevnica. Njeni nasipi, ki služijo za zagotavljanje zaježitve na koti 263 m.n.v., so ob Savi predvideni vse do pregradnega objekta v Zalogu, poleg tega pa so potrebni tudi vzdolž izlivnih odsekov Kamniške Bistrice in Ljubljanice.



Slika 20: Prikaz obstoječega stanja na sotočju Save s Kamniško Bistrico in Ljubljanico



Slika 21: Prikaz ureditve, ki je na sotočju treh rek predvidena po trenutno aktualni zasnovi

Nasipi HE Jevnica bodo prizadeli še dve naravni vrednoti lokalnega pomena, ki se nahajata dolvodno od sotočja treh rek. To sta Gradolski potok in potok Gostinca. Njuna izlivna odseka sta po trenutno aktualni zasnovi preusmerjena v drenažni kanal vzdolž desnobrežnega nasipa HE Jevnica. Zbirni kanal se v reko Savo izliva tik pod pregradnim objektom v Jevnici. Ker se vse naravne vrednote z obravnavanega odseka nahajajo v gorvodni polovici jevniškega akumulacijskega bazena, vpliv te hidroelektrarne nanje ni tako izrazit. Z okoljskega vidika je veliko bolj kritična zaloška hidroelektrarna, zato je najprej potrebno najti sprejemljivo rešitev zanjo.

4.0 PREDLOGI OPTIMIZACIJE SREDNJEŠAVSKE VERIGE Z OPUSTITVIJO HE ZALOG

Zaloška stopnja je po trenutno aktualni zasnovi torej problematična tako z okoljskega, kakor tehnološkega oziroma izvedbenega vidika, elektrarna pa zaostaja tudi na po energetski in ekonomski plati. Ker so lokacije HE Šentjakob, HE Zalog in HE Jevnica zaradi specifičnih geoloških pogojev praktično že dokončno določene in ker nadaljnje nižanje zaježitvene višine na zaloški elektrarni le dodatno poslabšuje že tako slabe energetske in ekonomske kazalce, sem v nadaljevanju naloge problematiko na odseku med Šentjakobom in Jevnico reševal na drugačen način. Odločil sem se namreč za celotno opustitev HE Zalog. Na ta način se znebimo proizvodno najšibkejše elektrarne v srednješavski verigi, izognemo pa se tudi gradnji visokih nasipov in tehnološko zapletenim tesnilnim delom na odseku med Šentjakobom in Zalogram. Poleg tega pomembno zmanjšamo okoljski vpliv verige na naravne vrednote, predvsem na sotočje treh rek. Tudi prostor nad sotočjem v večji meri ohrani današnjo krajinsko podobo, prav tako pa sta manj prizadeta izlivna dela Ljubljanice in Kamniške Bistrice. Za nameček lahko del finančnih sredstev, ki jih z opustitvijo HE Zalog prihranimo, vložimo v modifikacijo sosednjih HE Šentjakob in HE Jevnica in tako povečamo njuno rentabilnost. Hkrati lahko s tem ukrepom vsaj delno, morda pa tudi v celoti, pokrijemo izpad proizvodnje električne energije zaradi opustitve zaloškega objekta. Povrhu vsega lahko v sklopu modifikacije HE Šentjakob in HE Jevnica pridobimo zadostne količine materiala za gradnjo nasipov, s čimer se izognemo dragi dobavi nasipnega materiala iz okoliških kamnolomov. Ker interes energetike in ekonomike v veliki meri nasprotuje okoljevarstvenim zahtevam, je praktično nemogoče najti takšno različico verige, ki bi hkrati upoštevala vse ključne pogoje ene in druge strani, zato sem v nadaljevanju preučil več možnih alternativnih variant, ki predvidevajo opustitev zaloške elektrarne. Na podlagi teh je na koncu izbrana in podrobneje obdelana optimalna kompromisna rešitev.

4.1 Opis hidravličnega modela modificiranega odseka med Šentjakobom in Jevnico

Zaradi opustitve HE Zalog se na odseku med Šentjakobom in Jevnico močno spremenijo hidravlične razmere. Pri iskanju optimalne zasnove verige hidroelektrarn na obravnavanem območju je zato najprej potrebno zajeti ter na novo ovrednotiti vpliv zaježitvene krivulje, ki nastane v primeru opustitve HE Zalog v podaljšanem akumulacijskem bazenu HE Jevnica. Pri postavitvi verige hidroelektrarn je namreč za vsak objekt predvidena določena kota zgornje vode tik ob pregradnem objektu, z odmikom od njega v gorvodno smer pa kota gladine vode v akumulaciji bolj ali manj izrazito narašča, s čimer se zmanjšuje izkoristljivost

padec na višje ležeči hidroelektrarni. Stopnja naraščanja kote gladine vode je odvisna predvsem od višinskega poteka ter geometrijskih lastnosti struge in velikosti pretoka v njej. V obravnavanem primeru je torej kota zgornje vode na spodaj ležeči HE Jevnica predvidena na 263 m.n.v., gladina spodnje vode na gorvodni HE Šentjakob pa se zaradi učinka zaježitvene krivulje predvidoma nahaja na nekoliko višjem nivoju. Zaželeno je, da je dvig zaježitvene krivulje v gorvodni polovici jevniške akumulacije čim manjši, saj ima s tem šentjakobska elektrarna na razpolago večji padec, na ta način pa lahko proizvede tudi več električne energije.

Za natančnejše vrednotenje učinka zaježitvene krivulje sem v nadaljevanju naloge s pomočjo programov HEC-RAS (različica 4.1) in AutoCAD 2010 izdelal nov hidravlični model obravnavanega odseka, ki opisuje razmere v primeru opustitve HE Zalog. Model sem zasnoval na podlagi meritev prečnih prereзов reke Save, ki jih je leta 2007 opravilo podjetje PV Invest, d.o.o. ter idejnih zasnov strojnice ter pretočnih polj HE Šentjakob in HE Jevnica iz študije UL FGG in podjetja Geateh. Z odseka med Šentjakobom in Jevnico je na razpolago 17 prečnih prereзов (od P-33 do P49). Njihova natančna lokacija je podana v prilogi A. Število prečnih prereзов je sicer premajhno za izvedbo natančne hidravlične analize več kot 10 km dolgega območja obravnave, vseeno pa na ta način dobimo zadovoljiv približek, na podlagi katerega lahko vrednotimo upravičenost oziroma smiselnost predlaganega posega.

Prvi korak pri izdelavi hidravličnega modela predstavlja vnos razpoložljivih prečnih prereзов savske struge z obravnavanega območja v program HEC-RAS. Ker je na lokaciji strojnice in pretočnih polj HE Šentjakob in HE Jevnica potrebna razmeroma velika poglobitev z občutno razširitvijo sedanje struge, sem začetni (P-33) in končni (P-49) prečni prerez savske struge povsem prilagodil potrebam zgoraj omenjenih objektov, trenutne razmere na terenu pa sem simuliral s pomočjo vrinjenih prereзов P-33B in P-49B, ki sem ju postavil 50 m dolvodno oziroma gorvodno od modificiranih prereзов. Pogoje glede poglobitve struge narekujeja predvsem obe strojnici, saj morajo biti osi horizontalnih cevni turbini do določene mere potopljene tudi z dolvodne strani, sicer lahko pride do poškodb zaradi pojava kavitacije in do motenj v delovanju celotnega sistema. V modelu sem zato upošteval, da se osi turbin na HE Šentjakob nahaja pet metrov pod projektirano gladino spodnje vode, vrhni del turbine pa je potopljen za dva metra. Podobno velja tudi za HE Jevnica.

Za koeficient hrapavosti dna struge sem v programu HEC-RAS vzdolž celotnega odseka uporabil vrednost 0,034, za poplavna področja pa sem privzel vrednost 0,08, saj sta bila enaka koeficienta uporabljena tudi v dosedanjih študijah in najbolje opisujeta dejanske razmere na terenu. Za izvedbo izračuna sem moral v model vnesti še podatke o pretoku.

Zaježitvena krivulja je najbolj izrazita pri polnem obratovanju hidroelektrarn, saj je takrat dvig vode pod HE Šentjakob največji. V hidravličnem modelu sem zato na odseku med Šentjakobom in sotočjem Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice upošteval instaliran pretok šentjakobske elektrarne, ki znaša $260 \text{ m}^3/\text{s}$. Dolvodno od sotočja treh rek pa vse do roba obravnavanega območja sem v modelu upošteval instaliran pretok HE Jevnica. Ta znaša $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Razliko prinese občuten dotok Kamniške Bistrice in predvsem Ljubljanice. Prva k instaliranemu pretoku prispeva okrog $40 \text{ m}^3/\text{s}$, druga pa približno $100 \text{ m}^3/\text{s}$. V hidravličnem modelu ločnico med pretokoma predstavlja prečni prerez P-39, saj se nahaja v neposredni bližini sotočja Save s Kamniško Bistrico in Ljubljanico, kjer tudi dejansko pride do največje spremembe pretoka na obravnavanem odseku. Vsi ostali pritoki Save so namreč z vidika vodnih količin občutno manjši in zato zanemarljivo malo vplivajo na pretočne razmere v strugi. Za nameček je pri večini manjših pritokov predvidena njihova priključitev na zbirne kanale vzdolž jevniških nasipov tako, da ta voda jevniško akumulacijo povsem zaobide, v strugo reke Save pa vstopi šele pod pregrado v Jevnici.

Od vhodnih podatkov za izračun zaježitvenih krivulj sem moral na koncu v hidravlični model vnesti še dolvodni robni pogoj. Zanj sem v profilu P-49 upošteval poznano koto vodne gladine (known WS), ki je morala biti enaka želeni koti zaježitve na HE Jevnica. Na ta način je bil model odseka med HE Šentjakob in HE Jevnica pripravljen za izračun. Analiziral sem več možnih variant nadvišanj HE Jevnica in poglobitev savske struge. Na podlagi izračunov v programu HEC-RAS sem za vsako izmed različic v njen vzdolžni prerezu vrisal pripadajočo zaježitveno krivuljo, tabelarični prikaz rezultatov iz programa pa sem podal v prilogi B.

4.2 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 263 m.n.v.

Modificirane različice verige s pripadajočimi zaježitvenimi krivuljami sem na osnovi predvidene kote zaježitve pri HE Jevnica razdelil na štiri glavne kategorije. Za vsako od njih sem nato v programih AutoCAD in HEC-RAS z iteracijskim simuliranjem posegov v strugo izdelal več variant poglobitev in razširitev struge. Pri prvi kategoriji modificiranih različic verige hidroelektrarn se predvidena kota gladine zgornje vode pri HE Jevnica nahaja na višini 263 m. Enaka kota zaježitve je bila upoštevana tudi v trenutno aktualni študiji Fakultete za gradbeništvo in geodezijo in podjetja Geateh iz leta 2007. Za ta sklop sem izdelal sedem različnih verzij posegov v strugo. Na ta način sem s čim manjšim obsegom gradbenih del skušal doseči energetske čim ugodnejši nivo spodnje vode pri HE Šentjakob. Zaradi strogih okoljevarstvenih pogojev, ki veljajo na območju reke Save, sem se pri snovanju omenjenih posegov omejil le na najožje območje struge. Njeno širitev sem predvidel le tam, kjer se z

drugimi ukrepi ni dalo zagotoviti ustreznega stanja, poglobitev struge pa sem skušal zasnovati skladno z obstoječim naklonom brežin tako, da bi se v čim večji meri ohranila kontura današnjih prečnih prerezov.

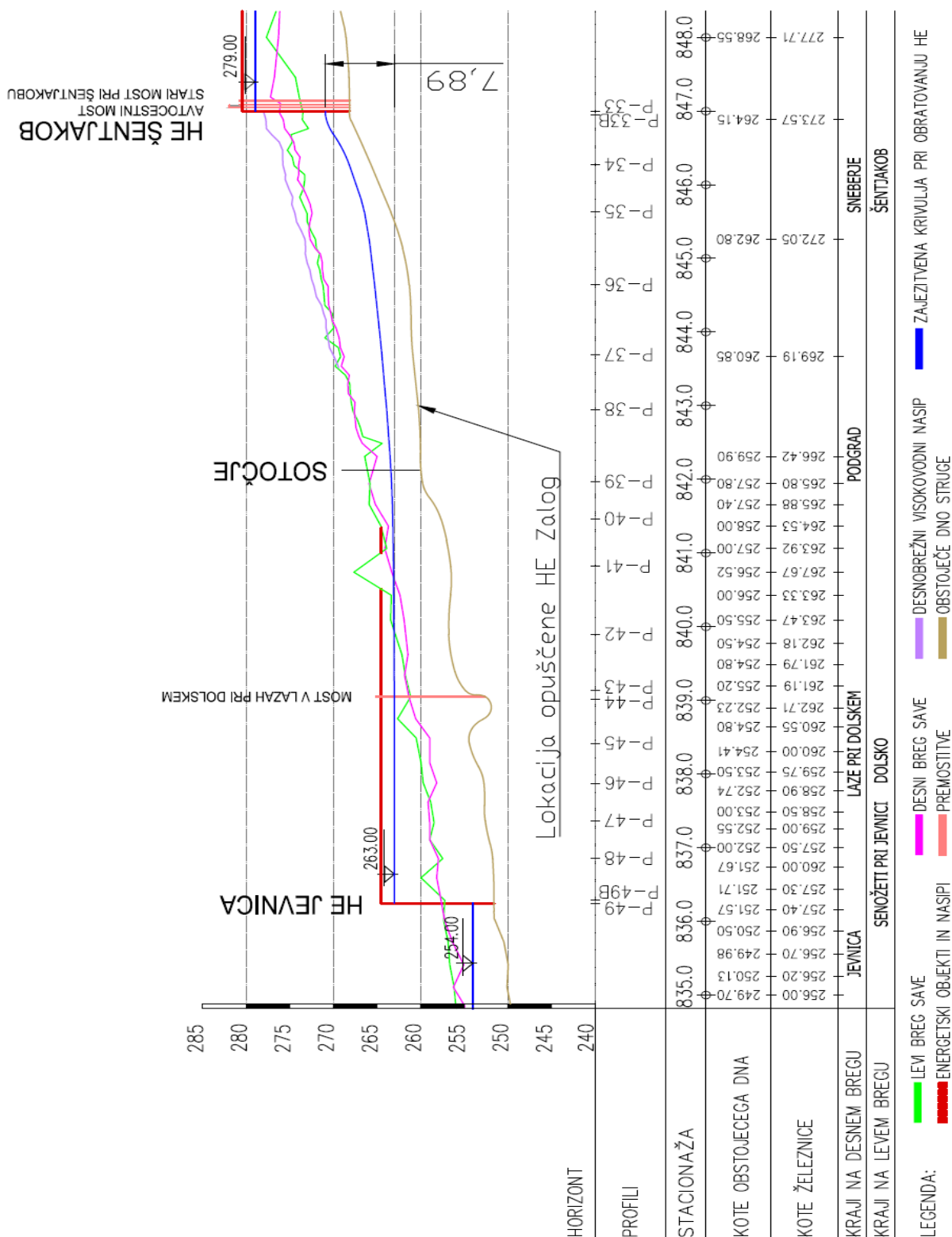
V spodnji polovici jevniškega akumulacijskega bazena sem na mestih, kjer bi voda pri novih pogojih lahko prestopila robove sedanje struge, predvidel izgradnjo nasipov ter jih vnesel v hidravlični model. Njihovo krono sem predvidel 1,5 m nad predvideno koto zajezitve jevniške elektrarne, saj je bila enaka varnostna višina predvidena tudi v dosedanjih zasnovah verige. Naklone brežin sem območju vkopov in nasipov predpostavil v razmerju 1:2 kljub temu, da je material stabilen vse do naklona 1:1,5. Za položnejši naklon sem se odločil zato, ker zagotavlja večjo stabilnost brežin, ki bodo dnevno izpostavljene velikim obremenitvam zaradi nihanja gladine vode v akumulaciji. Izjema je le območje tik ob obeh pregradnih profilih (prečni prerezi P-33, P-33B, P-49B ter P-49), kjer bo zaradi zagotavljanja ustreznih natočnih razmer potrebno s tehničnimi ukrepi izvesti kanalizacijo struge. Zaradi zmanjšanja obsega zemeljskih del sem tu predpostavil naklon 1:1, hkrati pa predvidel izvedbo betonske obloge brežin. Izvedba brežin v naklonu 1:2 sicer poveča začetni obseg zemeljskih del, vendar na dolgi rok znižuje stroške vzdrževanja.

Posebno pozornost sem namenil tudi problematiki urejanja sotočja treh rek. Ker gre za naravno vrednoto, ki se nahaja na ekološko pomembnem območju, je tu potrebno v največji možni meri ohranjati obstoječe stanje. Zaželen je tudi čim manjši vpliv jevniške akumulacije na dvig nivoja vode na izlivnem delu Ljubljanice, saj je slednja uvrščena na seznam naravnih vrednot državnega pomena. Škodljivim vplivom projekta izgradnje hidroelektrarn na naravni izgled sotočja treh rek se je praktično nemogoče v celoti izogniti, z ustreznim načrtovanjem pa je možno obstoječe stanje v nekaterih segmentih celo izboljšati. V okviru ureditve akumulacijskega bazena HE Jevnica se tako lahko na primer predvidi prestavitev trase daljnovoda Beričevo – Grosuplje, saj le-ta danes poteka ravno preko sotočja Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice, kar močno kazi naravno podobo tega območja. Za to območje je pri vsaki skupini modificiranih zasnov verige, ki ne predvideva izgradnje HE Zalog, izdelana problemska karta, kjer so označeni vsi gradbeni posegi oziroma vse potrebne ureditve.

4.2.1 Modificirana različica 1.0

Pri začetni različici iz prvega sklopa modifikacij sem v program HEC-RAS vnesel le osnovno geometrijo struge reke Save ter ji na območju med sotočjem treh rek in HE Jevnica dodal

nasipe. V zadnjem profilu (P-49) sem nastavlil še dolvodni robni pogoj in sicer poznano gladino vode (known WS). Ta se nahaja na koti 263 m.n.v. S programom HEC-RAS sem izračunal zajezitveno krivuljo, ki sem jo nato prek programa AutoCAD vnesel v izhodiščni vzdolžni prerez. Ta je prikazan na sliki 22.



Z zgornje slike je razvidno, da dvig vodne gladine pri HE Jevnica na koto 263 m.n.v. povzroča težave pri premostitvenem objektu v Lazah pri Dolskem. Spodnji del mostne konstrukcije se namreč nahaja le 20 cm nad gladino. To pomeni, da je varnostna višina premajhna, zato je potrebno star objekt nadomestiti z novim, katerega spodnji rob bo vsaj 1,3 m višji od današnjega.

S slike 22 je opazen tudi izrazit dvig vodne gladine na območju med sotočjem in HE Šentjakob, kar močno zmanjša razpoložljiv vodni padec in s tem proizvodnjo električne energije na omenjeni hidroelektrarni. Kot je razvidno iz preglednice 2, se gladina vode tik ob pregradnem objektu HE Šentjakob (profil P-33), nahaja na koti 270,89 m. To pomeni, da je z vidika proizvodnje električne energije na odseku med Šentjakobom in Jevnico izgubljenih kar 7,89 m padca. Po podatkih iz študije Fakultete za gradbeništvo in geodezijo ter podjetja Geateh znaša skupna nazivna moč hidroelektrarn Šentjakob, Zalog in Jevnica po trenutno aktualni zasnovi 55,3 MW, z opustitvijo HE Zalog in z zasnovo verige po modificirani različici 1.0 pa bi skupna moč hidroelektrarn Šentjakob in Jevnica znašala samo 41,2 MW. Prispevek prve bi znašal 17,9 MW, prispevek druge pa 23,3 MW. Razlika v nazivni moči med obravnavanima različicama verige znaša torej 14,1 MW v korist zasnove po študiji UL FGG in podjetja Geateh. Modificirana različica 1.0 je v energetskem pogledu torej veliko slabša od izhodiščne variante in lahko zato služi le kot temelj za snovanje novih verzij modifikacij, ki bi poleg izgradnje nasipov vzdolž spodnjega dela obravnavanega območja vključevale tudi izvedbo poglobitve dna savske struge na območju med HE Šentjakob in sotočjem treh rek.

V okviru analize modificirane različice 1.0 sem izračunal tudi količino materiala, ki ga potrebujemo za izgradnjo energetskih nasipov. Na desnem bregu reke Save je nasip potreben od pregradnega objekta v Jevnici pa skoraj do sotočja treh rek. Na določenih odsekih vlogo energetskega nasipa prevzame tudi obstoječ cestni nasip. Slednjega je potrebno na odseku pri sotočju treh rek in v okolici mostu v Lazah pri Dolskem nadvišati na koto 264,5 m.n.v. Levi breg Save je potrebno z nasipi obdati vse od sotočja treh rek do pregradnega objekta v Jevnici.

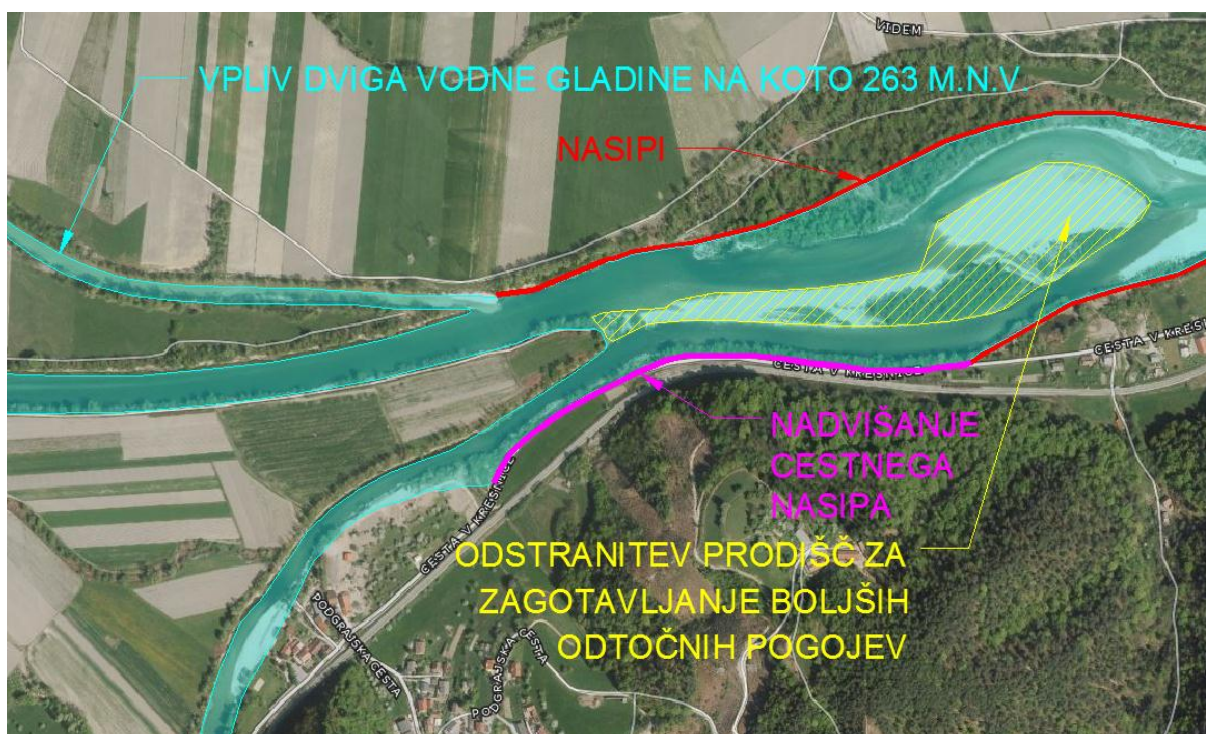
Ker je bilo vzdolž enajstkilometerskega odseka med Šentjakobom in Jevnico izvedenih le 17 meritev prečnih prerezov reke Save, kar je premalo za realno oceno volumna materiala, ki je potreben za izgradnjo nasipov, sem izračun zasnoval na osnovi situacije, temeljnega topografskega načrta ter vzdolžnega prereza obravnavanega območja vzdolž Save. Na situaciji sem najprej vrisal pozicije posameznih prečnih prerezov in določil njihove stacionaže glede na os reke ter medsebojne razdalje med njimi. Ker se potek osi nasipov na območju razširjene akumulacije mestoma ne sklada najbolje s potekom osi vodotoka, sem določil tudi

razdaljo med pozicijami prečnih prereзов glede na os nasipov. Na osnovi podatkov o stacionaži sem pozicije prečnih prereзов vrisal v vzdolžni profil reke Save, od koder sem nato razbral kote terena obeh bregov ter potrebno višino energetskih nasipov. Koto njihove krone sem določil skladno s podatki iz študije UL FGG in podjetja Geateh in sicer 1,5 m nad predvideno koto zaježitve pri HE Jevnica. V naslednjem koraku sem določil ploščine posameznih prečnih prereзов nasipov. Pri tem sem zaradi lažjega manevriranja gradbene mehanizacije in morebitne kasnejše vzpostavitve vzdrževalnih ter rekreacijskih poti predpostavil širino krone nasipov na 4 m. Zaradi večje varnosti pred erozijo in pojavi razpok sem upošteval naklon brežin nasipov v razmerju 1:2, kljub temu, da je material, ki je mišljen za vgradnjo, stabilen tudi v strmejših naklonih. Z upoštevanjem višinske razlike med krono nasipa in nivojem terena sem tako prišel do prečnih prereзов trapezne oblike in izračunal njihove ploščine. Nato sem za vsak odsek med dvema prečnima prerezoma izračunal povprečno ploščino ter jo pomnožil z dolžino odseka glede na os nasipov. Na ta način sem prišel do volumna materiala, potrebnega za izgradnjo nasipov na odseku med Šentjakobom in Jevnico. Za njuno izgradnjo bi bilo potrebno okrog 706000 m³ nasipnega materiala. Gre zgolj za približno oceno. Za natančnejšo določitev količine materiala bi bilo potrebno opraviti meritve večjega števila prečnih prereзов vzdolž celotne trase.

Pri izkopih za temelje strojnice in pretočnih polj bodo sicer pridobljene znatne količine materiala, ki pa ne pokrijejo vseh potreb. Za zagotovitev manjkajočih količin nasipnega materiala je ekonomsko najbolj upravičena možnost lokalne samooskrbe z izkopom gramoza na območju znotraj bodočega akumulacijskega bazena. Za zavarovanje akumulacije s skalometno oblogo v bližini ni ustreznih virov. Dobavo gradbenega materiala (predvsem apnenca) je zato potrebno vezati na kamnolom Kresnice ter Stahovica, zaradi razmeroma velikih potreb pa ni izključena niti dobava materiala iz kamnoloma Verd, ki je od bodočega gradbišča oddaljen slabih 40 km. Zaradi velikih transportnih stroškov, ki bi ob tem nastali, bi bilo za varovanje nasipov smiselno preveriti možnost uporabe s savskim prodom polnjenih gabionskih košev namesto dragih skalometnih ureditev.

Modificirana različica 1.0 predstavlja s stališča varovanja naravnih vrednot, predvsem sotočja Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice, veliko izboljšavo v primerjavi z izhodiščno varianto. Zaradi opustitve zaloške hidroelektrarne ni več potrebna razširitev in poglobitev savske struge, zato je možna ohranitev današnje konture sotočja. Za zagotavljanje ustreznih odtočnih pogojev je neizogibna le odstranitev prodišč, kar pa je predvideno tudi z izhodiščno varianto. Po podatkih s topografske karte in na podlagi izračunov nivoja gladine vode v programu HEC-RAS so nasipi potrebni le od dotoka Kamniške Bistrice dalje. Vzdolž desnega brega Ljubljanice je po tej zasnovi potrebno urediti ter nekoliko nadvišati obstoječ cestni

nasip, ki v bližini izliva Gradolskega potoka preide v energetski nasip in se pomakne bližje savski strugi. V veliko večji meri kot prej sta ohranjena tudi rta med Savo in Ljubljanico oziroma Savo in Kamniško Bistrico. Sodeč po podatkih iz temeljnega topografskega načrta pri predlagani zaježitveni višini, nasipi tu sploh niso potrebni. Po modificirani različici 1.0 ostajajo praktično nedotaknjena območja Beriških travnikov ter Sneberškega proda. Dodatno prednost predstavlja ohranitev podobnega nivoja vodne gladine na tem, za vodooskrbo pomembnem območju. Na območju izliva Gradolskega potoka in Gostince ostajajo razmere praktično identične kot pri izhodiščni zasnovi s tremi hidroelektrarnami.



Slika 23: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 1.0

4.2.2 Modificirana različica 1.1

Ker je z modificirano različico 1.0 na obravnavanem odseku izgubljenega kar 7,89 m vodnega padca, sem z naslednjo varianto želel izboljšati predvsem energetski segment nove ureditve. V hidravlični model sem za začetek vnesel nekaj geometrijskih sprememb struge Save. S slike 22 je razvidno, da se občuten dvig zaježitvene krivulje v jevniški akumulaciji pojavi šele nad sotočjem treh rek, zato sem nad tem območjem predvidel poglobitev struge. Na sotočju treh rek oziroma pri prečnem prerezu z oznako P-39 sem dno struge prestavil na koto 258 m, nad omenjenim območjem, pri prerezu P-38, na koto 259 m, pri prerezu P-37 na koto 260 m, na odseku med P-33 in P-36 pa je novo dno struge potekalo na koti 261 m. Na

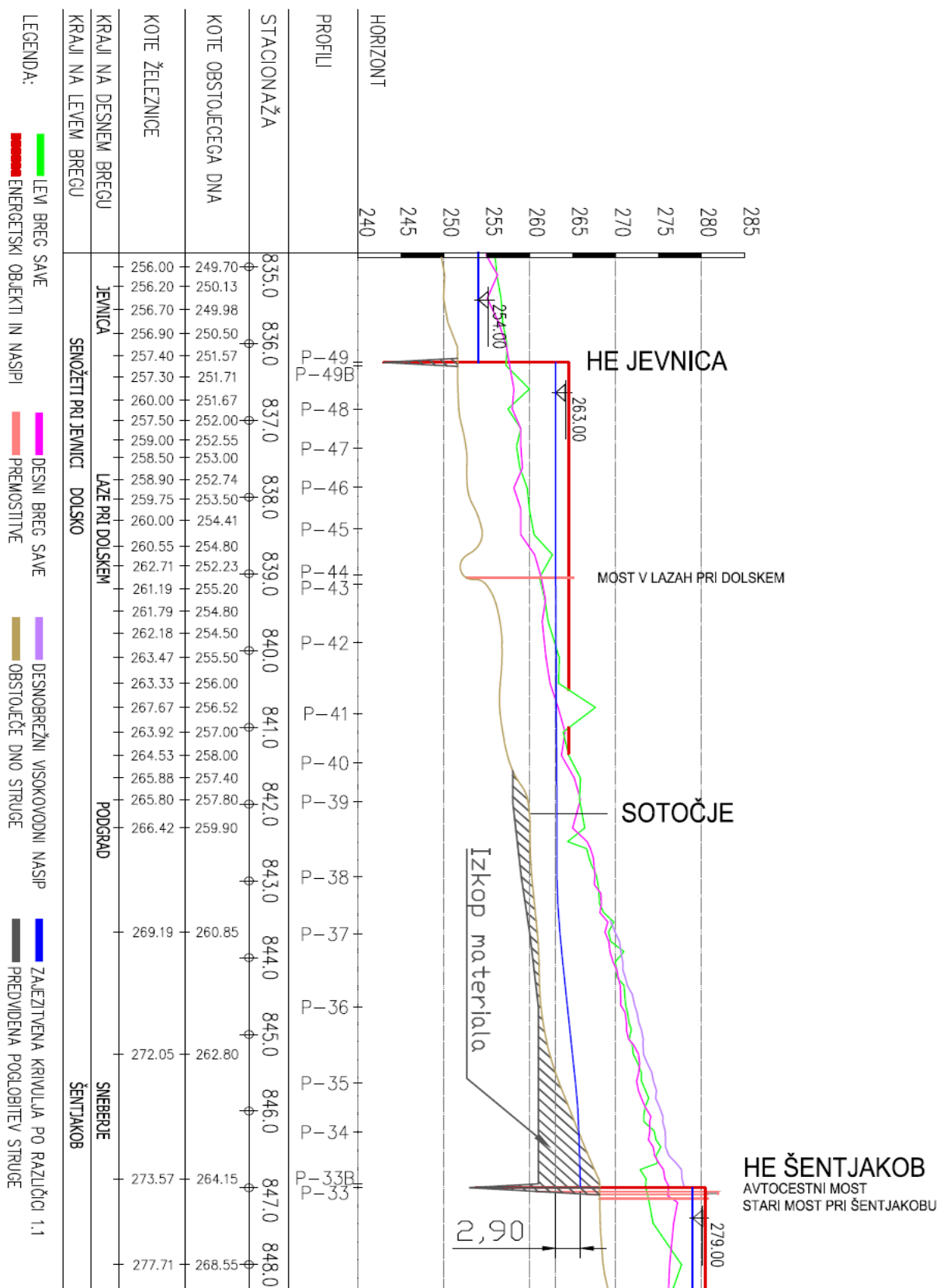
koncu sem na območju med sotočjem treh rek in mostom v Lazah pri Dolskem oziroma med profiloma P-40 in P-44 ter v okolici profila P-47 predvidel še nekaj manjših izkopov zaradi specifične oblike struge, ki bi sicer lahko negativno vplivala na odvajanje voda dolvodno.

V naslednjem koraku sem prilagodil geometrijo rečne struge tik ob obeh obravnavanih hidroelektrarnah. Dno prečnega profila P-33 sem zaradi potreb turbin HE Šentjakob poglobil na koto 253 m, poleg tega pa sem moral strugo v tem delu zaradi umestitve pretočnih polj v prostor še razširiti na širino 90 m. 50 m dolvodno sem nato v geometrijo vstavil nov profil z oznako P-33B, ki je pravzaprav kopija originalnega profila P-33, le da sem zaradi želje po energetsko čim bolj ugodnem nivoju spodnje vode pri HE Šentjakob v modificirani zasnovi 1.1 poglobil njegovo dno na koto 261 m. Podobno sem storil tudi na območju pregradnega profila HE Jevnica. V profilu P-49 je bilo namreč potrebno dno struge zaradi potreb strojnice poglobiti na koto 243 m ter dodati ustrezno visoke energetske nasipe. Za boljšo simulacijo naravnih razmer sem tudi tu v geometrijo struge vrnil nov profil z oznako P-49B, ki predstavlja kopijo originalnega prereza P-49 z dodanimi energetskimi nasipi.

V nadaljevanju me je zanimalo, kolikšen bi bil obseg zemeljskih del v primeru takšne modifikacije struge. Predvideno količino izkopnih materialov sem dobil tako, da sem s pomočjo programa AutoCAD v obstoječe prečne prereze terena vrisal zelene obrise izkopov, nato pa sem za vsak prerez izračunal ploščino območja med konturo obstoječega terena in izkopa. V naslednjem koraku sem izračunal povprečno ploščino sosednjih prečnih prerezov ter jo pomnožil z medsebojno razdaljo med njimi, na koncu pa sem dobljene vrednosti seštel za celotno območje in tako prišel do končnega rezultata. V primeru zgoraj opisane modifikacije struge je potrebno izkopati okrog 1720000 m³ materiala. Dobljene vrednosti se lahko izkažejo za nekoliko pretirane, saj so bile meritve osnovnih prečnih prerezov savske struge opravljene že leta 2007 in zato ne nudijo več točnega opisa realnih razmer na terenu. Dno savske struge se namreč zaradi zastajanja plavin za pregrado v Medvodah na odseku med Šentjakobom in Jevnico intenzivno pogloblja. V času izvedbe HE Jevnica in HE Šentjakob bi zato bilo smiselno pričakovati nekoliko manjši obseg izkopnih del, kot je predviden z gornjim izračunom.

Po sedanjih predvidevanjih je večina izkopnega materiala dovolj kvalitetnega za vgradnjo v nasipe na spodnjem delu jevniške akumulacije. Iz gradbenega vidika zato močno naraste pomen bilance mas. Zaželeno je, da sta količini potrebnih nasipnih in pridobljenih izkopnih materialov čim bolj izravnani. Na ta način se izognemo iskanju ustreznih deponij za odlaganje odvečnega materiala oziroma zmanjšamo drago dobavo iz kamnolomov na minimum. Po modificirani različici 1.1 je na razpolago precej več materiala, kot ga dejansko

potrebujemo za izgradnjo nasipov. Presežek je ocenjen na dober milijon kubičnih metrov, zato ta različica niti z izvedbenega niti z ekonomskega vidika ni optimalna.



Slika 24: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.1

V naslednjem koraku sem modificiran hidravlični model ponovno vnesel v program HEC-RAS in izračunal zaježitveno krivuljo, ki je prikazana na sliki 24. V primerjavi z različico 1.0 je tu učinek zaježitvene krivulje precej manjši, kar je posledica poglobitve dna struge na odseku med HE Šentjakob in sotočjem Save, Kamniške Bistrice in Ljubljanice. Kota gladine vode tik pod omenjeno elektrarno se po tej varianti nahaja na 265,9 m.n.v. To pomeni, da je s stališča proizvodnje električne energije zaradi efekta zaježitvene krivulje na obravnavanem odseku izgubljenega 2,9 m vodnega padca, kar je skoraj 5 metrov manj kot pri modificirani različici 1.0. Nazivna moč HE Šentjakob po modificirani različici 1.1 znaša 28,9 MW, nazivna moč HE Jevnica pa ostaja enaka kot v primeru 1.0. Skupna moč modificirane verige v tem primeru znaša 52,2 MW. Primanjkljaj moči nove zasnove verige v primerjavi z izhodiščno varianto s tremi hidroelektrarnami znaša le še 3,1 MW. Modificirana različica 1.1 je torej na račun poglobitve struge na območju Šentjakoba in Zaloga z energetskega vidika precej bolj sprejemljiva od različice 1.0.

Z modificirano različico 1.1 pa se stanje v primerjavi s predhodno varianto z vidika varovanja naravnih vrednot nekoliko poslabša. Novejša verzija namreč predvideva poglobitev struge na celotnem območju sotočja. Trasa nasipov ostane enaka kot v predhodni različici, s čimer je omogočeno ohranjanje današnje konture tega območja. Objekti so, glede na konfiguracijo okoliškega terena, relativno nizki, zato njihov vpliv na krajino ni pretiran. Nasipi povzročajo večje probleme nižje dolvodno, saj preprečujejo izliv Gradolskega potoka in Gostince v Savo. Kot rešitev predlagam priključitev omenjenih potokov na zbirni kanal, ki je predviden ob desnobrežnem nasipu. S tem ukrepom se namreč še najmanj prizadane zaščiteno območje naravnih vrednot. Vpliv gradbenih del se pozna le na skrajnem izlivnem delu, gorvodno pa ostajajo razmere nespremenjene.



Slika 25: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 1.1

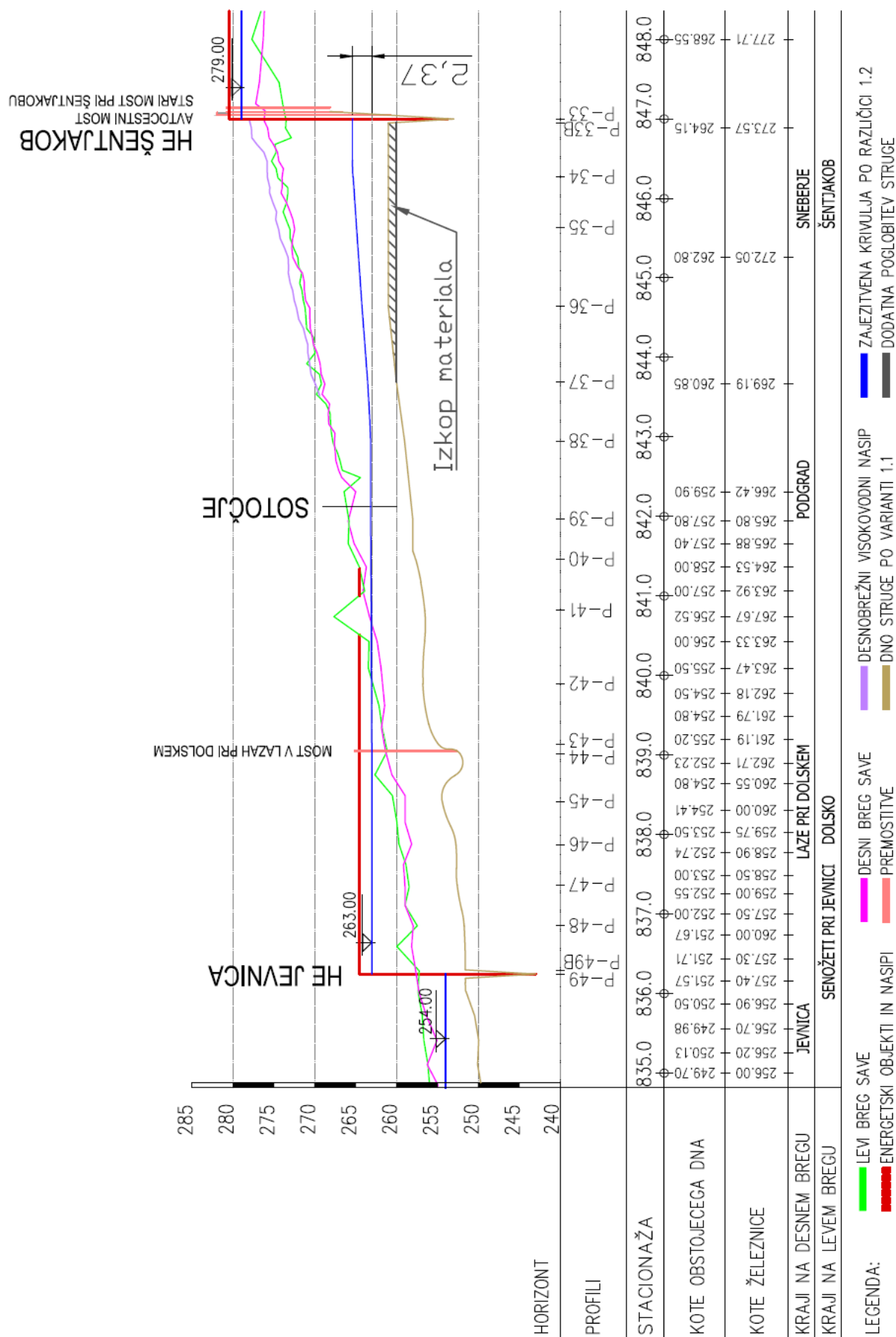
4.2.3 Modificirana različica 1.2

Z modificirano različico 1.1 sem z energetskega stališča dobil precej boljše rezultate kot z varianto 1.0, vendar ta še vedno ni dosegla ravni, ki je bila predvidena z izhodiščno verzijo. V želji, da bi na obravnavanem odseku dosegel enako nazivno moč verige, kot je bila predvidena s tremi elektrarnami, sem se odločil za nadaljnje poglobljanje savske struge na območju med Šentjakobom in sotočjem treh rek. Izhajal sem iz modificirane geometrije iz različice 1.1, pri čemer sem v varianti 1.2 dodatno predvidel nekaj manjših popravkov. Na odseku Save med Šentjakobom in centralno čistilno napravo v Zalogu oziroma med prečnima prerezoma P-33B in P-37 sem namreč poglobil dno struge na koto 260 m.

Po tej različici je potrebno izkopati nekoliko večjo količino materiala in sicer okrog 1.810.000 m³. Presežek tako presega številko 1.100.000 m³. Del tega materiala se lahko porabi za nadvišanje kritičnih območij v okolici novih ureditev ter za izvedbo še položnejših brežin nasipov, za preostanek je potrebno zagotoviti razmeroma drago odlaganje na deponijah.

Gladina vode se po posegih, ki so predvideni v različici 1.2, nahaja na koti 265,37 m.n.v. Iz slike 26 je razvidno, da je zaradi učinka zaježitvene krivulje na ta način izgubljenega le še 2,37 m vodnega padca. Nazivna moč HE Šentjakob se v primerjavi z modificirano različico 1.1 poveča za 1,2 MW in tako znaša 30,1 MW. V primerjavi z izhodiščno zasnovo iz študije UL FGG in podjetja Geateh znaša deficit skupne nazivne moči verige po modificirani varianti 1.2 le še 1,9 MW. Izgubljena moč zaradi opustitve HE Zalog je na ta način že skoraj v celoti nadomeščena s povečanjem bruto vodnega padca na HE Šentjakob.

Vpliv hidrotehničnih ureditev na naravne vrednote je po različici 1.2 povsem enak kot v predhodni varianti. Dodatno poglobljanje savske struge je namreč predvideno le na odseku Save med HE Šentjakob in CČN Zalog, zato ta različica zasnove v ničemer dodatno ne poslabšuje stanja na območjih naravnih vrednot. Poleg tega je izvedba poglobljanja omejena zgolj na dno struge, zato ta poseg bistveno ne spreminja krajinske slike niti na območju samega izvajanja del. Izjema je le ožja okolica obeh hidroelektrarn, saj je tam zaradi specifičnih potreb strojnic in pretočnih polj strugo potrebno občutneje razširiti in poglobiti. Vpliv poglobitve struge se v največji meri kaže v upadu vodne gladine. Ta se po izvedbi del nahaja približno meter in pol nižje od današnje, kar pa drastično ne spremeni tokovne slike podtalnice. Zaradi zagotavljanja nemotene vodooskrbe je kljub temu potrebna izvedba poglobljene študije vplivov, ki jih takšna ureditev prinaša. V sklopu študije je potrebno predvideti morebitne ukrepe za bogatenje podtalnice ter razmisliti o smiselnosti vzpostavitve namakalnega sistema za okoliška kmetijska zemljišča.

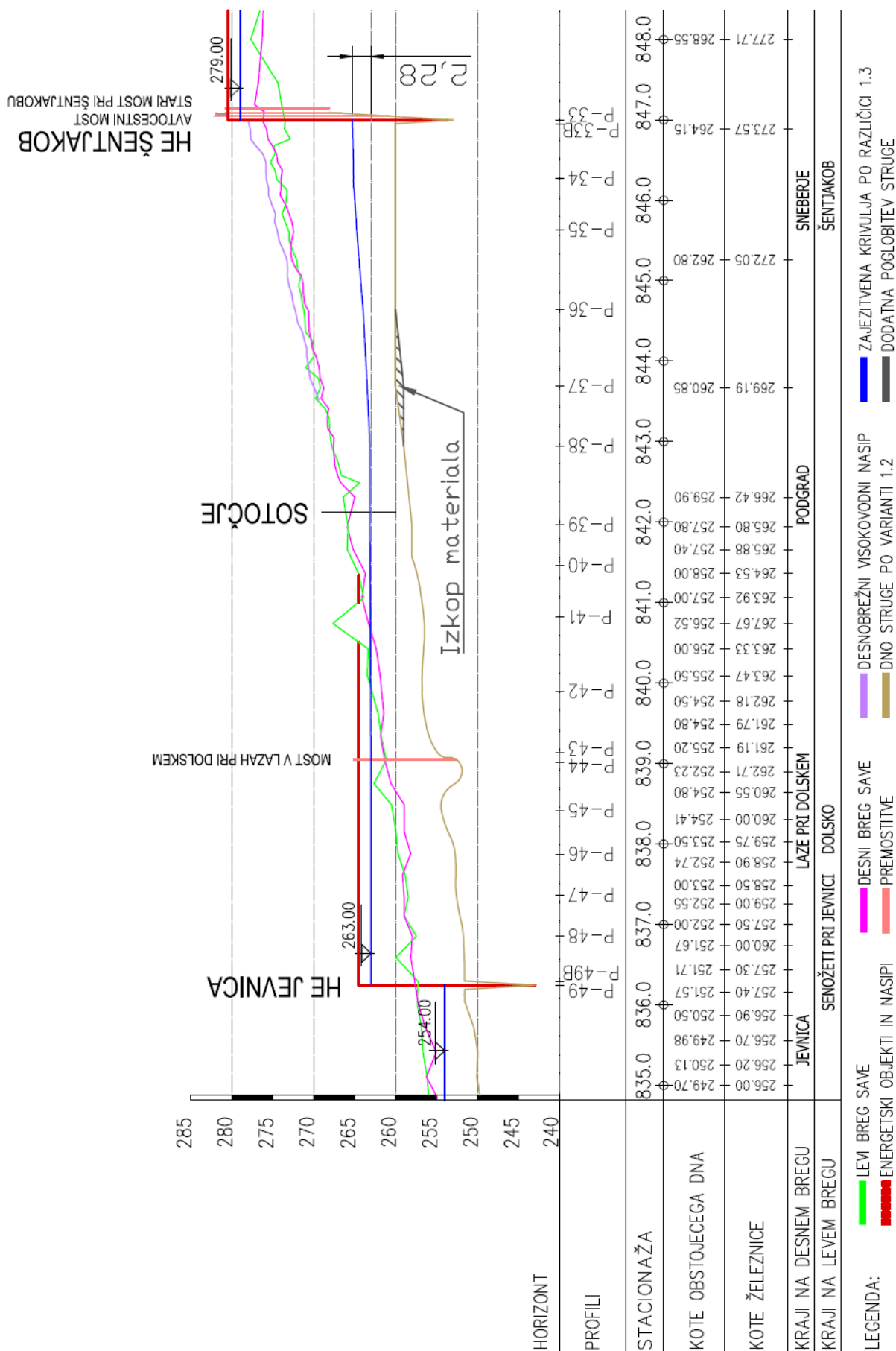


Slika 26: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.2

4.2.4 Modificirana različica 1.3

Z modificirano različico 1.2 sem za ceno razmeroma majhnega okoljskega vpliva prišel do znatnega izboljšanja energetskih kazalcev, kljub temu pa še nisem dosegel nivoja, predvidenega z izhodiščno varianto s tremi hidroelektrarnami. V novi varianti sem zato nadaljeval s poglobljanjem struge na območju, kjer je bil v predhodni različici opazen izrazit dvig zajezivne krivulje. Dodatno poglobitev dna sem predvidel na odseku reke severno od CČN Zalog pri prečnem prerezu z oznako P-37, in sicer na koto 259 m. Obseg izkopa se s tem minimalno poveča, tako da tudi dodatno poslabšanje masne bilance ni preveliko. Skupna količina izkopanega materiala po varianti 1.3 znaša okrog 1840000 m³, kar je le 30000 m³ več kot po predhodni zasnovi. S takšnim posegom se tudi vpliv na okolje bistveno ne spremeni. Stopnja prizadetosti naravnih vrednot z obravnavanega območja je enaka kot pri modificirani različici 1.1.

Slabša stran tako majhnega obsega dodatne poglobitve se kaže v minimalnem znižanju kote gladine vode pod šentjakobsko pregrado. Kot je razvidno iz slike 27, ta upade le za dodatnih 9 cm. Nova moč HE Šentjakob se v primerjavi s predhodno različico posledično poveča za 0,2 MW in skupno znaša 30,3 MW. Kljub temu je prirastek nazivne moči omenjene hidroelektrarne še vedno premajhen, da bi modificirana različica 1.3 lahko v celoti pokrila izpad HE Zalog. Razlika v nazivni moči še vedno znaša 1,7 MW v korist izhodiščne variante.



Slika 27: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.3

4.2.5. Modificirana različica 1.4

Ker sta do izenačenja nazivne moči izhodiščne variante še vedno manjkala slaba 2 MW, sem se v naslednjem koraku odločil za še konkretnejšo poglobitev. V prejšnji različici se je namreč izkazalo, da malenkostne poglobitve struge ne pripomorejo veliko k upadu nivoja spodnje vode na HE Šentjakob. Pri varianti 1.4 sem zato na odseku med omenjeno elektrarno in lokacijo opuščene HE Zalog oziroma med profiloma P-33B in P-38 koto dna struge predvidel na višini 259 m.n.v. Tak ukrep za slabih 90000 m³ poveča obseg izkopnih del, ter s tem dodatno poslabša masno bilanco ureditve.

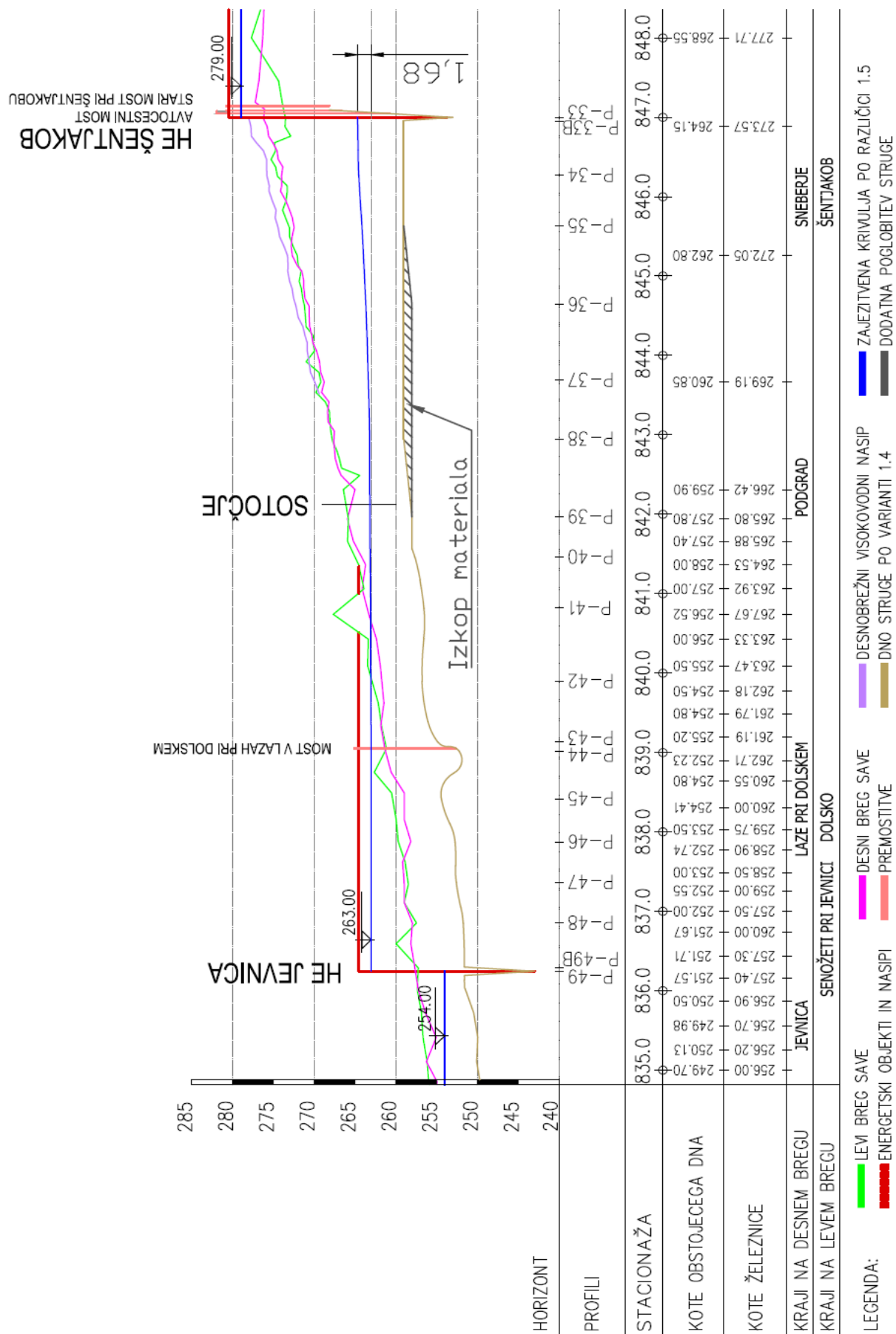
Pozitivna stran tega ukrepa je upad kote gladine spodnje vode HE Šentjakob na višino 264,89 m.n.v. Z energetskega stališča je tako izgubljenega manj kot 2 m vodnega padca, kar je razvidno s slike 28. Posledica tega je povečanje nazivne moči HE Šentjakob, ki po novem znaša 31,1 MW. Kljub razmeroma velikemu povečanju moči omenjene elektrarne pa modificirana različica 1.4 v skupnem seštevku še vedno zaostaja za izhodiščno zasnovo s tremi hidroelektrarnami. Razlika se sicer že močno zmanjša, saj znaša manj kot 1 MW. Ker so dodatna dela omejena na območje nad sotočjem treh rek, se okoljski vpliv te različice na območja naravnih vrednot ni pretirano razlikoval od predhodnih. To je bil tudi eden od glavnih razlogov, da sem s poglobljanjem struge nadaljeval vse do izenačitve nazivnih moči z izhodiščno varianto.

4.2.6 Modificirana različica 1.5

Pri varianti 1.5 sem v primerjavi z njeno predhodnico dodatno poglobil območje med prečnima prerezoma P-36 in P-38, in sicer na koto 258 m. Za ta korak sem se odločil zato, ker se je zaježitvena krivulja v modificirani različici 1.4 ravno na tem območju začela izraziteje dvigovati. Hkrati se ta odsek nahaja izven zaščenega območja sotočja Save s Kamniško Bistrico in Ljubljano, zato je poglobljanje struge na tem območju manj problematično s stališča varovanja naravnih vrednot. Poleg tega je poglobitev sotočja, ki je bila predvidena z različico 1.1, še vedno hidravlično ustrezna in je ni potrebno dodatno prilagajati.

Za izvedbo poglobitve, predvidene z modificirano varianto 1.5, bi bilo potrebno odstraniti več kot dva milijona m³ materiala. Za več kot 60 odstotkov tega materiala bi bilo potrebno poiskati ustrezne deponije, kar z izvedbenega, posledično pa tudi z ekonomskega vidika predstavlja velike težave.

Maksimalna višina zaježitvene krivulje po različici 1.5 znaša le še 1,68 m (slika 29), na ta račun pa se poveča nazivna moč HE Šentjakob na 31,6 MW. Skupna nazivna moč modificirane verige po različici 1.5 tako znaša 54,9 MW, kar je le še 0,4 MW manj kot pri izhodiščni varianti verige s tremi hidroelektrarnami.



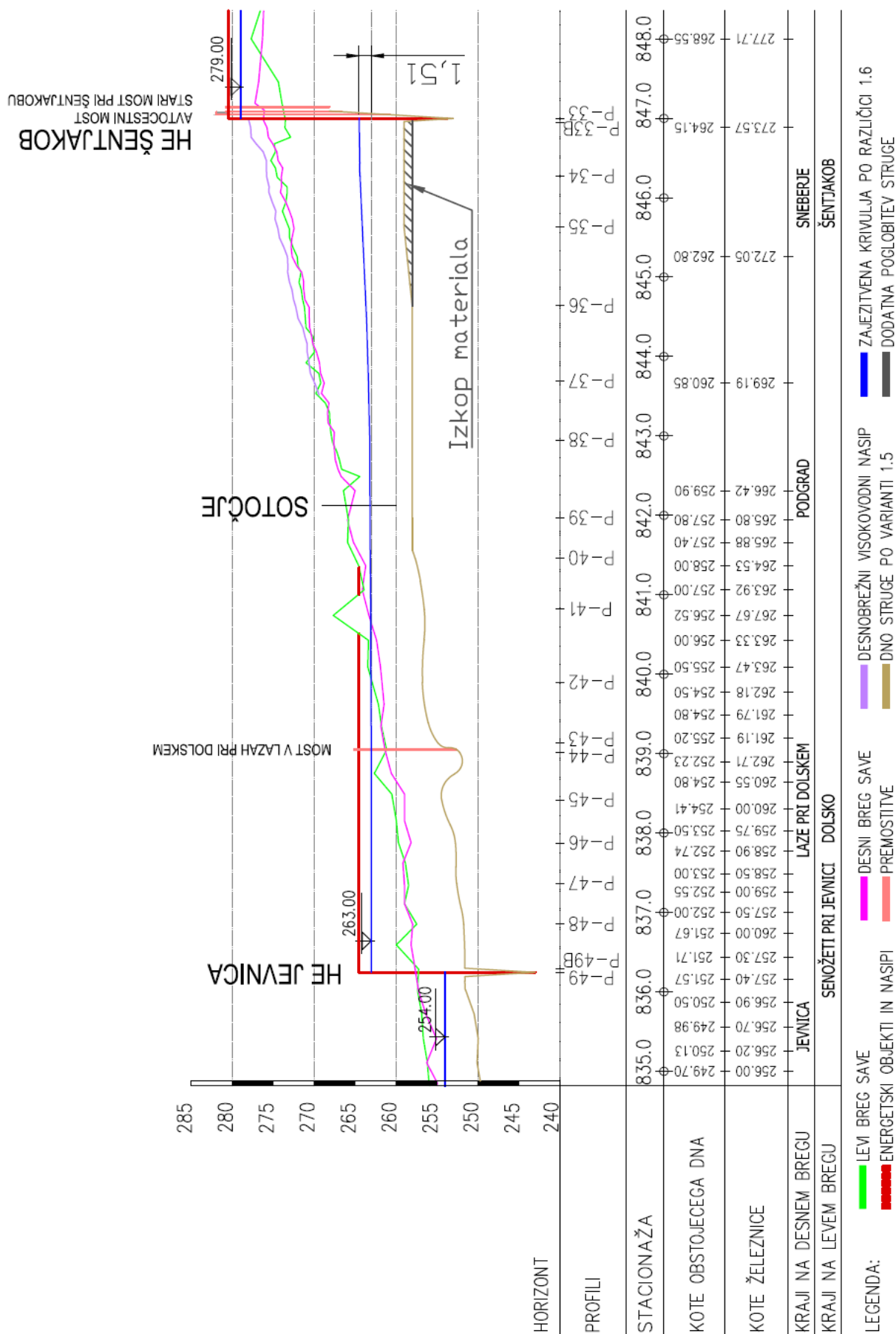
Slika 29: Prikaz zajezitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.5

4.2.7 Modificirana različica 1.6

Zadnja varianta, ki sem jo izdelal za primer zaježitve HE Jevnica na koto 263 m, ima oznako 1.6. Tudi ta predstavlja neke vrste nadgradnjo svoje predhodnice. V njej je predvidena poglobitev struge na koto 258 m na odseku med prerezoma P-33B do P-39. To pomeni, da bi zemeljska dela potekala na celotnem območju med sotočjem treh rek in lokacijo pregrade v Šentjakobu, dno struge pa bi bilo na tem odseku praktično povsem izravnano. Za takšno izvedbo verige bi bila potrebna odstranitev kar okrog 2061000 m³ materiala. Nekaj bi se ga lahko porabilo za izgradnjo nasipov v spodnji polovici akumulacije, za preostanek pa bi bilo potrebno poiskati ustrezne deponije.

S poglobitvijo dna savske struge na zgoraj omenjeno raven se gladina spodnje vode pri HE Šentjakob pri instaliranem pretoku spusti na koto 264,51 m. Njen vodni padec tako znaša 14,49 m, nazivna moč omenjene elektrarne pa se s tem poveča na natanko 32 MW. Na ta način sta HE Šentjakob ter HE Jevnica že sposobni energetsko povsem enakovredno nadomestiti opuščeno HE Zalog. Razlika v nazivni moči med modificirano različico 1.6 in izhodiščno varianto namreč znaša le še 0,02 MW v korist slednje. To količino lahko zaradi premajhnega števila prečnih prerezov, morebitnih napak pri meritvah ter nepopolnih računskih postopkov, praktično zanemarimo.

Ker so za izenačitev moči obeh variant potrebna obsežna zemeljska dela, poleg tega pa je tudi izravnava nasipnih in izkopnih materialov razmeroma slaba, saj bi bilo potrebno ustrezno deponirati več kot 1350000 m³ materiala, sem v nadaljevanju preučil sprejemljivost še nekaterih drugih možnih alternativ.



Slika 30: Prikaz zajezitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 1.6

4.3 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 264 m.n.v.

Ker razmere na terenu omogočajo dodatno povišanje kote gladine vode pri HE Jevnica, sem v nadaljevanju preveril tudi smiselnost te možnosti. V dosedanjih študijah energetskega potenciala srednje Save je bilo ugotovljeno, da bi bil načeloma možen dvig kote zaježitve pri HE Jevnica vse do višine 266 m, zato sem s programom HEC-RAS izračunal zaježitvene krivulje še za nekatere od teh variant. Postopek je bil podoben kot pri prvem sklopu modificiranih različic verige hidroelektrarn. V drugem sklopu sem nastavil robni pogoj tako, da se na pregradnem profilu HE Jevnica (profil P-49) gladina vode nahaja na koti 264 m.n.v., kar je meter višje kot v predhodnem sklopu modifikacij. S tem sem želel zmanjšati obseg zemeljskih del, povezanih s poglobljanjem dna savske struge, poleg tega pa sem hotel priti do izenačitve ali celo povečanja nazivne moči v primerjavi z izhodiščno zasnovo s tremi hidroelektrarnami. Dvig nivoja zaježitve v jevniškem akumulacijskem bazenu zaradi višjih in daljših nasipov močneje vpliva na krajinsko sliko. V večji meri so prizadeta tudi območja naravnih vrednot z obravnavanega odseka reke Save, predvsem sotočje treh rek in izlivni del Ljubljaničice. Glede sotočja je potrebno poudariti, da se tu v nobenem primeru ni mogoče povsem izogniti gradbenim posegom, vseeno pa modificirane različice, ki predvidevajo opustitev HE Zalog, v veliko večji meri ohranijo današnjo strukturo tega območja. Dvig zaježitvene višine HE Jevnica je zato z okoljskega vidika še vedno precej bolj sprejemljiv od izgradnje zaloške hidroelektrarne.

4.3.1 Modificirana različica 2.0

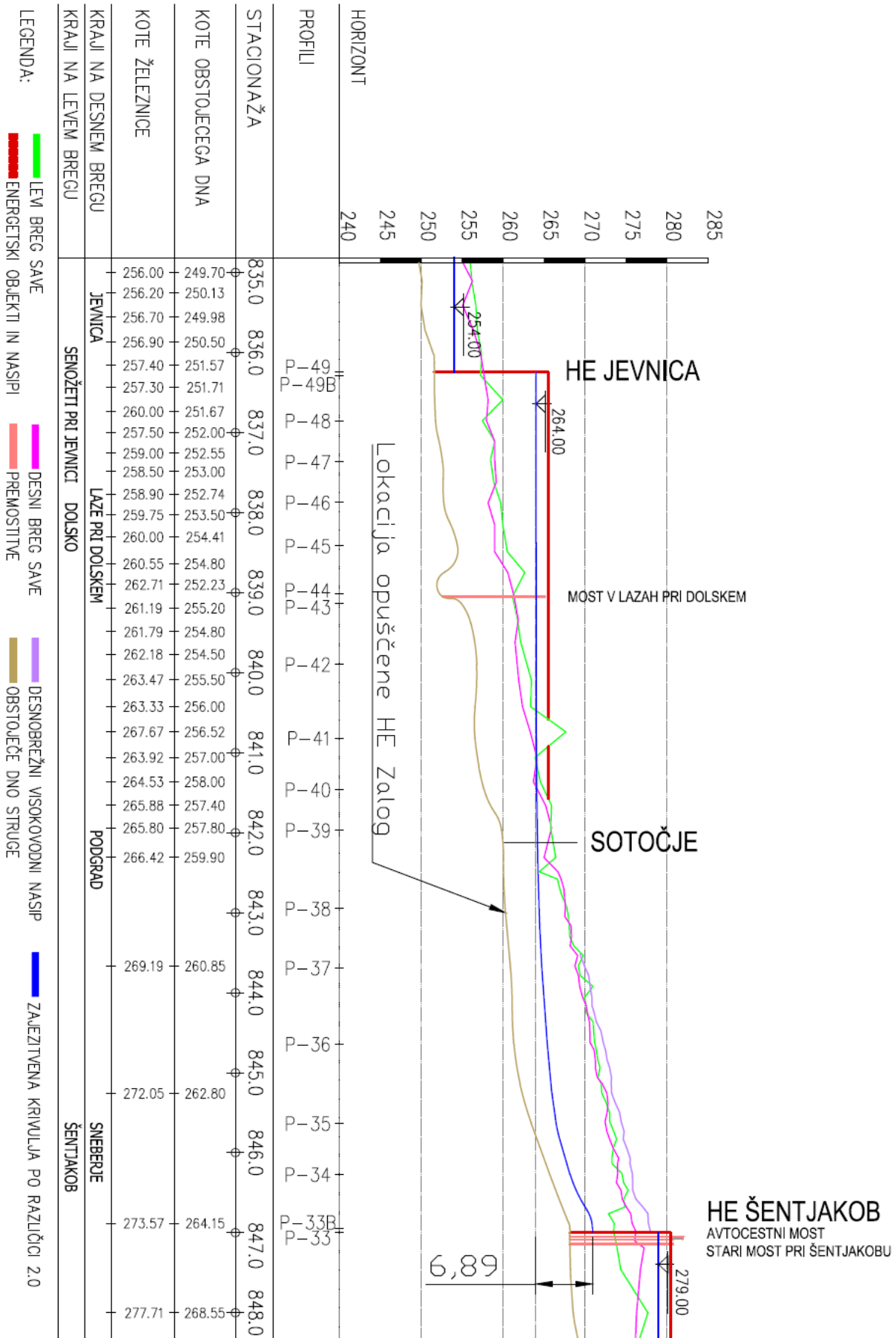
Pri začetni različici iz prvega sklopa modifikacij sem v program HEC-RAS vnesel le osnovno geometrijo struge reke Save ter ji na območju med sotočjem treh rek in HE Jevnica dodal nasipe. V zadnjem profilu (P-49) sem nastavil še dolvodni robni pogoj in sicer poznano gladino vode (known WS). Ta se nahaja na koti 263 m.n.v. S programom HEC-RAS sem izračunal zaježitveno krivuljo, ki sem jo nato prek programa AutoCAD vnesel v izhodiščni vzdolžni prerez. Ta je prikazan na sliki 22.

Za izdelavo modificirane različice 2.0 sem v program HEC-RAS vnesel osnovno geometrijo struge reke Save in ji na območju, kjer bi voda lahko prestopila bregove, dodal nasipe. Njihovo krono sem zaradi dviga vodne gladine v jevniški akumulaciji predvidel na višini 265,5 m. To je povzročilo rahlo podaljšanje njihove trase. S kombiniranjem podatkov iz prečnih in vzdolžnih prerezov ter temeljnega topografskega načrta sem ugotovil, da so ob levem bregu nasipi potrebni na odseku med sotočjem treh rek in pregradnim objektom v Jevnici oziroma

med prerezoma P-39 in P49. Tudi na desnem bregu je situacija podobna, le da si tu pri oblikovanju akumulacije v večji meri lahko pomagamo z nadvišanjem obstoječih cestnih nasipov. Za ohranitev današnje konture sotočja Save, Kamniške Bistrice in Ljubljanice so nasipi potrebni tudi na izlivnih območjih omenjenih rek. Na Ljubljanici je z njimi potrebno zavarovati odsek med pritokom Besnice in sotočjem treh rek, na Savi so potrebni na južnem rtu, na Kamniški Bistrici pa zgolj na stiku tega vodotoka s Savo. S pomočjo programa AutoCAD sem ocenil, da je za izvedbo takšnih nasipov skupno potrebnega okrog 882000 m³ nasipnega materiala. To pomeni za 176000 m³ oziroma slabo četrtno večji obseg nasipnih del kot v primeru prvega sklopa modifikacij. V hidravličnem modelu sem nato nastavil robni pogoj poznane vodne gladine pri HE Jevnica na 264 m.n.v. ter pognal izračun.

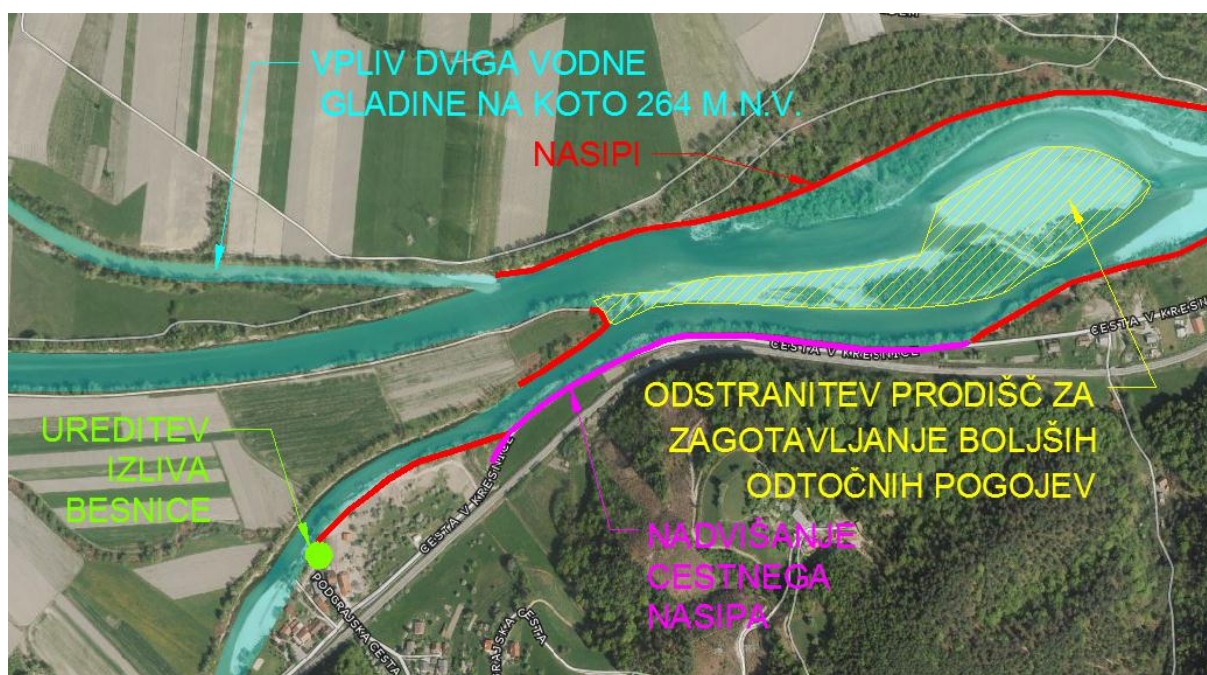
Kar se tiče kote gladine spodnje vode pri HE Šentjakob (profil P-33), sem dobil identičen rezultat kot pri varianti 1.0, in sicer 270,89 m. To pomeni, da glavno vlogo pri vzpostavitvi zaježitvene krivulje na tem območju odigra geometrija struge, predvsem kota njenega dna. Oblika zaježitvene krivulje je predstavljena na sliki 31.

Kljub temu, da se kota vodne gladine v profilu P-33 nahaja na enaki višini kot pri modificirani različici 1.0, je deficit nazivne moči modificirane variante 2.0 v primerjavi z izhodiščno varianto s tremi elektrarnami nekoliko manjši. To je posledica nadvišanja kote zaježitve pri HE Jevnica. V primerjavi z modificirano verzijo 1.0 z novo zasnovo zmanjšamo višino energetske izgubljenega padca za en meter, tako da skupno znaša le še 6,89 m, s poglobljanjem struge pa je možno ta segment še dodatno izboljšati. Zaradi dotoka Kamniške Bistrice in Ljubljanice ima jevniška elektrarna predviden tudi večji instaliran pretok, kar pomeni, da pri enakem padcu proizvede večjo količino električne energije kot HE Šentjakob. Z energetskega stališča je zato ugodno čim večje nadvišanje kote zaježitve na HE Jevnica, kar pa po drugi strani prinaša večji obseg gradbenih del, vezanih na izgradnjo nasipov ter večji okoljski vpliv na krajino in naravne vrednote z obravnavanega odseka reke Save. Nazivna moč HE Jevnica po varianti 2.0 znaša 26,6 MW, kar je 3,3 MW več kot v prvem sklopu modifikacij. Ob upoštevanju zaježitvene krivulje, prikazane na sliki 31, ostaja moč HE Šentjakob enaka kot v modificirani različici 1.0, in sicer znaša 17,9 MW. Skupna nazivna moč nove zasnove je tako za 10,8 MW manjša kot pri izhodiščni varianti s tremi elektrarnami, hkrati pa je za 3,3 MW večja kot pri primerljivi modificirani varianti 1.0. S poglobljanjem struge po vzoru prvega sklopa modifikacij je energetske kazalce možno še dodatno izboljšati.



Slika 31: Prikaz zajezičvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.0

Slabša stran dviga nivoja vodne gladine v jevniškem akumulacijskem bazenu se kaže predvsem v večjem vplivu na okolje. Zaradi nekoliko daljših in višjih nasipov je bolj prizadet izgled krajine. Vzpostavitev krone nasipov na koti 265,5 m zahteva nekoliko večje telo nasipov in s tem večjo rezervacijo prostora vzdolž reke. Z okoljskega vidika ostajajo najbolj sporni posegi v območja naravnih vrednot. Izlivna odseka Gradolskega potoka in Gostince sta z dvigom kote zaježitve na 264 m.n.v. praktično enako prizadeta kot pri prvem sklopu modifikacij, večji vpliv pa se kaže na območju sotočja treh rek. V primerjavi s prvim sklopom modifikacij je tu potrebno dodati nasipe na rtu med Savo in Ljubljanico. Poleg tega je potrebno podaljšati njihovo traso vzdolž desnega brega Ljubljanice ter na ta način zaščititi nekaj najbolj izpostavljenih objektov v Podgradu. Zaradi podaljšanega nasipa je tu onemogočen sedanjí izliv Besnice v Ljubljano, tako da je za ta problem potrebno poiskati ustrežno rešitev. Najenostavnejša in cenovno najugodnejša rešitev je priključitev Besnice na zbirni kanal ob desnobrežnem nasipu, alternativno možnost pa predstavlja prečrpavanje vode prek nasipov v Ljubljano. Povišanje nivoja vodne gladine v jevniškem akumulacijskem bazenu vpliva tudi na hidravlične razmere na izlivnih delih Kamniške Bistrice in Ljubljane, vendar spremembe niso drastične.



Slika 32: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 2.0

4.3.2 Modificirana različica 2.1

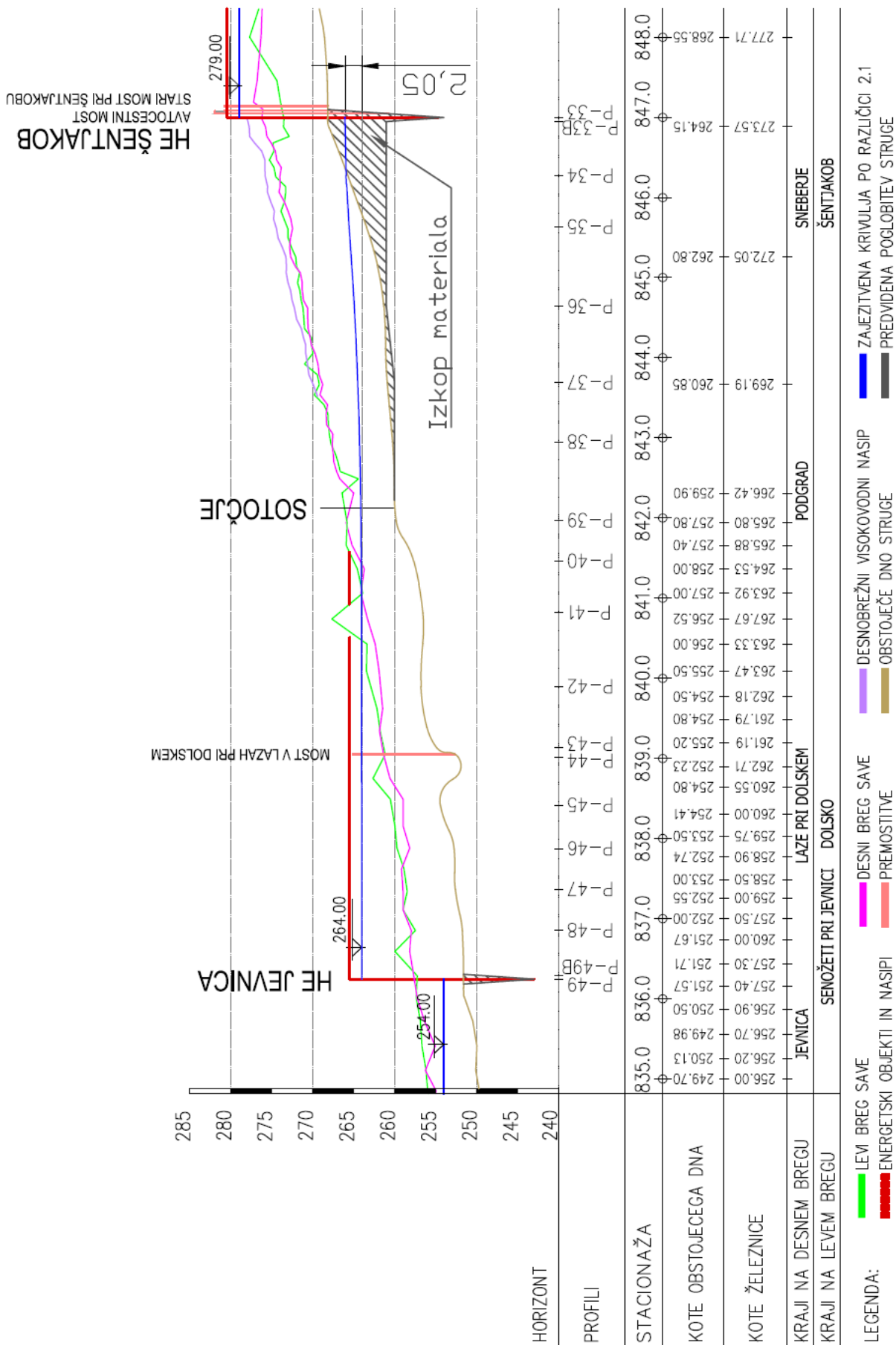
Pri izdelavi geometrije struge za verzijo 2.1 sem izhajal iz grafičnega prikaza zaježitvene krivulje za različico 2.0. S slike 31 je razvidno, da se izrazit dvig vodne gladine pojavi šele

malo nad sotočjem Save, Ljubljance in Kamniške Bistrice, zato sem poglobljanje struge v tej varianti omejil na območje gorvodno od tod. Na območju reke Save v zgornji polovici Beriških travnikov in Sneberškega proda oziroma med prečnima prerezoma P-33B in P36 sem koto novega dna struge predvidel na višini 261 m.n.v, na preostalem odseku do sotočja treh rek pa se dno struge nahaja na koti 260 m.n.v. Na ta način sem se v večji meri izognil neželenemu poglobljanju struge na zaščitenem območju. Tam je kljub vsemu zaradi zagotavljanja ugodnih hidravličnih razmer neizogibna odstranitev obstoječih prodišč. Na odseku med zgoraj omenjenim sotočjem in mostom v Lazah pri Dolskem oziroma med prečnima prerezoma P-40 in P-44 ter pod hribom Špilj (v prerezu P-47) sem predpostavil še nekaj dodatnih izkopov zaradi specifične oblike struge, ki bi prav tako lahko ovirala nemoteno odvajanje vode.

Z naslednjim korakom sem v hidravličnem modelu prilagodil še prereza pregradnih objektov (profil P-33 in P-49) novim zahtevam strojnic in pretočnih polj obeh hidroelektrarn. Pri prerezu P-33 sem dno struge predpostavil na koti 254 m, pri prerezu P-49 pa je globina dna struge ostala enaka kot v prvem sklopu modificiranih variant.

Tako pripravljeno geometrijo struge obravnavanega odseka sem vnesel v program HEC-RAS ter pognal izračun. Vodna gladina se pod šentjakobsko elektrarno (profil P-33) nahaja na koti 266,05 m. To pomeni, da je z vidika proizvodnje električne energije izgubljenega le 2,05 m padca, kar je predstavljeno tudi na sliki 33. Nazivna moč HE Šentjakob po modificirani različici 2.1 tako znaša 28,6 MW, skupna moč obeh modificiranih elektrarn pa 55,2 MW, kar je le 0,1 MW manj kot pri izhodiščni varianti s tremi hidroelektrarnami.

V primerjavi z variantami iz prvega sklopa modifikacij je tu potrebno poudariti še občutno manjši obseg zemeljskih del v zvezi s poglobljanjem struge. Količina izkopnega materiala po modificirani različici 2.1 namreč znaša le okrog 1261000 m³. To pomeni, da je pri tej varianti za praktično enak učinek glede nazivne moči kot pri varianti 1.6 potrebnih kar za 800000 m³ manj zemeljskih del, povezanih z izvedbo izkopov, in le za okrog 175000 m³ več zemeljskih del, povezanih z izgradnjo nasipov, zato je ta različica z gradbenega, posledično pa tudi z ekonomskega stališča, mnogo bolj ugodna. Tudi z okoljskega vidika zgoraj obdelana različica ni bistveno slabša od verzij iz prvega sklopa modifikacij. Na območju sotočja treh rek so sicer potrebni nekoliko večji in daljši nasipi, vendar se na ta način skoraj v celoti izognemo poglobljanju struge na zaščitenem območju.

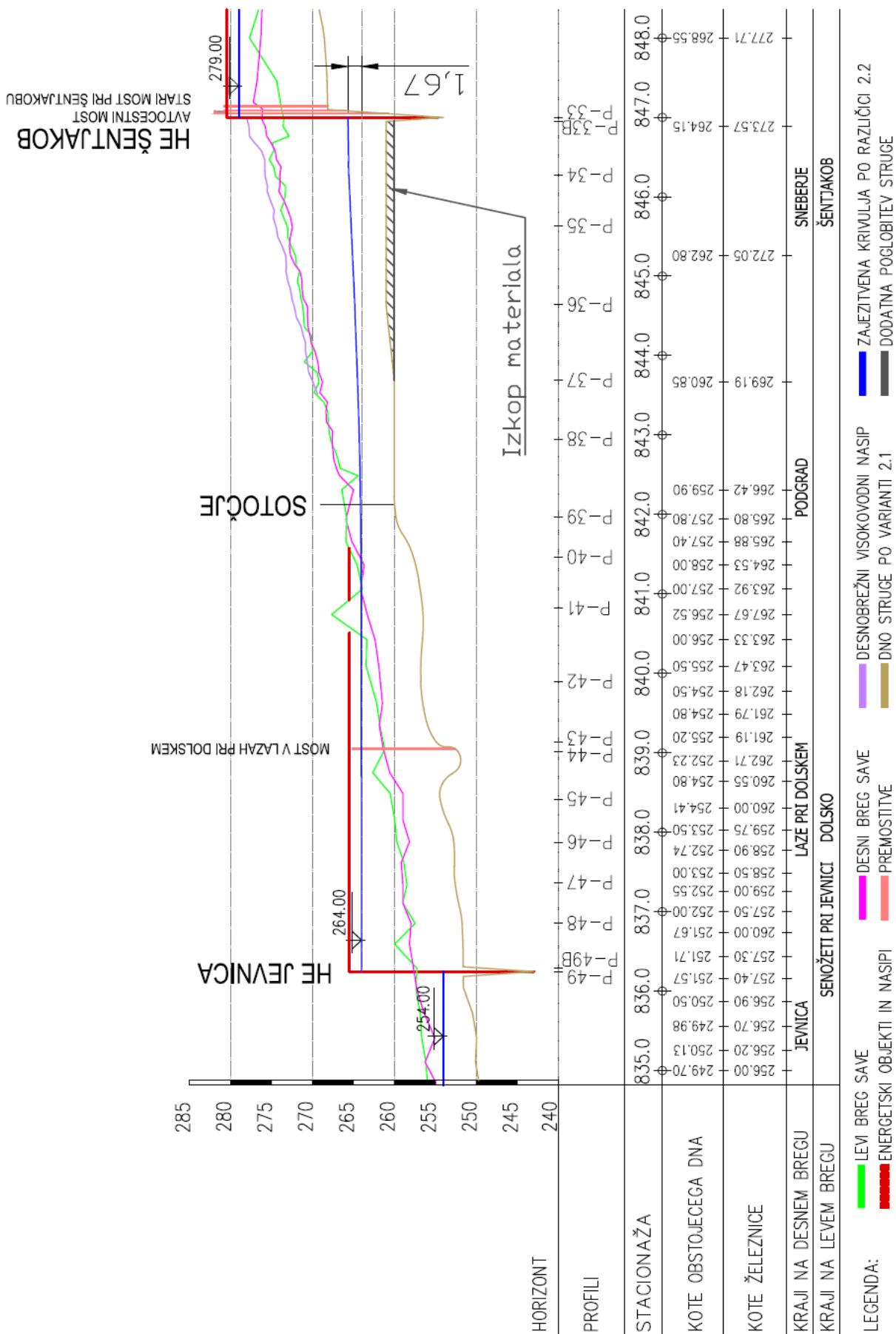


Slika 33: Prikaz zajezitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.1

4.3.3 Modificirana različica 2.2

Razmeroma dobre rezultate iz modificirane različice 2.1 sem v nadaljevanju želel še nekoliko nadgraditi, saj je z energetskega stališča še vedno izgubljenega več kot 2 m vodnega padca, zato sem nadaljeval s poglobljanjem struge na območju pod HE Šentjakob in nad sotočjem Save z Ljubljanico in Kamniško Bistrico. Pri različici 2.2 sem modificiral predhodno verzijo geometrije tako, da sem dodatno poglobil odsek med profiloma P-33B in P-36 na koto 260 m. Na ta način se za slabih 100000 m³ poveča količina izkopnega materiala, kar sicer nekoliko poslabša bilanco mas, vendar zaradi posega upade gladina spodnje vode HE Šentjakob na koto 265,67 m. Velikost energetske izgubljenega padca se s tem zmanjša na 1,67 m, kar je ponazorjeno na sliki 34.

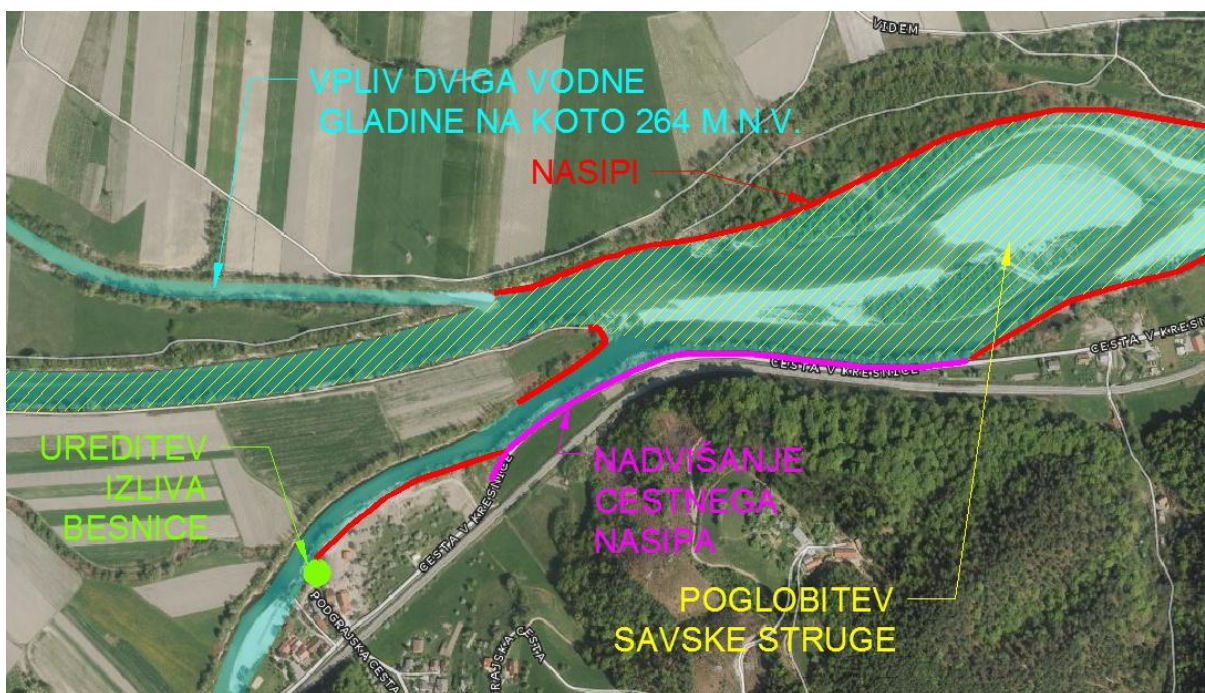
Posledično se poveča nazivna moč HE Šentjakob, ki v tem primeru znaša 29,4 MW. Skupna nazivna moč obeh modificiranih elektrarn znaša natanko 56 MW. To pomeni, da je na ta način možno z le dvema modificiranimi elektrarnama zagotoviti 1 MW več moči kot jo je bilo predvidene s tremi elektrarnami v izhodiščni varianti. Ob tem je okoljski vpliv na naravne vrednote z obravnavanega odseka reke Save povsem enak kot pri predhodni varianti.



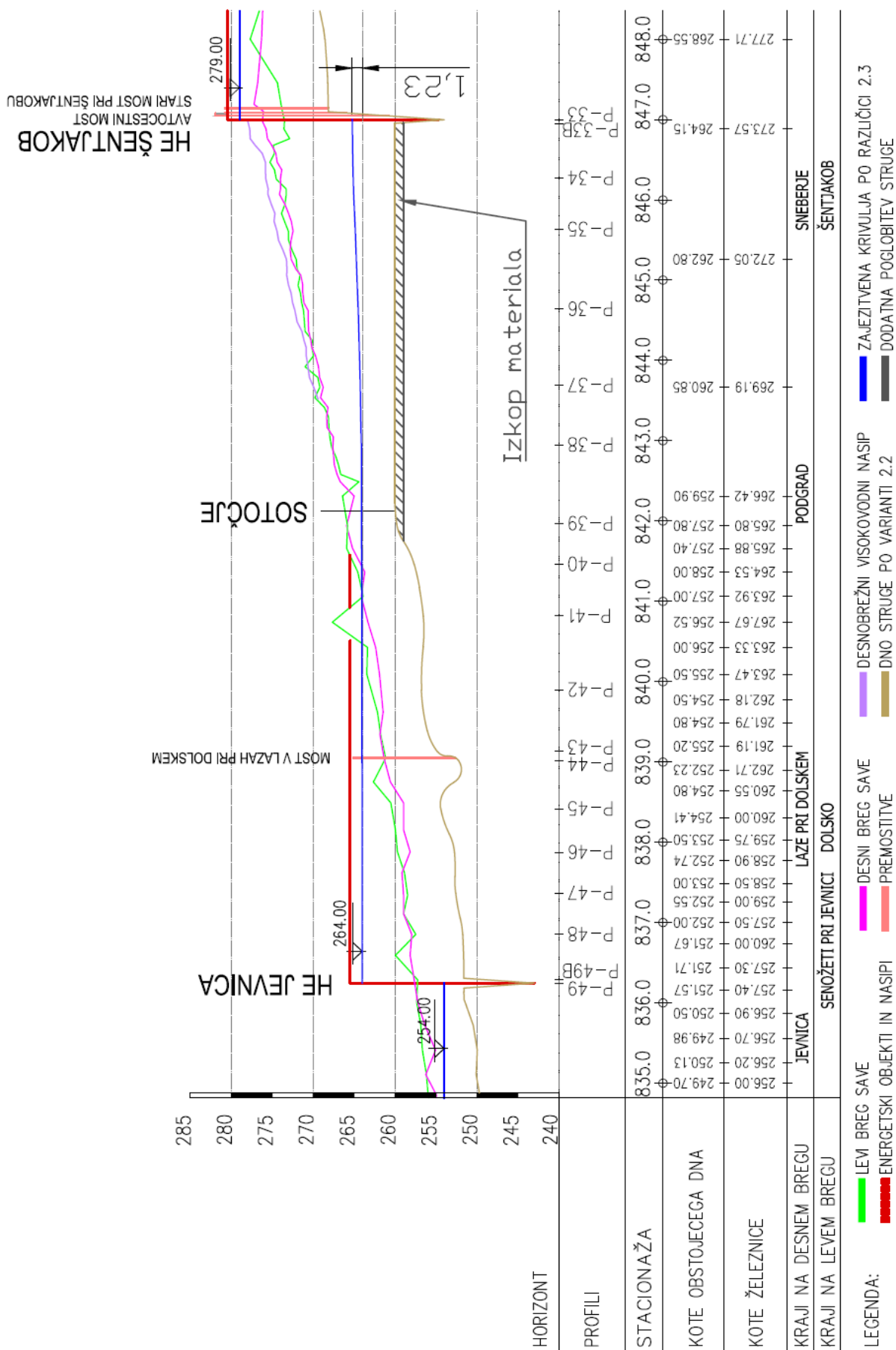
Slika 34: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.2

4.3.4 Modificirana različica 2.3

V želji, da bi v še večji meri izkoristil energetski potencial reke Save in s tem povečal moč HE Šentjakob, sem izdelal še različico 2.3, ki predvideva enotno poglobitev struge na območju od profila P-33B do profila P-39 na koto 259 m. Na ta način bi bilo potrebno izkopati okrog 1790000 m³ materiala, s tem pa bi pridobili še 44 cm dodatnega padca na HE Šentjakob. Kot je razvidno s slike 36, je zaradi učinka zajezivne krivulje izgubljenega le še 1,23 m vodnega padca. To pomeni, da bi se moč HE Šentjakob v primerjavi s predhodno različico povečala še za dodaten 1 MW, vendar za ceno precej večjega obsega zemeljskih del in dodatnega poseganja v zaščiteno območje sotočja treh rek (slika 35), zato je za izvedbo precej bolj upravičena varianta 2.2.



Slika 35: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 2.3



Slika 36: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 2.3

4.4 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 265 m.n.v.

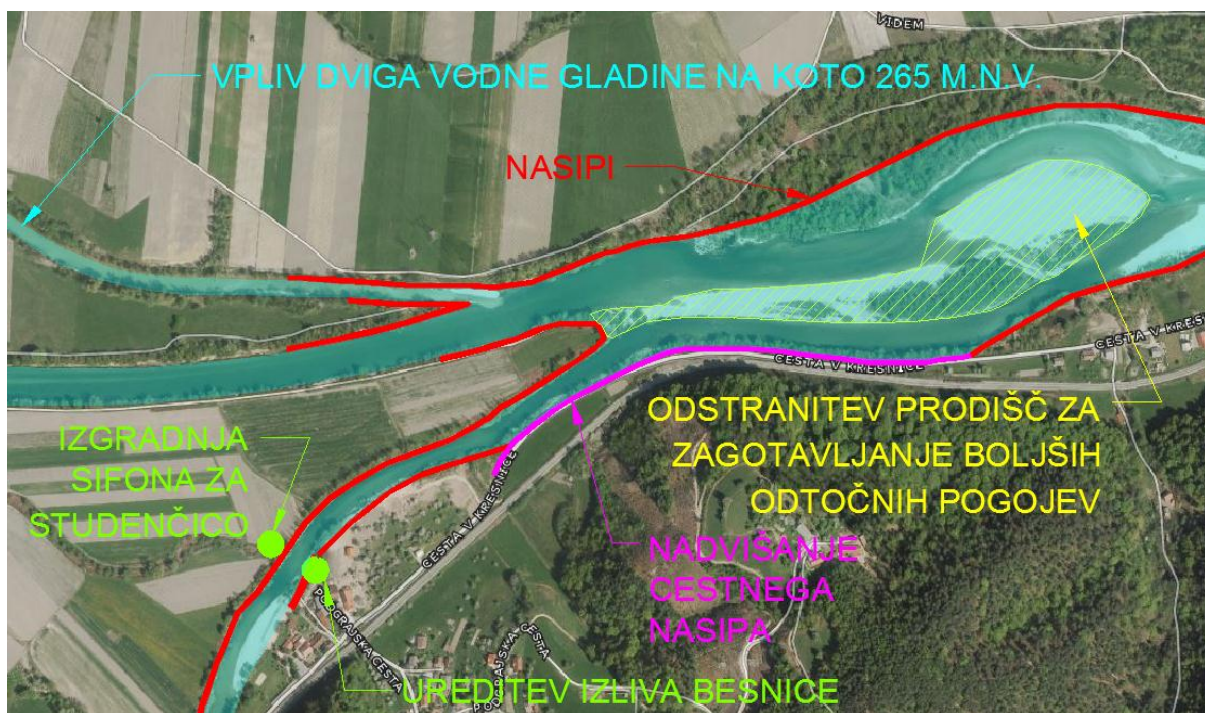
Z dvigom zaježitvene višine na HE Jevnica sem v drugi skupini modifikacij dobil znatno boljše rezultate s stališča energetike, izvedbe in ekonomske upravičenosti. Tudi okoljski vidik ni bil bistveno slabši od različic iz prvega sklopa modifikacij. V tretjem sklopu modifikacij verige sem se zato odločil za dodaten dvig vodne gladine na HE Jevnica. Koto zgornje vode omenjene hidroelektrarne sem nastavil na 265 m.n.v. S tem sem želel dodatno izboljšati energetske kazalce elektrarn na tem delu reke, čeprav sem že v prejšnjem sklopu ugotovil, da je možno le z dvema hidroelektrarnama zagotoviti povsem enakovredne oziroma celo nekoliko boljše energetske rezultate kot jih predvideva izhodiščna zasnova s tremi hidroelektrarnami. Za dodatno nadvišanje jevniške elektrarne sem se odločil tudi zaradi velikih rezerv pri izravnavi masnih bilanc. S prejšnjimi variantami modifikacij je namreč potrebno izkopati veliko več materiala kot se ga porabi za gradnjo nasipov. Dodaten dvig vode v jevniški akumulaciji sicer nekoliko slabše vpliva na krajinski izgled ter zahteva obširnejše posege v zavarovana območja, vendar večja skupna nazivna moč verige in s tem večja proizvodnja električne energije izboljšuje ekonomsko upravičenost celotnega projekta, zato je potrebno podrobneje preučiti tudi te možnosti. Povrhu vsega je tudi tretji sklop zasnov okoljsko še vedno precej bolj sprejemljiv od trenutno aktualne variante s tremi elektrarnami na obravnavanem odseku.

4.4.1 Modificirana različica 3.0

Po že ustaljenem postopku sem za izhodiščno različico tretjega sklopa izvedel izračun zaježitvene krivulje za nemodificirano geometrijo struge reke Save z dodanimi nasipi. Ti so potrebni vzdolž obeh bregov med sotočjem Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice ter pregradnim objektom v Jevnici. Njihova krona je predvidena na koti 266,5 m, kar je 1,5 m nad predvideno koto zaježitve. Za njihovo izgradnjo je potrebnih okrog 1150000 m³ materiala. Tako pripravljen hidravlični model sem vnesel v program HEC-RAS in dobil zaježitveno krivuljo, ki je prikazana na sliki 37.

Kota gladine vode tik ob šentjakovski pregradi oziroma v profilu P-33 je po izračunu znašala 270,90 m, kar je centimeter višje kot v predhodnih sklopih. Dvig vodne gladine torej zanemarljivo malo vpliva na izrazitost zaježitvene krivulje. Z dvigom višine zaježitve se nazivna moč HE Jevnica poveča, in sicer na natanko 30 MW, nazivna moč HE Šentjakob pa v primerjavi s prejšnjimi sklopi modifikacij še vedno znaša 17,9 MW. V skupnem seštevku je nazivna moč modificirane variante 3.0 že v osnovi le za 7,4 MW manjša od izhodiščne

Kljub zmanjšani količini zemeljskih del, ki so predvidena z modificirano različico 3.1, načrtovana ureditev močno poseže na zavarovano območje sotočja treh rek, še posebej pa prizadene levi breg Ljubljanice. Kot je razvidno s slike 38, so nasipi potrebni že praktično po celotnem območju sotočja, vzdolž levega brega Ljubljanice pa potekajo vse do prvih stanovanjskih objektov v Zalogu. Na srečo gre za razmeroma nizke objekte, ki se lahko po vnovični razrasti vegetacije dobro vklopijo v okolje in ne dajejo več vtisa tehnične zgradbe. Nasipi večje težave povzročajo pri odvajanju ene izmed zaloških studenčnic, ki bo pri dvigu nivoja vodne gladine reke Save ponovno zaživela. Studenčnico je zato potrebno s pomočjo sifona speljati v zbiralni jarek ob nasipih na desnem bregu Ljubljanice. Pri modificirani različici 3.1 je nekoliko močnejši tudi vpliv na Kamniško Bistrico, saj je tu vzdolž obeh bregov potrebno približno štiristometrsko podaljšanje nasipov. Poleg tega je za zagotavljanje ustreznih odtočnih pogojev še vedno potrebna odstranitev prodišč. Z okoljskega vidika je ta zasnova kljub vsemu mnogo boljša od izhodiščne, saj v večji meri ohranja sedanjo podobo sotočja.



Slika 38: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 3.0

4.4.2 Modificirana različica 3.1

Modifikacije različice 3.1 sem se lotil na osnovi rezultatov iz variante 3.0. V prvem koraku sem predvidel poglobitev dna struge v profilu P-33 na višino 255 m ter njeno razširitev v skladu s potrebami HE Šentjakob. Podobne prilagoditve sem izvedel še za profil P-49, le da

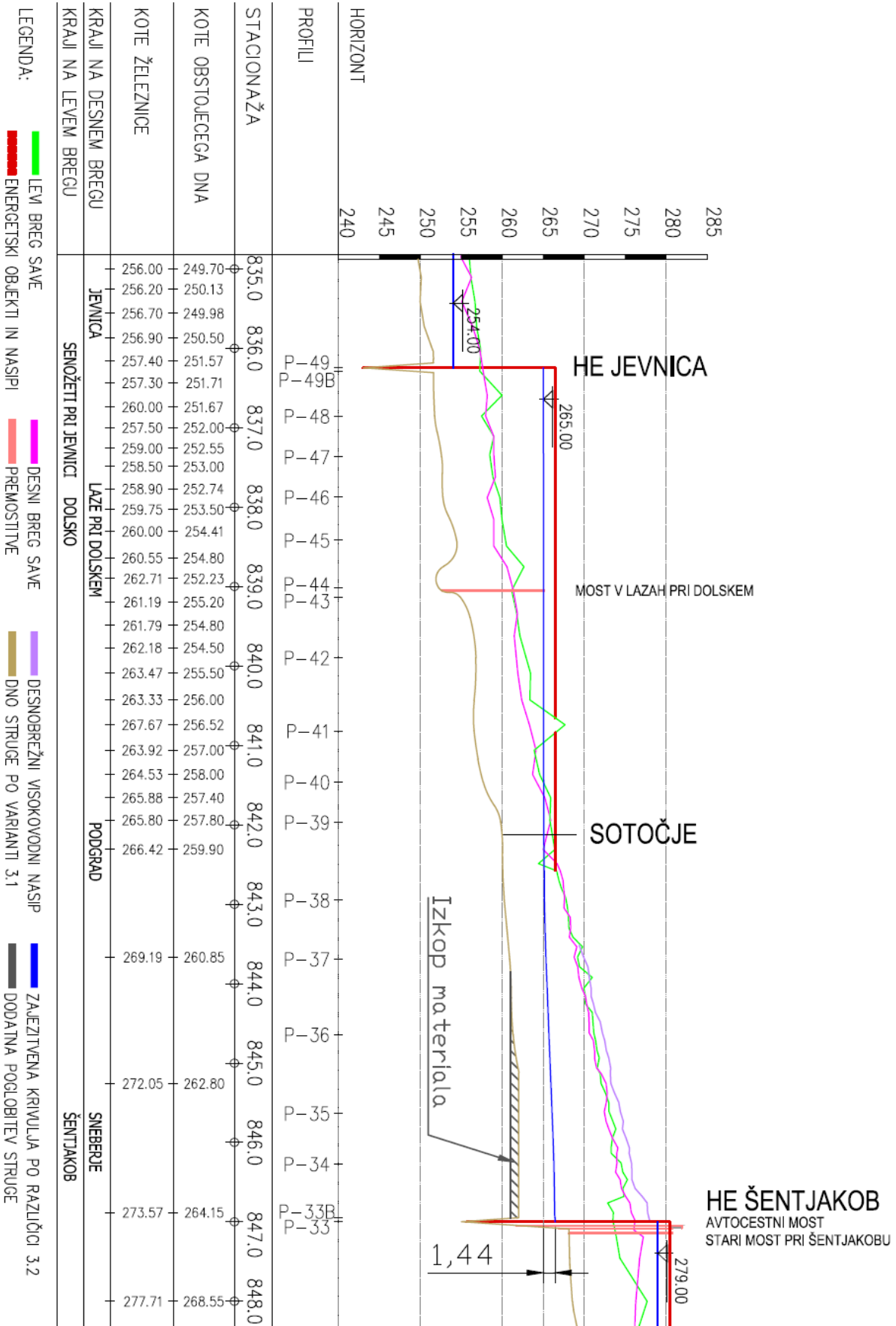
se je tam dno nahajalo na višini 243 m. Temu je sledilo vrivanje profilov P-33B in P-49B po vzoru prejšnjih variant, nato pa sem v hidravlični model vnesel še poglobitev struge na vmesnem odseku med Šentjakobom in Zalogom. Odločil sem se za izkop materiala na območju med prerezoma P-33B in P-35 na koto 262 m. Poleg tega sem upošteval še izkope zaradi specifične oblike struge na že večkrat omenjenih lokacijah, dolvodno od sotočja Kamniške Bistrice in Ljubljanice s Savo. Skupno količino materiala, ki bi ga bilo za izvedbo te variante potrebno izkopati, sem ocenil na 997361 m³. S to modificirano zasnovo se izognemo tudi vsem dodatnim delom na območju naravnih vrednot, zato je okoljsko enako sprejemljiva kot njena predhodnica.

Z izvedbo takšnega ukrepa gladina vode pri instaliranem pretoku tik pod HE Šentjakob upade na koto 266,80 m, z energetskega stališča pa je izgubljenega le še 1,80 m vodnega padca. To pomeni, da znaša nazivna moč HE Šentjakob v tem primeru 26,9 MW. Če k temu dodamo še 30 MW, ki jih prispeva modificirana HE Jevnica, je skupna moč verige na obravnavanem odseku 56,9 MW, kar je 1,6 MW več kot znaša predvidena nazivna moč v primeru izhodiščne zasnove treh hidroelektrarn. Za približno enak obseg zemeljskih del, ki so predvidena v modificirani različici 2.1, dobimo z zasnovo 3.1 slaba 2 MW večjo moč verige.

4.4.3 Modificirana različica 3.2

Le 2 MW dodatno pridobljene moči ne upraviči izvedbe tako obširnih posegov v območje sotočja Save z Ljubljano in Kamniško Bistrico. Če se že gre v izvedbo HE Jevnica z zajetivijo na koti 265 m.n.v., je potrebna veliko večja energetska korist, za njeno doseganje pa so potrebne dodatne poglobitve struge na odseku pod HE Šentjakob. Na osnovi rezultatov iz variante 3.1 sem zato v naslednji različici zasnoval še nekaj dodatnih ukrepov, ki bi znatneje pripomogli k boljšim energetskim rezultatom obravnavanih hidroelektrarn. Dno struge na odseku med HE Šentjakob in prerezom P-36, ki se nahaja približno na polovici trase Save do sotočja, sem v tem iteracijskem koraku prestavil na koto 261 m, kar zahteva približno 115000 m³ dodatnega izkopa, kar skupaj zneso okrog 1130000 m³ materiala. Za nasipe je potrebnega le okoli 20000 m³ več materiala, zato je ta različica izvedbeno izjemno ugodna, saj je masna bilanca praktično povsem izravnana. Razlika med količino izkopnih in nasipnih materialov znaša le okrog 16500 m³.

V primerjavi z različico 3.1 pridobimo 36 cm vodnega padca na HE Šentjakob, kar pomeni dodatnega 0,8 MW nazivne moči na omenjeni elektrarni. Na ta način lahko z le dvema hidroelektrarnama zagotovimo kar 2,4 MW večjo nazivno moč kot je bilo predvideno z izhodiščno varianto verige.

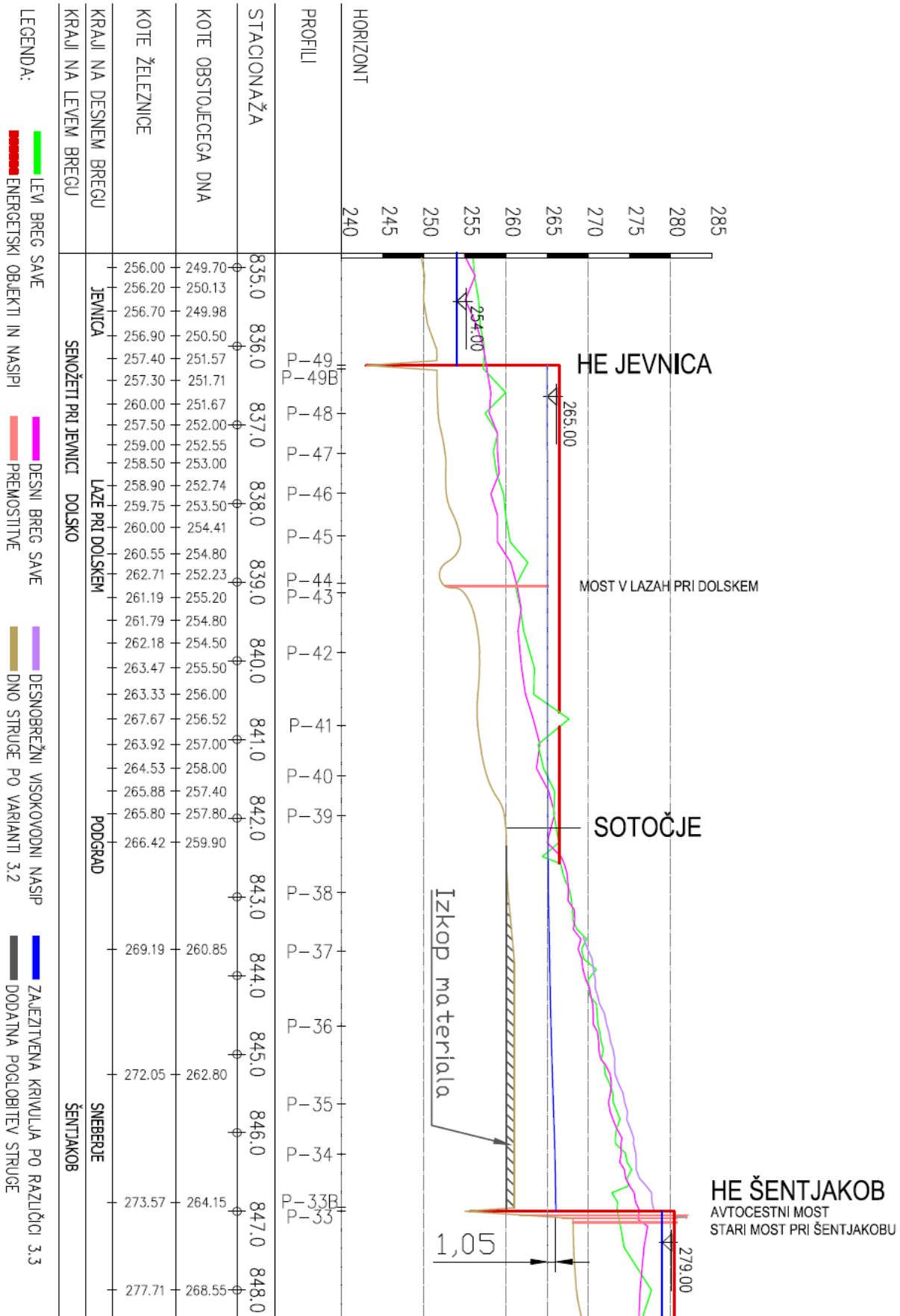


Slika 40: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 3.2

4.4.4 Modificirana različica 3.3

Zadnja varianta modifikacije iz tretjega sklopa predvideva dodatno poglobitev dna struge na odseku od HE Šentjakob do začetka zavarovanega območja sotočja treh rek oziroma od profila P-33B do profila P-38 na koto 260 m.n.v. V tem primeru je potrebna odstranitev okrog 1330000 m³ materiala. S tem dobimo približno 180000 m³ presežnega materiala, za katerega je potrebno zagotoviti ustrezno deponijo, ali pa izvesti del nasipov v nekoliko blažjem naklonu.

Kota gladine vode tik ob HE Šentjakob pri instaliranem pretoku znaša 266,05 m. To pomeni, da je zaradi efekta zaježitvene krivulje za energetske namene izgubljenega samo še 1,05 m vodnega padca, kar je glede na velikost jevniške akumulacije že povsem sprejemljivo tudi iz energetskega stališča. Nova moč HE Šentjakob po modificirani zasnovi 3.3 znaša 28,6 MW, skupna moč obeh hidroelektrarn na obravnavanem odseku pa znaša 58,6 MW, kar je 3,3 MW več kot je predvideno v izhodiščni varianti s tremi hidroelektrarnami.



Slika 41: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 3.3

4.5 Modificirane zasnove verige z gladino zgornje vode HE Jevnica na koti 266 m.n.v.

Pri zadnjem sklopu modifikacij sem v profilu P-49 kot robni pogoj določil gladino vode na koti 266 m. Po dosedanjih študijah predstavlja ta višina maksimalno koto zaježitve pri HE Jevnica, ki je še realno izvedljiva. Vsako nadaljnje višanje zaježitvene višine bi imelo prevelik vpliv tako na obsavsko krajino kot na hidravlične razmere na Ljubljani in Kamniški Bistrici. Z maksimalnim dvigom kote zgornje vode na HE Jevnica je sicer možno proizvesti največjo količino električne energije, vendar je potrebno upoštevati in primerno ovrednotiti tudi okoljski vpliv ter povečan obseg gradnje, ki ga taka zasnova prinaša.

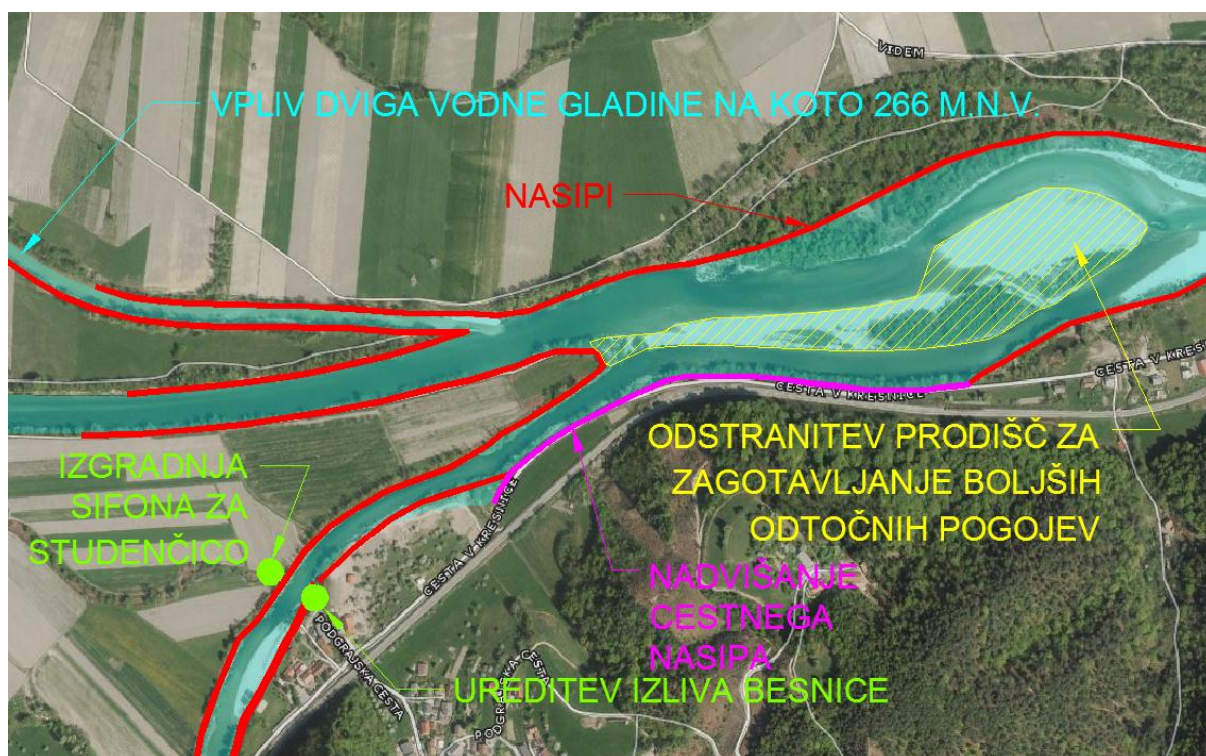
4.5.1 Modificirana različica 4.0

Tudi pri tem sklopu modifikacij sem najprej preveril, kakšno je stanje pri naravnem stanju struge. Najprej sem v geometrijo hidravličnega modela na odseku med sotočjem treh rek in pregradnim objektom v Jevnici oziroma med prerezoma P-39 in P-49 vnesel oba nasipa. Krono nasipov sem predpostavil na koti 267,5 m.n.v. Zaradi neujemanja nekaterih podatkov s temeljnega topografskega načrta in merjenih prečnih prerezov sem upošteval varianto, ki zahteva daljšo traso nasipov in s tem večje količine materiala. Za izgradnjo le-teh je potrebnega približno 1473000 m³ materiala.

Gladina vode pri HE Šentjakob se po tej zasnovi nahaja na koti 270,92 m.n.v., kar pomeni, da je z energetskega stališča zaradi učinka zaježitvene krivulje že v osnovi izgubljenega le 4,92 m razpoložljivega vodnega padca (slika 43). Na ta način bi torej lahko že samo z izvedbo nasipov dobili različico verige, ki bi bila po proizvodnji električne energije dokaj konkurenčna izhodiščni varianti treh hidroelektrarn. Nazivna moč HE Jevnica po modificirani varianti 4.0 namreč znaša 33,4 MW, moč nove verzije HE Šentjakob pa 17,8 MW. V skupnem seštevku sta modificirani hidroelektrarni iz različice 4.0 že v začetni fazi le za 4,1 MW šibkejši od treh hidroelektrarn, ki so trenutno predvidene na tem odseku s študijo UL FGG in podjetja Geateh.

Ker je četrti sklop modifikacij z okoljskega vidika manj sprejemljiv od predhodnih variant, je potrebno z nadaljnjimi spremembami zgoraj opisane zasnove poiskati rešitev, ki po energetski, ekonomski ali gradbeni plati prinaša občutne prednosti pred že obdelanimi različicami. V nasprotnem primeru variante z zaježitvijo HE Jevnica na koti 266 m.n.v. ne bi bile zanimive za izvedbo.

Velik okoljski vpliv je predvsem posledica ekstremnega dviga nivoja zaježitve pri HE Jevnica in s tem povezane izgradnje nasipov. Zaradi višje kote njihove krone je potrebna širša rezervacija prostora za njihovo izgradnjo. Poleg tega sega njihova trasa višje gorvodno kot v prejšnjih sklopih modifikacij. Z različico 4.0 so razmeroma močno prizadete naravne vrednote na odseku reke Save med Šentjakobom in Jevnico. Nova ureditev ima na iztočni del Gradolskega potoka in Gostince sicer podoben učinek kot prejšnje modifikacije, stanje pa je precej poslabšano na reki Ljubljanici in na sotočju treh rek. Kot je razvidno iz slike 42, je potrebno znatno podaljšanje nasipov vzdolž Kamniške Bistrice, Ljubljanice in Save. Dvig zaježitvene višine pri HE Jevnica na koto 266 m.n.v. namreč močno vpliva ne le na reko Savo, temveč tudi na oba njena večja pritoka z obravnavanega območja. Problematična je predvsem Ljubljanica, saj je tu po podatkih s temeljnih topografskih načrtov potrebno podaljšanje nasipov vse do prvih stanovanjskih objektov tik ob reki, na desnem bregu pa celo do cestnega mostu v Zalogu. Poleg tega je zaradi zagotavljanja normalnih odtočnih razmer treba odstraniti manjši otoček med Zalogom in Podgradom, s čimer se uniči manjša mrtvica, ki jo ribiči uporabljajo za gojenje rib. Vzdolž Kamniške Bistrice je potrebno približno petstometrsko podaljšanje nasipov, še najmanj posegov pa je potrebnih ob savski strugi. Kljub velikim gradbenim posegom, ki so z modificirano različico 4.0 predvideni na sotočju, je to območje še vedno manj prizadeto, kot bi bilo z izgradnjo HE Zalog. Nasipi so namreč predvideni v razmeroma blagih naklonih, zato bi se po vnovični vzpostavitvi vegetacijskega pokrova dobro vklopili v okolico. Na ta način bi bila ohranjena današnja kontura sotočja.



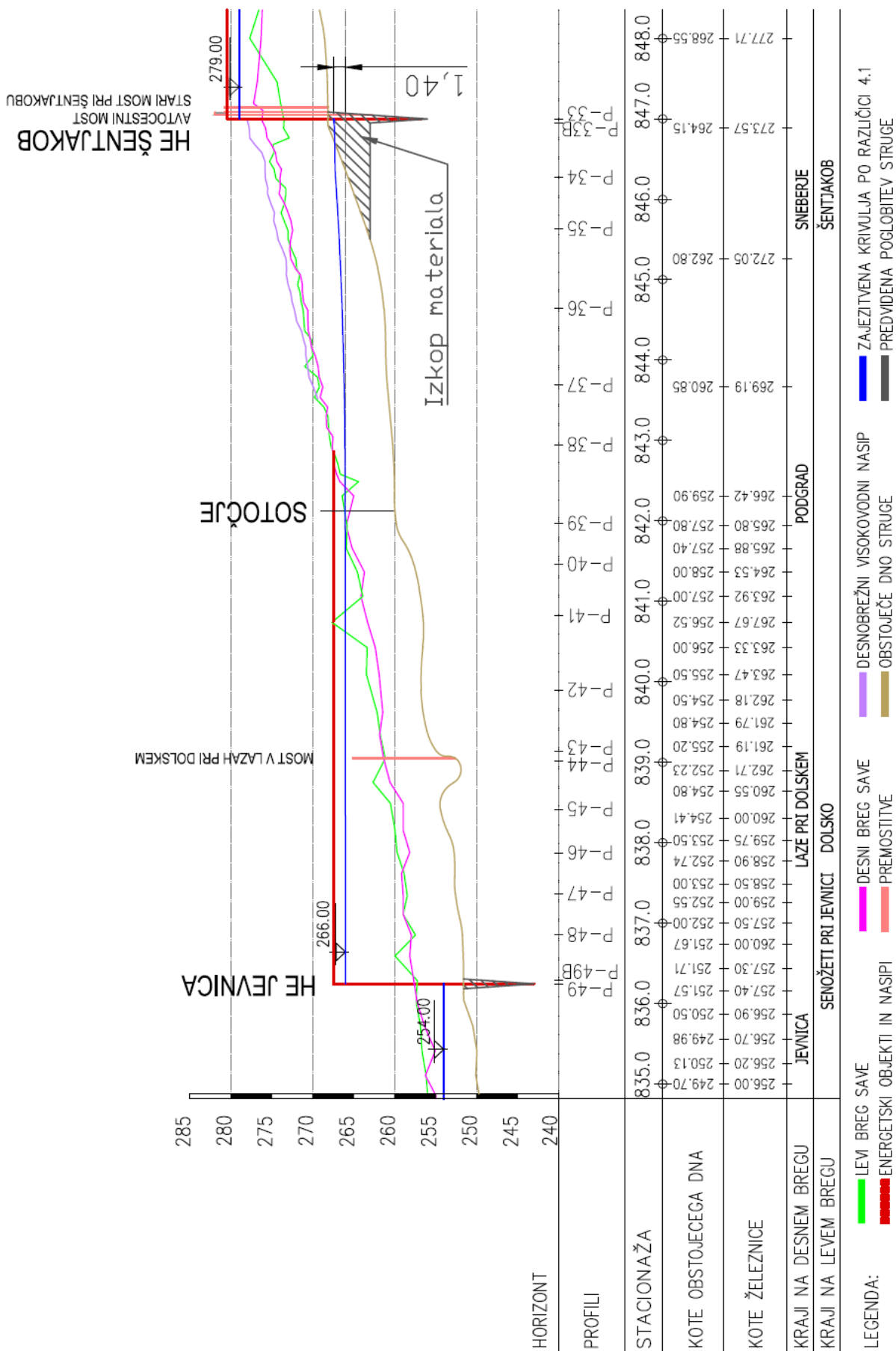
Slika 42: Prikaz ureditve akumulacije HE Jevnica na sotočju treh rek po modificirani zasnovi 4.0

4.5.2 Modificirana različica 4.1

V modificirani različici 4.1 sem poskušal nadgraditi razmeroma dobre energetske rezultate iz variante 4.0, da bi s tem nadomestil škodljiv okoljski vpliv na obsavski prostor, ki ga tako visoka zajezev pri HE Jevnica prinaša. V hidravličnem modelu sem prečna prereza P-33 in P-49 prilagodil potrebam HE Šentjakob oziroma HE Jevnica. Dno struge v prerezu P-33 sem nastavil na koto 256 m, strugo pa iz prvotnih 47,62 m razširil na 87,07 m. Tudi v prerezu P-49 je bila potrebna poglobitev dna, in sicer na koto 243 m. Zaradi boljše simulacije naravnih razmer ter večje natančnosti pri računu količin izkopnega materiala sem v geometrijo, podobno kot pri preostalih sklopih modifikacij, tudi tu vrnil prereza P-33B in P-49B.

Na koncu sem želel še dodatno omiliti učinek zajezevne krivulje na ožjem območju dolvodno od HE Šentjakob, zato sem v modificirani različici 4.1 na odseku med prerezoma P-33B in P-35 spustil koto dna na 263 m. Poleg tega sem za odstranitev predvidel še nekatere izbokline nižje dolvodno, ki bi utegnile motiti normalen odtok vode. Skupni volumen materiala, predvidenega za izkop, sem ocenil na približno 864000 m³, kar pokrije približno 60 % potreb po nasipnih materialih.

Zaradi naštetih ukrepov upade gladina vode v profilu P-33 na koto 267,40 m, kar je razvidno iz priloge B. Na ta način je na odseku med Šentjakobom in Jevnico z energetskega vidika izgubljenega le 1,40 m od 25 m razpoložljivega vodnega padca. Nova nazivna moč HE Šentjakob tako znaša 25,6 MW, skupna moč elektrarn na obravnavanem odseku po različici 4.1 pa natanko 59 MW, kar je 3,7 MW več kot pri izhodiščni varianti verige s tremi elektrarnami.

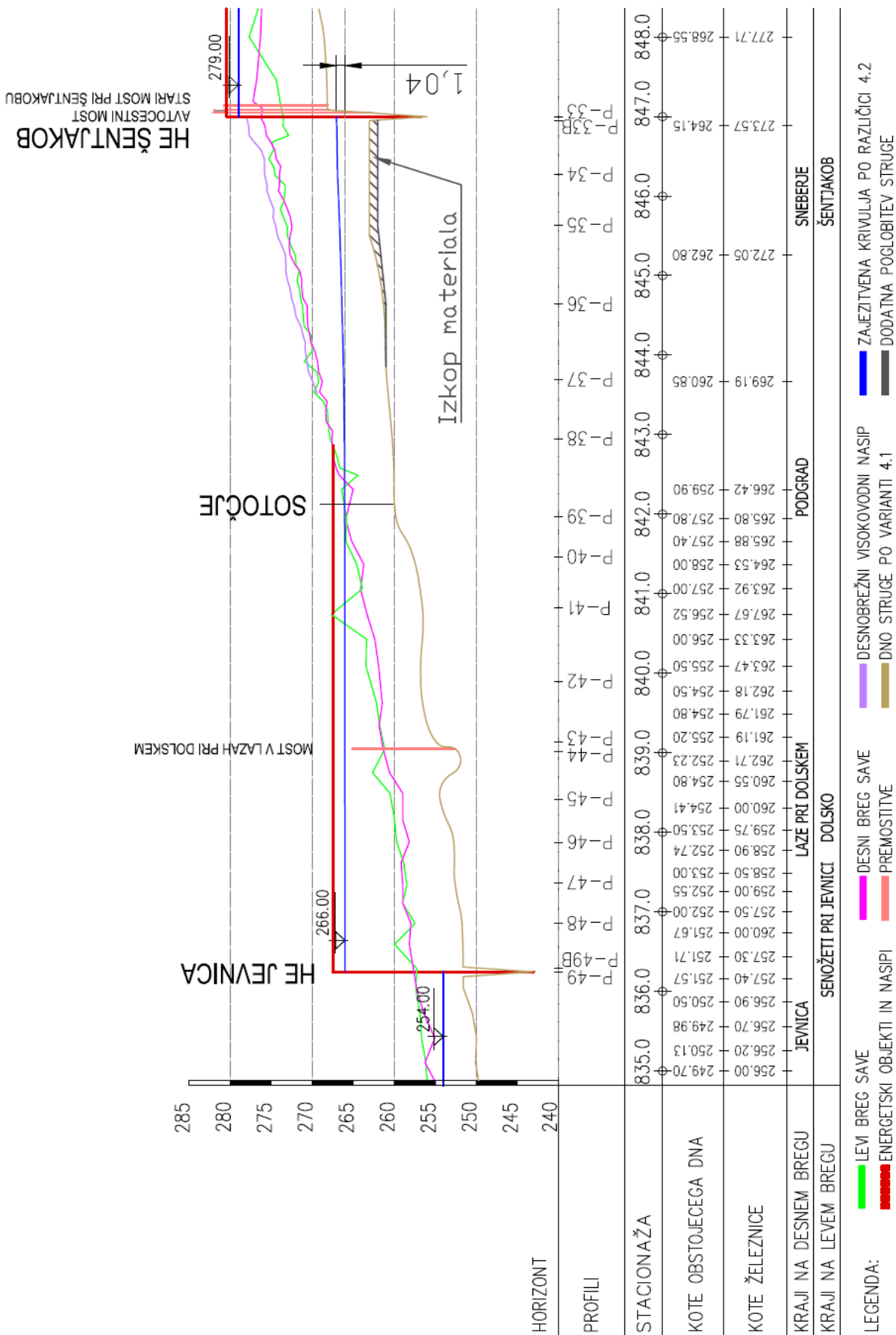


Slika 44: Prikaz zajezitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.1

4.5.3 Modificirana različica 4.2

Ker je bila razlika med količinami izkopnega in nasipnega materiala z varianto 4.1 še vedno velika (okrog 441000 m³ primanjkljaja nasipnih materialov), poleg tega pa je bil v primerjavi z ostalimi hidroelektrarnami na srednji Savi dvig spodnje vode pri HE Šentjakob še vedno razmeroma visok, sem se pri različici 4.2 odločil za dodatno poglobitev dna struge. Na odseku tik pod omenjeno elektrarno (med prerezoma P-33B in P-35) sem novo koto dna predvidel na višini 262 m, v prerezu P-36 pa na 261 m. To pomeni slabih 170000 m³ več izkopnega materiala kot pri modificirani različici 4.1. Z izvedbo dodatne poglobitve pride do znatnega izboljšanja izravnave masnih bilanc. Zaradi opisanega posega nivo vode v profilu P-33 upade na koto 267,04 m. Poglobljanje struge poteka izključno nad sotočjem treh rek tako, da različica 4.2 na omenjeno območje ne prinaša dodatnih škodljivih vplivov.

Nova nazivna moč HE Šentjakob znaša 26,4 MW, skupna moč modificirane različice verige pa znaša 59,8 MW, kar je 4,5 MW več od izhodiščne variante verige s tremi hidroelektrarnami. Z drugimi besedami to pomeni, da z modificirano različico 4.2 ne le da v popolnosti pokrijemo izpad HE Zalog, pač pa lahko na račun poglobitve savske struge na območju Šentjakoba dodatno proizvedemo še približno tretjino nazivne moči zaloške hidroelektrarne.

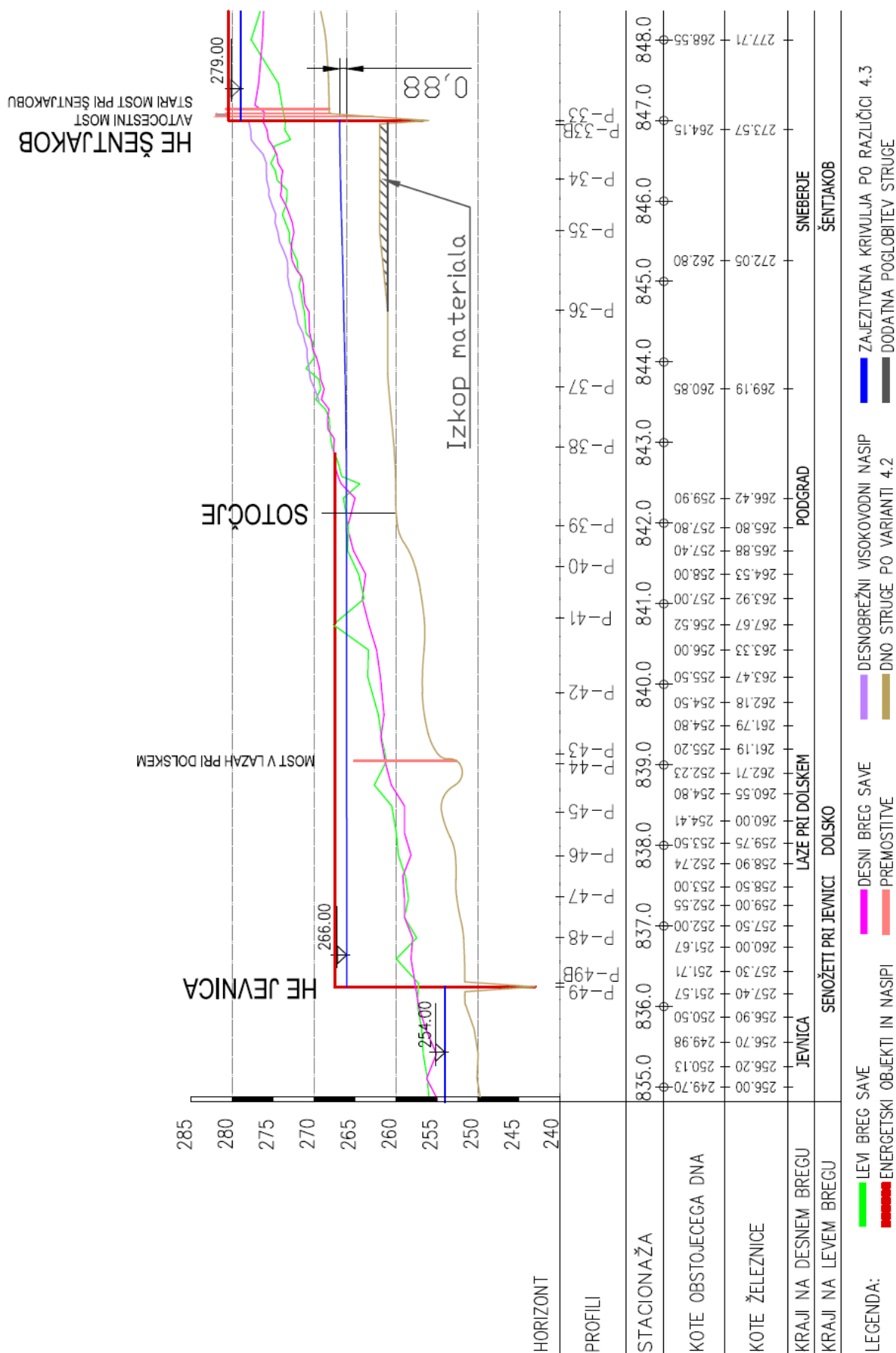


Slika 45: Prikaz zajezitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.2

4.5.4 Modificirana različica 4.3

V poglobljanju struge in posledičnem povečevanju nazivne moči HE Šentjakob sem šel v različici 4.3 še dlje, saj količine izkopnih in nasipnih materialov v predhodni verziji še vedno niso bile dovolj izravnane. Poleg tega se lahko z nadaljnjo poglobitvijo struge dodatno zmanjša učinek zaježitvene krivulje v jevniškem akumulacijskem bazenu. Pri tej varianti sem dno struge na območju pod HE Šentjakob (med prerezoma P-33B in P-36) spustil na koto 261m. Na ta način bi bilo skupaj potrebno izkopati približno 1112000 m³ materiala, razlika v masni bilanci pa bi tako znašala le še okrog 355000 m³. Razmere na območjih naravnih vrednot bi v primeru izvedbe te variante ostale enake kot pri različici 4.0.

Gladina spodnje vode pri HE Šentjakob po različici 4.3 pade na koto 266,88 m, kar pomeni, da znaša višina energetsko izgubljenega padca le še 0,88 m, kar je že povsem primerljivo z zaježitvami pri preostalih načrtovanih objektih na srednjesavski verigi. Nova nazivna moč HE Šentjakob po varianti 4.3 znaša 26,7 MW, nazivna moč verige pa je za 4,8 MW večja kot v primeru izhodiščne zasnove s tremi hidroelektrarnami.

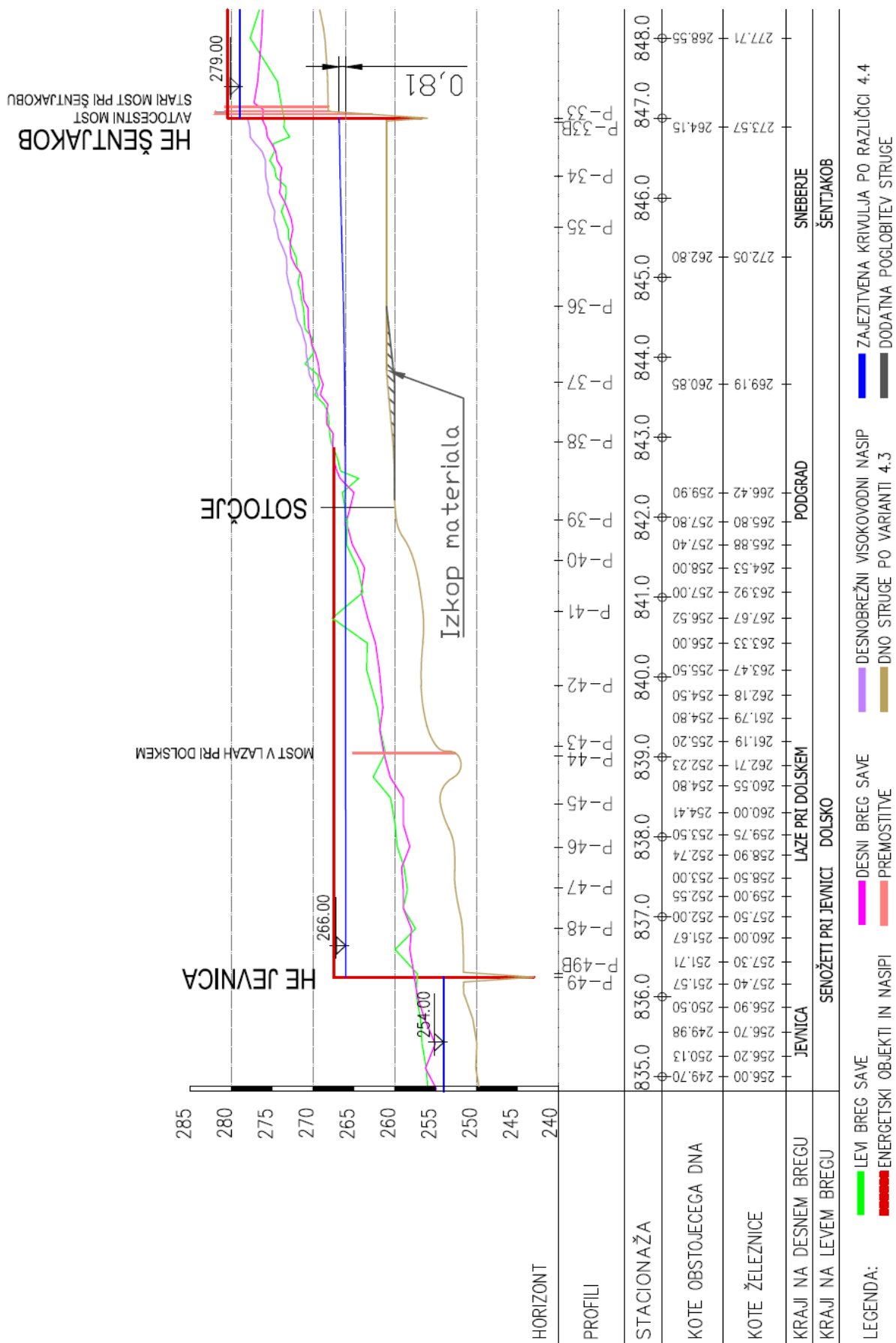


Slika 46: Prikaz zaježitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.3

4.5.5 Modificirana različica 4.4

Zaradi slabe izravnave masnih bilanc sem v varianti 4.4 nadaljeval s poglobljanjem struge. Na odseku med prerezoma P-33 in P-36 sem koto dna spustil na 261 m.n.v., na profilih P-37 in P-38 pa na koto 260 m.n.v. S tem ukrepom je potrebno izkopati dodatnih 100000 m³ materiala, gladina vode pod HE Šentjakob pa upade le za dodatnih 7 cm.

Bolj kot z energetskega je ta ukrep zanimiv z izvedbenega vidika, saj v večji meri pripomore k izenačitvi masnih bilanc kot pa k povečanju nazivne moči HE Šentjakob. Primanjkljaj nasipnih materialov se namreč v primerjavi s predhodno različico zmanjša za okrog 30 odstotkov, medtem ko je povečanje moči šentjakobske elektrarne le enoodstotno.



Slika 47: Prikaz zajezitvene krivulje v primeru ureditve odseka po modificirani zasnovi 4.4

4.5.6 Modificirana različica 4.5

V zadnji modificirani različici, ki sem jo obravnaval, sem zaradi razlik v masni bilanci nivo izkopa materiala predpostavil še nekoliko globlje. Na odseku med Šentjakobom in začetkom sotočja treh rek oziroma med profiloma P-33B in P-38 sem namreč koto dna predvidel na višini 260 m. To pomeni, da je potrebno odstraniti okrog 1315000 m³ materiala. Ta količina sicer še vedno ne pokrije vseh potreb po nasipnih materialih, vendar nadaljnje poglobljanje struge dna nima več pravega smisla, saj nivo vode ob HE Šentjakob ne more več bistveno upasti, posledično pa ne more priti do izrazitega povečanja nazivne moči na omenjeni elektrarni. Višina zajezitvene krivulje tik pod HE Šentjakob znaša po zasnovi 4.5 le še 0,64 m. Poglobitev savske struge je omejena na območje nad sotočjem treh rek, zato je vpliv na naravne vrednote obravnavanega prostora enak kot pri modificirani različici 4.0.

Nova nazivna moč HE Šentjakob po različici 4.5 znaša 27,3 MW. To pomeni, da maksimalna realno izvedljiva nazivna moč obravnavanega odseka verige znaša okrog 60,7 MW, kar je 5,4 MW več, kot je bilo predvideno z izhodiščno zasnovo hidroelektrarn Šentjakob, Zalog in Jevnica.

5.0 IZBOR IN DETAJLNA OBDELAVA OPTIMALNE MODIFICIRANE RAZLIČICE

Izgradnja verige hidroelektrarn na srednji Savi predstavlja obsežen projekt, ki ima velik vpliv na naravne in družbene danosti obsavskega območja, zato je pri njegovi izvedbi praktično neizogiben pojav nasprotujočih si interesov v prostoru. Nekatera neskladja se lahko odpravi s pravočasnim snovanjem ustreznih tehničnih rešitev, medtem ko so drugi konflikti medsebojno izključujoči, tako da ni možno najti takšne rešitve, ki bi ustrezala vsem sprtim stranem. Tak primer je med drugim tudi energetske in okoljevarstveni pogled na projekt izgradnje verige hidroelektrarn na srednji Savi. Z energetskega vidika na primer prevladuje želja, da bi se razpoložljiv padec reke v čim večji meri izkoristil za proizvodnjo električne energije. Nasprotno si okoljevarstveniki prizadevajo za čim večjo ohranitev nedotaknjenosti naravnega okolja vzdolž rečnega koridorja ter ohranitev avtohtone flore in favne. Rešitve, ki bi v popolnosti zadovoljila obe strani, ni, zato je navadno potrebno iskati kompromisne predloge, ki bi bili sprejemljivi enim in drugim.

Tudi na problem izbire najugodnejše izmed enaindvajsetih predstavljenih modificiranih različic verige hidroelektrarn na odseku med Šentjakobom in Jevnico lahko gledamo z več zornih kotov. Z okoljevarstvenega stališča bi bila najoptimalnejša varianta verige tista, ki v najmanjšem možnem obsegu predvideva posege v življenjski prostor tamkajšnjega rastlinstva in živalstva. Pomembno vlogo z naravovarstvenega vidika odigra tudi poseganje nove ureditve reke v zaščitena območja naravnih vrednot. Kot je prikazano v poglavju 4, se z nobeno od modificiranih zasnov verige ne moremo v celoti izogniti vplivom hidroelektrarn na zaščitena območja, kljub vsemu pa modificirane različice, še posebej tiste iz prvega in drugega sklopa, z okoljskega vidika predstavljajo mnogo boljšo alternativo izhodiščni zasnovi s tremi elektrarnami. Zaradi opustitve HE Zalog se namreč modificirane zasnove izkažejo predvsem na sotočju Save s Kamniško Bistrico in Ljubljano, saj v nasprotju z izhodiščno varianto ne zahtevajo ekstremnih širitev savske struge in ureditve podslapja, pač pa le izvedbo razmeroma nizkih nasipov, rahlo poglobitev struge in utrditev brežin. Na ta način se lahko v večji meri ohranita današnje prostorsko razmerje in naravna struktura tega območja.

Tudi območje nad sotočjem treh rek z modificiranimi različicami verige v večji meri ohranja svoj današnji značaj. Z opustitvijo HE Zalog tu namreč ni več potrebe po razmeroma visokih energetskih nasipih, prav tako pa nižja kota vodne gladine na tem območju v manjši meri spremeni tokovno sliko podtalnice Ljubljanskega polja. Vplivi modificiranih različic na Gradolski potok in Gostinco so praktično enaki kot pri izhodiščni varianti, saj tudi tu energetski nasipi v sklopu ureditve jevnjske akumulacije onemogočajo izliv omenjenih potokov v Savo.

Po modificiranih različicah pride v primerjavi z izhodiščno zasnovo do izrazitega poslabšanja stanja le na izlivnem delu reke Ljubljanice. Stopnja njene prizadetosti je odvisna od izbrane zaježitvene višine na HE Jevnica. Dvig vode v akumulacijskem bazenu omenjene elektrarne na koto 263 m.n.v. na reki Ljubljanici zahteva podobne ukrepe kot so predvideni v študiji UL FGG in podjetja Geateh, vsak dodaten dvig zaježitvene višine pa za seboj potegne še vrsto dodatnih ureditvenih ukrepov. V primeru zvišanja zgornje vode HE Jevnica na ekstremno koto 266 m.n.v. bi tako bili vzdolž Ljubljanice potrebni nasipi vse do prvih urbaniziranih površin v Zalogu. Z okoljevarstvenega stališča se torej med najsprejemljivejše zasnove uvrščajo modificirane različice 1.1, 2.1 in 3.1, saj zahtevajo razmeroma majhen poseg v prostor in v največji meri ohranjajo izgled naravnih vrednot tega območja.

Nasprotno je s stališča energetike najboljša tista rešitev, s katero lahko pri danih naravnih pogojih proizvedemo kar največ električne energije. Z izhodiščno varianto predvidena HE Zalog s 13,7 MW predstavlja najšibkejšo elektrarno srednjesavske verige. V poglavju 4 je prikazano, da je kljub opustitvi omenjene elektrarne na odseku med Šentjakobom in Jevnico z le dvema objektoma (HE Šentjakob in HE Jevnica) možno proizvesti enako oziroma celo nekoliko večjo količino električne energije. S pomočjo poglobitve struge na odseku med avtocestnim mostom in sotočjem treh rek sem namreč uspel doseči energetsko ugoden nivo spodnje vode pri HE Šentjakob, kar je privedlo do večjega razpoložljivega vodnega padca na tej elektrarni. Poleg tega se z opustitvijo HE Zalog izognemo dodatnim točkovnim izgubam pri toku vode skozi turbinski trakt ter podvajanju izgub pri pretvorbi mehanske energije v električno. Posebnost obravnavanega območja, ki je zanimiva tudi po energetski plati, predstavlja sotočje Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice. Predstavlja namreč ločnico, kjer pride do velike spremembe v pretoku reke Save. Dolvodno od sotočja imajo hidroelektrarne na razpolago večji instaliran pretok, ki namesto 260 m³/s znaša 400 m³/s. Z energetskega vidika je zato ugodneje zagotoviti čim višjo koto zgornje vode na HE Jevnica, saj večji vodni padec na elektrarni z večjim instaliranim pretokom pomeni več proizvedene energije. S tega stališča je od predstavljenih različic najzanimivejši zadnji sklop modifikacij, ki predvideva gladino vode v jevniškem akumulacijskem bazenu na koti 266 m.n.v.

Veliko vlogo pri izbiri optimalne modificirane različice odigra tudi tehnološko-izvedbeni vidik, ki se tesno prepleta z ekonomskim področjem. Gradnja zaloške hidroelektrarne je tehnično in tehnološko zelo zahtevna predvsem zaradi neugodnih terenskih razmer ter obsežnih tesnilnih del. Omenjena elektrarna sodi med najdražje objekte v verigi z izjemno slabimi ekonomskimi kazalci (najmanjša interna stopnja donosnosti in neto sedanja vrednost, najdaljša povračilna doba investicije), kar postavlja pod vprašaj smiselnost take gradnje. Z opustitvijo tega objekta se lahko izognemo zahtevnim in dragim gradbenim posegom ter

zmanjšamo okoljski vpliv ureditve na območju Zaloga, privarčevana denarna sredstva pa lahko koristneje uporabimo za modifikacijo HE Šentjakob in HE Jevnica, s katerima je na obravnavanem odseku možno celo izboljšati energetske rezultate iz izhodiščne variante s tremi hidroelektrarnami. Gradbena dela, vezana na ureditev jevniškega akumulacijskega bazena, so tehnološko manj zahtevna in posledično tudi občutno cenejša. Še največjo težavo povzroča izgradnja relativno dolgih nasipov ob bregovih Save, za katere je potrebno zagotoviti velike količine primerne nasipnega materiala. Z izvedbenega vidika predstavlja najugodnejšo možnost vgradnja proda iz savske struge. Gre namreč za material z ustreznimi geotehničnimi lastnostmi. S poglobljanjem struge, ki je v modificiranih različicah predvideno na območju med Šentjakobom in sotočjem treh rek, bodo pridobljene velike količine izkopnega materiala, ki bi se ga, namesto dragega deponiranja, lahko koristno porabilo za vgradnjo v nasipe, kar bi dodatno pocenilo izvedbo. Z izvedbenega stališča so torej najzanimivejše tiste različice iz poglavja 4, pri katerih je obseg zemeljskih del najmanjši, oziroma tiste variante, kjer je bilanca izkopnih in nasipnih materialov najbolj izravnana. Med izvedbeno najugodnejše torej sodijo variante iz tretjega sklopa modifikacij ter različice 2.1, 2.2 in 4.1.

Različica št.	Ocena količine izkopov [l]	Ocena količine nasipov [m ³]	Razlika med količino izkopov in nasipov [m ³]	Skupna količina zemeljskih del [m ³]	Moč HE Jevnica [MW]	Moč HE Šentjakob [MW]	Skupna moč modificirane verige [MW]	Moč glede na izhodiščno varianto [MW]	Razmerje količina zemeljskih del/presežek moči verige [m ³ /MW]
1.0	0	706406	-706406	706406	23.3	17.9	41.2	-14.1	/
1.1	1717219	706406	1010813	2423625	23.3	28.9	52.2	-3.1	/
1.2	1810194	706406	1103788	2516600	23.3	30.1	53.4	-1.9	/
1.3	1839305	706406	1132899	2545711	23.3	30.3	53.6	-1.7	/
1.4	1926463	706406	1220057	2632869	23.3	31.1	54.4	-0.9	/
1.5	2005739	706406	1299333	2712145	23.3	31.6	54.9	-0.4	/
1.6	2060968	706406	1354562	2767374	23.3	32	55.3	0	/
2.0	0	881982	-881982	881982	26.6	17.9	44.5	-10.8	/
2.1	1260800	881982	378818	2142782	26.6	28.6	55.2	-0.1	/
2.2	1357499	881982	475517	2239481	26.6	29.4	56	0.7	3199259
2.3	1789513	881982	907531	2671495	26.6	30.4	57	1.7	1571468
3.0	0	1148778	-1148778	1148778	30	17.9	47.9	-7.4	/
3.1	997361	1148778	-151417	2146139	30	26.9	56.9	1.6	1341337
3.2	1132217	1148778	-16561	2280995	30	27.7	57.7	2.4	950415
3.3	1329852	1148778	181074	2478630	30	28.6	58.6	3.3	751100
4.0	0	1472754	-1472754	1472754	33.4	17.8	51.2	-4.1	/
4.1	864069	1472754	-608685	2336823	33.4	25.6	59	3.7	631574
4.2	1032095	1472754	-440659	2504849	33.4	26.4	59.8	4.5	556633
4.3	1118087	1472754	-354667	2590841	33.4	26.7	60.1	4.8	539759
4.4	1219907	1472754	-252847	2692661	33.4	26.9	60.3	5	538532
4.5	1314947	1472754	-157807	2787701	33.4	27.3	60.7	5.4	516241

Preglednica 3: Primerjava glavnih karakteristik predstavljenih modificiranih različic verige

Ker naravnih vrednot na odseku med Šentjakobom in Jevnico v nobenem od obravnavanih primerov ni možno v celoti ohraniti nedotaknjenih, sem večjo težo pri izbiri optimalne različice pripisal energetskega ter izvedbeno-ekonomskemu vidiku. Na ta način bi z izboljšanjem

ekonomskih kazalcev investicije prihranjena sredstva lahko vložili v vzpostavitev in vzdrževanje nadomestnih habitatov ter v sonaravno ureditev čim širšega območja, s čimer bi omilili škodljiv vpliv hidroelektrarn na okolje. Svoj predlog optimalne zasnove verige na odseku med Šentjakobom in Jevnico sem zato izbral na podlagi razmerja med količino potrebnih zemeljskih del, povezanih z izvedbo nasipov oziroma izkopov, ter presežkom moči v primerjavi z izhodiščno varianto s tremi hidroelektrarnami. Iskal sem torej različico, kjer bi bilo za vsak dodaten MW energije potrebnih kar najmanj zemeljskih del, s tem pa bi padla tudi cena izvedbe celotnega sklopa ureditev. Ker sem želel odsek med Šentjakobom in Jevnico z energetskega vidika kar najbolje izkoristiti, sem že v začetku zavrgel vse opcije z manjšo nazivno močjo kot pri izhodiščni varianti treh hidroelektrarn. Tako je morala moč modificirane verige za nadaljnjo obravnavo nujno preseči 55,3 MW.

Zaradi večje preglednosti sem glavne karakteristike modificiranih različic, opisanih v poglavju 4, zbral v preglednici 3. Z nje je razvidno, da kljub razmeroma veliki količini zemeljskih del kot najugodnejša izpade modificirana različica 4.5. Vzrok za to je sorazmerno velik presežek nazivne moči glede na izhodiščno zasnovo, kar močno zniža razmerje v zadnjem stolpcu. To pomeni, da je za zagotovitev vsakega dodatnega MW moči pri tej verziji verige v relativnem smislu potrebnih najmanj zemeljskih del. Na ta način lahko z modifikacijo hidroelektrarn Šentjakob in Jevnica v celoti pokrijemo izpad v izhodiščni varianti planirane HE Zalog, za nameček pa s tem zagotovimo še dodatnih 5,4 MW moči. To predstavlja slabih 40 odstotkov nazivne moči zaloške stopnje, zasnovane na podlagi študije UL FGG in podjetja Geateh. Modificirana različica 4.5 je za nadaljnjo obravnavo zanimiva tudi zato, ker je z njo v absolutnem smislu predvidena največja količina zemeljskih del. To pomeni, da je omenjena različica v izvedbeno-tehničnem pogledu sicer najdražja, vendar visoke stroške opravičuje velik prirastek nazivne moči oziroma povečanje proizvodnje električne energije na HE Jevnica in HE Šentjakob. Če bi se omenjena zasnova izkazala za cenejšo od izhodiščne različice s tremi elektrarnami, bi bila energetska, izvedbeno in ekonomska najzanimivejša, v nasprotnem primeru pa bi bilo potrebno detajlno preučiti še nekatere izmed preostalih variant, ki predvidevajo manjši obseg zemeljskih del. Na ta način bi na račun manjše nazivne moči verige nekoliko zmanjšali izvedbene stroške.

V nadaljevanju sem za podrobno obdelavo izbral modificirano različico 4.5. Ta se z energetskega vidika izkaže za najboljšo rešitev, poleg tega pa sodi med najboljše tri verzije tudi po izravnavi masnih bilanc. Verzija 4.5 obenem predstavlja ekstremno različico z okoljskega, izvedbenega in ekonomskega vidika. Na območju izbrane ureditve sem poiskal vse glavne problematične točke ter podal svoj predlog tehničnih rešitev zanje. Izdelal sem tudi približno oceno stroškov nove ureditve. V kolikor bi se izkazalo, da je predlagana

zasnova okoljsko oziroma ekonomsko nesprejemljiva, predlagam, da se za izvedbo podrobneje preuči še modifikacije iz drugega in tretjega sklopa. Predvsem slednje so zelo zanimive, saj poleg razmeroma velikega prirastka nazivne moči nudijo tudi odlično izravnavo masnih bilanc, obenem pa predvidevajo manjšo zaježitveno višino ter manjši obseg zemeljskih del in so posledično sprejemljivejše tudi z okoljskega vidika.

5.1 Pregled potrebnih ureditvenih ukrepov na modificiranem odseku

Večino potrebnih ureditvenih ukrepov, ki so z modificirano zasnovo 4.5 predvideni na akumulacijskem bazenu HE Jevnica, lahko v grobem razdelimo na dve kategoriji, in sicer na izkopna in nasipna gradbena dela. Omenjena sklopa predstavljata količinsko najobsežnejšo in posledično tudi eno najdražjih postavk celotnih gradbenih del, povezanih z izvedbo jevniškega energetskega objekta. Zaradi postavitve nasipov vzdolž dobršnega dela obravnavanega območja je potrebno poiskati še ustrezne tehnične rešitve za ureditev izlivov nekaterih manjših pritokov v reko Savo ter poskrbeti za nemoteno odvajanje precednih voda iz nasipov v spodnjo vodo HE Jevnica. V ta namen je na zračni strani nasipov potrebno izdelati zbirne kanale, ki med drugim služijo tudi za omejitev zamočvirjenja okoliških območij.

Na problemski karti, ki je prikazana v prilogi C, je podan natančen pregled vseh potrebnih ureditvenih del na obravnavanem odseku. V prvem koraku je potrebno urediti odvajanje najbolj problematičnih pritokov reke Save. Dela se zato začnejo z izvedbo zbiralnih kanalov ob bodočih nasipih ter z ureditvijo priključkov Gradolskega potoka, Gostince in Lučne. Poseben primer predstavljajo še potok Mlinščica ter dve zaloški studenčnici. Omenjene vodotoke je namreč potrebno s pomočjo sifonske ureditve najprej speljati pod savsko strugo na desni breg ter jih priključiti na tamkajšnji zbirni kanal. Opisane kritične točke so na problemski karti označene z zeleno barvo.

Gradbena dela se nadaljujejo s poglobljanjem savske struge na območju med Šentjakobom in Zalogom. Območje poglobljanja je na prilogi C označeno z rumeno barvo. V ta sklop sodi tudi odstranitev otoka na Ljubljanici s preureditvijo tamkajšnje mrtvice, odstranitev prodišč na sotočju treh rek ter nekaj manjših korekcij oblike struge dolvodno od tod.

Na nižje ležečih področjih v bližini naselij Senožeti pri Jevnici, Dolsko in Laze pri Dolskem se hkrati s poglobljanjem struge prične tudi gradnja energetskih nasipov. Ti so potrebni na večjem delu obravnavanega območja, na problemski karti pa so prikazani z rdečo barvo. Nasipi niso potrebni le vzdolž Save, pač pa tudi vzdolž Kamniške Bistrice in Ljubljanice.

Vzdolž slednje so po modificirani različici 4.5 še posebej dolgi, saj po desnem bregu segajo vse do cestnega oziroma železniškega mostu v Zalogu. Posebno pozornost je nasipom potrebno posvetiti na sotočju treh rek, saj je z njihovo pomočjo treba ohraniti sedanjo konturo tega območja.

Ponekod se trasa lokalnih cest povsem približa savski strugi tako, da zaradi prostorske stiske ni možna ločena vzpostavitev nasipov. V takšnih primerih je za zagotavljanje zelene kote zaježitve potrebno nadvišati in utrditi obstoječe cestne nasipe. Takšna območja so na problemski karti prikazana z vijolično barvo. V času del na cestnih nasipih je predvideno tudi rušenje mostu preko Save v Lazah pri Dolskem. Premostitvena konstrukcija se namreč nahaja prenizko, zato bi po zasnovi iz modificirane različice 4.5 prišlo do prelivanja vode preko mostu oziroma do njegove potopitve. Rušenje omenjenega objekta je bilo predvideno tudi v izhodiščni zasnovi, saj se je tudi v tem primeru spodnji rob konstrukcije nahajal prenizko in ni zagotavljal zadostne varnostne višine. Spodnji rob novega mostu, ki bo zgrajen v sklopu projekta HE Jevnica, se mora nahajati na koti 267,5 m.n.v. ali višje.

Pri poglobljanju savske struge je pridobljen tudi material, ki ni dovolj kakovosten za vgradnjo v nasipe, kljub temu pa se ga lahko koristno porabi za nadvišanje nekaterih nižje ležečih območij. Najbolj kritičen je prostor ob sotočju, ki je ukleščen med reko Savo in Ljubljano. Z izvedbo nasipov bo tu namreč onemogočeno sedanje odtekanje vode, za nameček pa bi dvig vode v akumulaciji lahko povzročil zamočvirjenje ali celo preplavitev najnižjih območij za nasipi. Za preprečitev teh pojavov je nujen dvig kote terena ukleščenega območja vsaj na višino 266,5 m. Na ta način se prepreči morebiten prodor talne vode na površje, hkrati pa se izognemo tudi dragemu odlaganju manj kakovostnega izkopnega materiala na deponijah. Območja, kjer je predvideno nadvišanje terena, so na problemski karti označena z rjavo barvo.

5.2 Predlog tehničnih rešitev in tehnologije gradnje na območju jevniške akumulacije

Zaradi svojih lastnosti voda močno otežuje tudi razmeroma preprosta gradbena dela. Pri gradnji hidroenergetskih objektov imamo opravka s specifičnimi pogoji na terenu, čemur je potrebno v celoti prilagoditi tehnologijo izvedbe del. Veliko težav povzroča že sam dostop gradbene mehanizacije na zeleno mesto. Gradbišča je za normalen potek gradbenih del ponavadi potrebno dodatno zaščititi z nasipi. Poseben problem predstavlja izvedba gradbenih jam, ki se pri gradnji hidrotehničnih objektov običajno nahajajo globoko pod gladino talne vode, zato je potrebno razmeroma težavno njihovo tesnjenje. Ponekod je nujna

tudi vzpostavitev črpalnega sistema, ki služi za odvajanje precejnih voda nazaj v rečno strugo. Kot je razvidno iz poglavja 5.1 so ureditvena dela na odseku med Šentjakobom in Jevnico zelo raznolika, zato je potrebno poznavanje najrazličnejših tehnologij, ki so prilagojena specifičnim terenskim razmeram. V nadaljevanju je zato podan opis tehničnih rešitev za problematične točke s poglavja 5.1.

5.2.1 Izvedba poglobljanja savske struge

Med prve ukrepe pri urejanju akumulacije sodi poglobljanje savske struge. Dela so omejena pretežno na območje gorvodno od sotočja treh rek. Tu so pridobljene največje količine materiala, ki bodo večinoma uporabljene za izgradnjo nasipov nižje dolvodno. Zaradi zagotavljanja ustreznih odtočnih oziroma dotočnih razmer je sicer nekaj izkopov predvidenih tudi pod omenjenim sotočjem ter v strugi reke Ljubljanice, vendar je količina tam pridobljenega materiala precej manjša. Izkopani material je potrebno podrobno analizirati ter klasificirati, saj je bilo na podlagi trenutno razpoložljivih podatkov ocenjeno, da je večji del materiala dovolj kakovostnega za vgradnjo v nasipe. Material slabše kakovosti je predviden za nadvišanje terena v okolici sotočja. S poglobitvijo struge pod HE Šentjakob ne bi le dosegli energetske ugodnega nivoja spodnje vode, pač pa bi dobili tudi vir ustreznega materiala, ki bi količinsko skoraj v celoti pokrival potrebe zaradi izgradnje nasipov. Ker se v tem primeru glavnina materiala praktično že nahaja na gradbišču, bi občutno upadli tudi stroški dobave in transporta nasipnega materiala. S tem bi se znižal skupni investicijski vložek, posledično pa bi narasla tudi rentabilnost HE Jevnica oziroma HE Šentjakob.

V neposredni bližini obeh pregradnih profilov je izkop predviden s pomočjo izvedbe gradbenih jam. Struga reke se najprej pregradi na območjih, kjer sta predvidena prelivna objekta, kjer se nato izvrši izkop do načrtovane kote. Temu sledi dokončna izgradnja pretočnih polj obeh hidroelektrarn, nakar se izvede še gradbena jama na strojničnem območju pregradnega profila. Ker morajo biti osi turbin vsaj 4,23 m pod gladino spodnje vode je tu predviden še nekoliko globlji izkop kot pri pretočnih poljih. Zaradi velike globine izkopa, ki pri HE Šentjakob znaša preko 12 m, je gradbeno jamo praktično nemogoče povsem zatesniti, zato je za odvajanje precejnih voda nazaj v strugo reke Save med drugim potrebno vzpostaviti sistem črpalk. Znotraj gradbene jame je predvidena tudi izgradnja okrog 50 metrov dolgih drč v blagem naklonu. Z njimi je zagotovljen hitrejši višinski prehod na predvideno raven dna struge dolvodno od pregradnega objekta in posledično manjši obseg izkopnih del. Poleg tega drče omogočajo tudi boljše dotočno-odtočne hidravlične pogoje na

turbinah tako, da pri njihovem obratovanju ne pride do zastajanja vode oziroma pretiranega dviga nivoja njene gladine pod elektrarno.

Tehnologija poglobljanja struge na preostalem območju ne bi smela predstavljati večjih problemov, saj so bili podobni projekti pri nas že izvedeni v okviru prenove in povečanja moči HE Vuzenica in HE Zlatoličje (Dravske elektrarne Maribor, 2005). Pod prvo od omenjenih hidroelektrarn je pri nizkih pretokih prihajalo do sedimentacije drobnih delcev. Pri višjih pretokih so bile hitrosti vode v koritu tik pod elektrarno zaradi majhnega aktivnega preseka razmeroma visoke, zato so se tedaj drobne frakcije transportirale nižje dolvodno ter se zopet odlagale na mestih, kjer so bile hitrosti vode v strugi manjše. Tik pod HE Vuzenica se v Dravo izliva tudi potok Cerkvénica, ki v ustju izliva ob visokih vodah odlaga transportiran pesek in gramoz. Sčasoma je sedimentacija dvignila nivo dna dravske struge do te mere, da se je začel povečevati učinek zaježitvene krivulje. Kota vodne gladine na dolvodni HE Vuhred se je nahajala na 316,63 m, na območju tik pod HE Vuzenica pa je ta dosegla raven 317,93 m tako, da je bilo s stališča proizvodnje električne energije izgubljenega 1,30 m vodnega padca. V nadaljevanju je bila zato predvidena izvedba pogloblitve in razširitve dravske struge pod HE Vuzenica. S tem se je znižala raven spodnje vode posledično pa se je povečal razpoložljiv vodni padec na elektrarni (vir: Rajh, Dobnikar, Milič 2002).

Podoben projekt je potekal tudi na HE Zlatoličje. Med leti 2007 in 2012 je z namenom sonaravne ureditve degradiranega območja, povečanja pretočnih kapacitet in posledičnega povečanja moči za proizvodnjo električne energije tam potekala širitev odvodnega kanala elektrarne. Dela so se tu izvajala na območju, dolgem 6,1 km in širokem od 30 do 120 metrov. Skupno je bilo odstranjenega okrog 2,8 milijona kubičnih metrov materiala. Večinoma je šlo za gramoz, ki se ga je koristno uporabilo za gradnjo avtoceste Maribor – Gruškovje (vir: Božič, 2007). Zaradi ohranitve krajinskega izgleda je pri zemeljskih delih pod HE Šentjakob z modificirano različico 4.5 bolj kot širitev poudarjeno poglobljanje struge. V nadaljevanju sem zato podrobneje opisal potek del pod HE Vuzenica, saj je bil tudi pri tem projektu poudarek na poglobljanju. Dela na HE Zlatoličje služijo bolj kot dokaz, da je možna izvedba izkopov tudi v večjem obsegu.

Pod HE Vuzenica so se izkopna dela začela z izgradnjo ustrezno goste mreže dostopnih poti v obliki začasnih nasipov s krono tik nad vodno gladino. Ti so služili tako za stojišče gradbene mehanizacije kakor tudi za transportne poti. Za izvedbo izkopa so se večinoma uporabljali hidravlični bagri, opremljeni z globinsko žlico, izvajalec pa je razpolagal tudi s plavajočimi bagri. Tekom del se je mehanizacija postopno pomikala vzvratno navzdol, pri tem pa za seboj vršila tako izkop dna struge kakor tudi rušenje v prvi fazi izvedenega nasipa.

Na mestih, kjer se je v koritu nahajal material četrte in pete kategorije je bilo pred izgradnjo nasipov izvedeno razstreljevanje hribine. Skupno je bilo odstranjenih okrog 50000 m³ materiala (vir: Rajh, Dobnikar, Milič 2002).

Identičen pristop, vendar v precej večjem merilu, bi lahko bil uporabljen tudi pri poglobljanju struge pod bodočo HE Šentjakob. Poglobitev struge na HE Vuzenica je bila zaradi razmeroma majhne globine izkopa opravljena v enem koraku, ker pa znaša predvidena globina izkopa na nekaterih odsekih pod HE Šentjakob tudi 8 m in več, bi bilo tu zaradi lažje izvedbe potrebno postopno poglobljanje struge vzdolž celotnega območja v več korakih. Z izkopom pridobljeni material bi se lahko istočasno že vgrajeval v nasipe na nižje ležečih območjih, s čimer bi se izognili iskanju začasnih deponij.

Zaradi natančnejše določitve stroškov izvedbe ter količin pridobljenega materiala sem predvideno konturo modificirane struge reke Save v nadaljevanju vrisal v razpoložljive prečne prereze z obravnavanega območja. Ti so prikazani v prilogi D.



Slika 49: Prikaz izvedbe poglobljanja struge pod HE Vuzenica (vir: Rajh, Dobnikar, Milič, 2002)

5.2.2 Izvedba energetskih nasipov v sklopu jevniške akumulacije

Načrtovana kota vodne gladine v akumulacijskem bazenu HE Jevnica se po modificirani različici 4.5 nahaja na 266 m.n.v. S tem želimo na omenjeni elektrarni zagotoviti čim večji vodni padec, ki posledično poveča količino proizvedene električne energije. Z razmeroma velikim dvigom nivoja vodne gladine ogrozimo okoliški teren s preplavitvijo, zato je nujna izgradnja nasipov. Z njimi tudi omejimo velikost akumulacije ter tako zmanjšamo njen okoljski vpliv. Poznamo več vrst nasipov. V Sloveniji so najpogosteje v uporabi zemeljski nasipi, poslužujemo pa se lahko tudi betonskih in kombiniranih (vir: Steinman, Banovec, 2008).

Za vzpostavitev vodne gladine na koti 266 m je vzdolž akumulacijskega bazena potrebna izgradnja nasipov v skupni dolžini prek 19 km. Njihova krona se nahaja na koti 267,5 m, kar je tri metre višje, kot je bilo predvideno v študiji UL FGG in podjetja Geateh. Zaradi konfiguracije terena so nasipi najvišji tik ob jevniškem pregradnem objektu, nato pa se proti sotočju Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice postopoma znižujejo. Na območju reke Save se po predlagani modificirani varianti verige končajo približno na lokaciji, kjer je bila s koncesijsko varianto predvidena izgradnja HE Zalog. Dvig nivoja vode v jevniški akumulaciji na koto 266 m delno vpliva tudi na potek vodne gladine Kamniške Bistrice in Ljubljanice, zato je vzdolž spodnjega dela omenjenih rek prav tako potrebna izvedba nasipov. Nasipi na levem in desnem bregu Kamniške Bistrice bodo dolgi okrog 600 m. Južno od naselij Beričevo in Videm bodo priključeni na obstoječe visokovodne nasipe. Ob Ljublanici bo levobrežni nasip s krono na koti 267,5 m segal do stanovanjskih objektov v Zalogu, desnobrežni pa bo potekal vse do zaloškega cestnega mostu. V okolici sotočja nasipi niso tako izraziti, saj njihova maksimalna višina le izjemoma preseže dva metra.

Energetski nasipi so predvideni v neposredni bližini rek. Temeljna tla se na teh območjih ponavadi nahajajo precej globoko, tako da takšna podlaga ne prenaša velikih pritiskov. V takšnih razmerah je zato najprimernejša izgradnja zemeljskih nasipov, saj so razmeroma široki in zavzamejo večjo površino, kar omogoča lažji prenos sile v temeljna tla. Poleg tega so tudi dokaj podajni, zaradi česar se lažje prilagajajo posedkom. Zemeljski nasipi so bolj sprejemljivi tudi z okoljskega vidika, saj omogočajo zatravitev zračne strani, kar jim daje bolj naraven videz, obenem pa preprečuje erozijo. So tudi cenejši, saj so navadno zgrajeni kar iz materialov, ki so na razpolago na gradbišču.

Iz zgoraj opisanih razlogov so na večjem delu obravnavanega območja so predvideni zemeljski nasipi. Načrtovana širina njihove krone znaša štiri metre in se nahaja 1,5 m nad nivojem zajezitve. Na nekaterih odsekih je na kroni predvidena izvedba makadamske poti, ki pri vzdrževalnih delih omogoča dostop gradbeni mehanizaciji, poleg tega pa se pot lahko uporablja tudi v rekreacijske namene. Brežine so zaradi dodatne varnosti predvidene v naklonu 1:2 kljub temu, da je gradbeni material stabilen v naklonih 1:1,5.

Prvi korak izvedbe nasipov predstavlja postopna odstranitev humusnih plasti na njihovi trasi. Humus bo začasno deponiran na območju, ki je na problemski karti v prilogi C označeno z rjavo barvo. Del tako odloženega materiala se lahko v zaključni fazi ureditve akumulacije koristno porabi za izvedbo humusne obloge zračnih strani nasipov, s čimer je preprečena erozija, zaradi tega ukrepa pa so nasipi tudi okoljsko bolj sprejemljivi. Morebitni viški humusa se lahko s pridom uporabijo za nadvišanje območja ob sotočju Save in Ljubljanice.

Odstranjevanje humusnih plasti mora potekati po korakih, saj v primeru dlje časa razgaljenih površin obstaja nevarnost vdora invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst (npr. japonski dresnik). Na vodni strani nasipov se na netkani geotekstil položi kamnita obloga v debelini 50 cm. Ta služi za zaščito nasipa pred spiranjem jedra in pred udarci valov (vir: Študija IBE 1988). Na obravnavanem ureditvenem območju je na skrajnem levem ter desnem bregu predvidena izvedba drenažnega oziroma zbiralnega jarka, ki poleg odvajanja precdnih voda služi še za nemoteno odvajanje vseh manjših pritokov reke Save, ki jim nova ureditev preseka sedanjo izlivno pot. Zbiralni kanal je globok približno 3 metre, širina njegovega dna znaša 2 metra, brežine pa so izvedene v naklonu 1:2. Na dnu kanala je predvidena mulda, ki služi za odvajanje sušnih pretokov. Na zračni strani nasipa je predvidena izvedba drenažne pete, ki služi za lažje dreniranje precdnih voda v zbirni kanal, obenem pa preprečuje poškodbe nasipov zaradi erozije.

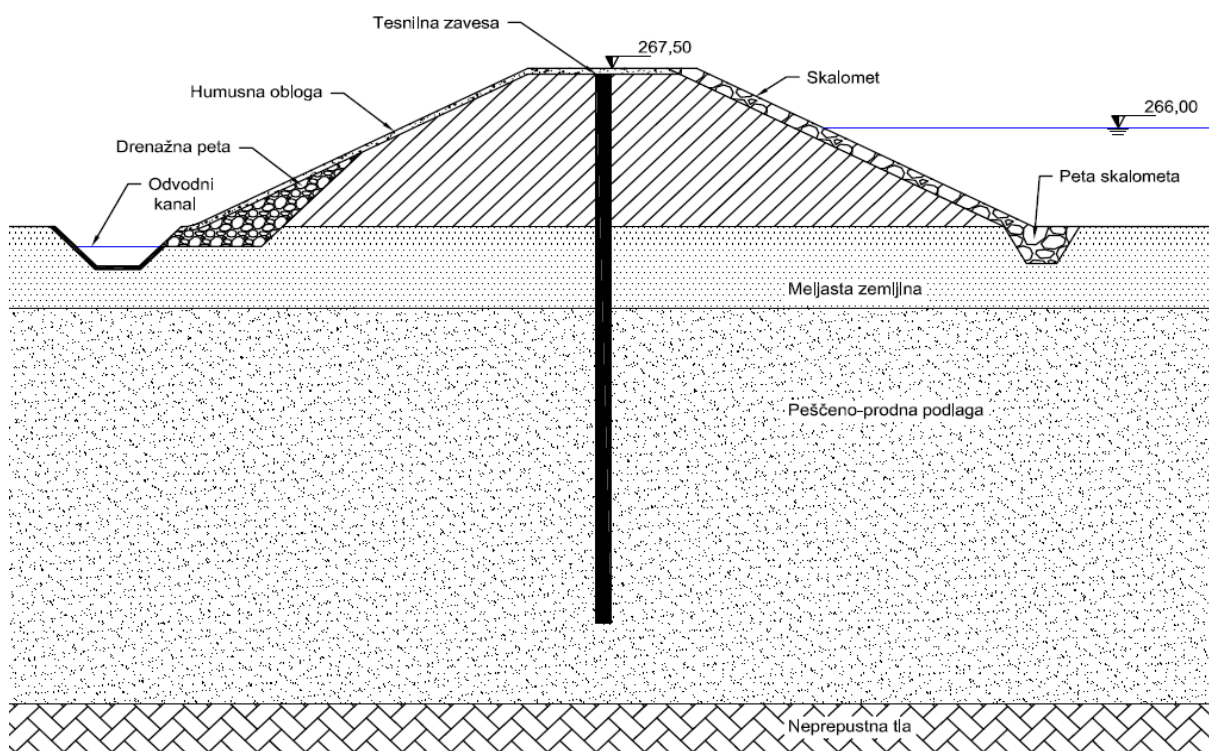
Z nasipi zadržujemo vodo znotraj akumulacije, zato si ne želimo pronicanja vode na zaledno stran. Največ težav povzroča horizontalno precejanje vode. Gre za proces, pri katerem se izenačuje razlika v vodnih pritiskih, ki nastane zaradi višjega nivoja vode znotraj akumulacije. Velikost precejanja je odvisna od razlike v vodnih pritiskih ter od lastnosti vgrajenega materiala. Ker je za glavnino nasipov predvidena uporaba močno prepustnega materiala, predstavlja njihovo tesnjenje enega od najpomembnejših segmentov njihove gradnje. Z izbiro ustreznega načina tesnjenja je potrebno preprečiti dve vrsti precejanja, in sicer precejanje skozi nasip ter precejanje pod njim.

Pri precejanju skozi nasip moramo posebno pozornost nameniti lokaciji plasti nizkoprepustnih materialov. Veliki vodni pritiski lahko namreč povzročijo izpiranje manj stabilnih delcev, med katere sodi tudi manj prepusten material. Pronicajoča voda lahko povzroči pojav notranje erozije, ta pa lahko sčasoma popolnoma izpere oziroma uniči nepropustni del nasipa, zato ta ni več funkcionalen. Sile vodnega pritiska na nasipe delujejo do vzpostavitve ravnovesne lege, potem pa postane pronicanje konstantno, zato ni več nevarnosti za pojav notranje erozije. Nasipi so torej najbolj ogroženi v času polnjenja akumulacije do vzpostavitve stacionarnega stanja (vir: Šimic 2006).

Na odseku Save med Šentjakobom in Jevnico imamo opravka z vodoprepustno podlago, zato so vzdolž akumulacije pričakovani problemi s precejanjem vode pod nasipi. Ta pojav je nezaželen ne le zaradi povečanja vodnih izgub, pač pa tudi zaradi slabitve oziroma spodjedanja temeljnih tal nasipov. Za preprečevanje pronicanja vode pod nasipi je na voljo več rešitev. Ena najpogostejših je uporaba neprepustne preproge na vodni strani, možne pa so še uporaba vertikalnih drenaž, podaljšanje jedra nasipa do nepropustne podlage, uporaba

tesnilne zavese in uporaba razbremenilnih vodnjakov. Ker je voda v akumulacijskih jezerih zelo mirna, so vodni pritiski tu večinoma enakomerni, zato se ustvari stacionarno stanje pronicanja. Zaradi zmanjšane hitrosti vode je manjša tudi njena transportna sposobnost, kar sčasoma privede do zablatenja struge s finimi delci, ta pojav pa sam po sebi preprečuje pronicanje vode pod nasipom. Zaradi varnosti je za prvih nekaj let obratovanja hidroelektrarne vseeno priporočljiva izvedba nekaterih enostavnejših ukrepov proti pronicanju vode pod nasipi (neprepustna preproga, drenaže), ki jih lahko kasneje po potrebi tudi odstranimo. Če se po izgradnji nasipa na zračni strani pojavijo vodni izviri, lahko nastalo situacijo rešimo z dodatnim nasutjem. Slednje služi kot protiutež vzgonu in preprečuje nadaljnje izviranje vode (vir: Šimic 2006).

Pred dokončno izbiro načina ter obsega tesnilnih del je potrebno izdelati detajlno hidrološko študijo, na podlagi katere se bo izbrala optimalna rešitev. Nova ureditev namreč ne sme poslabšati razmer v podtalnici Ljubljanskega polja, saj je to območje izjemnega pomena za vodooskrbo. V tej fazi sem predvidel tesnjenje zemeljskih nasipov s tesnilno zaveso. Ta se nahaja na sredini nasipov in sega približno 10 m pod sedanje površje. Običajno tesnilna zavesa sega vse do neprepustnih tal, vendar se slednja na obravnavanem območju nahajajo pregloboko. Precejanje vode tako sicer ni v popolnosti zaustavljeno, vseeno pa so zaradi podaljšanja precdnih poti voda vodne izgube v akumulaciji znatno manjše. Tipični prečni prerez nasipov na večjem delu trase je prikazan na sliki 50.



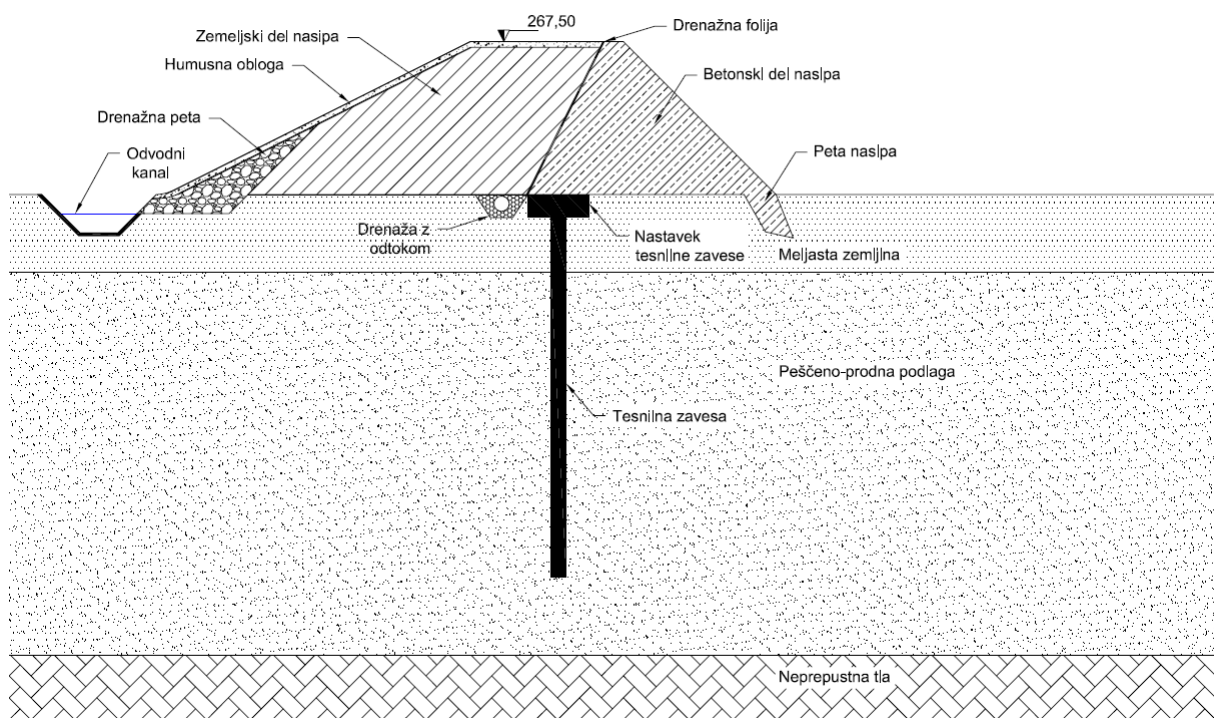
Slika 50: Detajl tipičnega prečnega prereza zemeljskih nasipov vzdolž jevniske akumulacije



Slika 51: Prikaz izgradnje skalometa vzdolž akumulacije HE Krško (vir: <http://www.he-ss.>)

Zaradi specifičnih hidravličnih razmer so tik ob pregradah predvideni posebni valjano-betonski nasipi. Zgrajeni so iz betona, ki med drugim vsebuje elektrofiltrski (silicijski) pepel, kar zmanjšuje potrebo po cementu, omili vpliv hidratacijske toplote, zmanjšuje potrebo po vodi ter zagotavlja boljše zmrzlinsko odpornost. Valjano-betonski nasipi so bolj togi, zato so njihove brežine lahko strmehše. Material dopušča skoraj pravokotne naklone brežin, vendar so ti zaradi pogojev dostopnosti in varnosti pred prevrnitvijo predvideni v razmerju 1:1. Širina njegove krone ostaja enaka kot pri zemeljskem nasipu. Ker je valjani beton neprimerno dražji od savskega proda, je potrebno njegovo količino kar najbolj omejiti. Celoten nasip v bližini elektrarn sem zato predvidel kot kombinacijo betonskega in zemeljskega nasipa. Betonski del se nahaja na vodni strani. Širina njegove krone meri 0,5 m. Vodna stran je izvedena v naklonu 1:1, medtem, ko je zaledna valjano-betonska brežina še nekoliko strmehša (1:0,5). Zračna stran je zasnovana enako kot pri zemeljskem nasipu (vir: Šimic 2006).

Kombinacija valjano-betonskega in zemeljskega nasipa zahteva posebno pozornost na stiku med obema materialoma, ki bi bil ob morebitni razpoki v betonskem delu najbolj na udaru. Med obema slojema je predvidena drenažna folija, ki omogoča odvajanje precejajoče vode, poleg tega pa izboljša strižno trdnost zemeljskega dela. Drenažna folija je z odvodnimi cevmi povezana z zbiralnim jarkom na zračni strani nasipa. Ker ima valjano-betonski del nasipa nižji koeficient vodoprepustnosti od zemeljskega, dodatni tesnilni ukrepi proti precejanju vode skozi nasip niso potrebni. Izvedba tesnilne zavese pa je še vedno neizogibna za preprečevanje pronicanja vode pod nasipom. Tipični prečni prerez kombiniranega nasipa je predstavljen na sliki 52 (vir: Šimic 2006). Poleg tega sem v razpoložljive prečne prereze savske struge z obravnavanega območja vrisal konturo predvidenih nasipov, s pomočjo katerih sem kasneje določil tudi predvideno količino in strošek del. Prečni prerezi so prikazani v prilogi D.



Slika 52: Detajl prečnega prereza valjano-betonskih nasipov tik ob obeh hidroelektrarnah

5.2.3 Nadvišanje terena ob sotočju Save in Ljubljance

V sklop nasipnih del lahko uvrstimo tudi nadvišanje območja, ki je po modificirani zasnovi ukleščeno med nasipe ob sotočju Ljubljance ter Kamniške Bistrice s Savo. Nadvišanje je potrebno povsod, kjer je kota podtalnice zaradi nove ureditve predvidena manj kot 1,5 m pod površjem. Omenjeni ukrep je sicer drag in zahteven, vendar hkrati tudi nujen za zagotovitev zadostne poplavne varnosti in preprečitve zamočvirjanja oziroma preplavitve okoliških zemljišč, kar bi v celoti onemogočilo kmetijsko dejavnost v bližnji okolici.

Zelo pomembno je, da so gradbeni posegi strokovno vodeni, saj lahko v nasprotnem primeru pride do trajnega poslabšanja kvalitete teh zemljišč. Nadvišanje terena se mora izvajati korak za korakom po manjših zaključenih enotah. Priporočena velikost površine, kjer se izvajajo posamezni sklopi del, je 0,5 ha. Dela se začnejo z odkopom materiala do matične podlage, saj lahko v nasprotnem primeru te plasti vplivajo na zmanjšanje zadrževalnih sposobnosti tal. Odgrinjanje površin poteka po plasteh. Debeline slednjih so odvisne od talnih horizontov znotraj profila tal. Najprej se odstranita travna ruša in humusna plast do globine vsaj 20 cm. Nato sledi odstranjevanje spodaj ležečih talnih horizontov vse dokler ni dosežena matična podlaga. Odstranjene plasti je potrebno v bližini gradbišča ločeno deponirati, saj se po končanem nasipanju ponovno uporabijo kot krovni sloj. Na matično podlago odkritega območja se nato do zelene višine odlaga nasipni material. Pri tem je za uporabo predviden le

tisti del izkopnih materialov, ki ni dovolj kakovosten za vgradno v nasipe. Na matično podlago se najprej v ustrezni debelini nasuje plast grobega materiala, sestavljenega iz večjih skalnatih kosov. S tem se najhitreje doseže želena kota nadvišanja terena. Na skalnat material je nato potrebno nasuti vsaj 50 cm debelo plast proda, ki mora biti izvedena v rahlem naklonu (1‰) proti reki. To omogoča normalno odtekanje vode v primeru izoblikovanja neprepustne plasti. V izogib prevelikim posedkom je potrebno skalnato ter prodno plast pri vgradnji maksimalno skomprimirati, zato je neizogibna uporaba težke gradbene mehanizacije. Na prodno plast se nato ponovno nasuje v začetku odstranjene ter v bližini gradbišča odložene talne horizonte in sicer po vrsti od najgloblje pa vse do vrhnje humusne plasti, upoštevajoč prvotni talni profil. V tej fazi se že lahko uporablja lažja gradbena mehanizacija, saj mora biti zbitost vrhnjih plasti čim manjša. Z nasutjem vsega omenjenega materiala je takoj po izgradnji kota terena več kot 1,5 m nad gladino podtalnice, vendar se zaradi kasnejšega dolgotrajnega procesa konsolidacije vzpostavi na načrtovani višini. Pri izvedbi zemeljskih del je potrebno skrbno paziti na to, da je zaporedje odgrinjanja in nasipanja humusnih plasti skladno s prvotnim talnim profilom. Le na tak način je namreč mogoče zagotoviti, da bo nadvišan teren po zaključku posega ponovno možno uporabljati za obstoječe dejavnosti (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007).

Zagotoviti je potrebno strog nadzor nad pravilnim izvajanjem zemeljskih del, saj lahko le-ta potekajo zgolj na dovolj suhih zemljiščih. V nasprotnem primeru pride do formiranja neugodnih, manj prepustnih površinskih ali podpovršinskih slojev, kar privede do poškodovanja strukture tal in njihove trajne degradacije. Za oceno pravega trenutka za izvedbo posega je potrebno upoštevati vlažnost tal. Zaradi velike heterogenosti tal je v Sloveniji tveganje za nastanek tega pojava še toliko večje, zato je pri gradbenih delih nujna prisotnost izkušenih pedologov. Sanacija manj prepustnih slojev je draga in zamudna. Možna je namreč le z izgradnjo drenažnega sistema, ki jo mora na lastne stroške zagotoviti investitor (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007).

5.2.4 Ureditev manjših pritokov reke Save

Zaradi izgradnje nasipov vzdolž Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice ter dviga nivoja vode znotraj jevniške akumulacije na koto 266 m, je v sklopu ureditvenih del potrebno poiskati ustrezne tehnične rešitve za ureditev dosedanjih iztokov zaloških Studenčnic, Besnice, Gradolskega potoka, Gostince, Lučne ter Mlinščice. Z vzpostavitvijo novega stanja današnji režim izlivanja omenjenih pritokov v Savo namreč ne bo več mogoč. Pri načrtovanju ustreznih ureditev predstavlja veliko oviro pomanjkanje podatkov. Na večini omenjenih

pritokov ni organiziranega stalnega merjenja le-teh, zato je praktično nemogoče natančno oceniti velikost stoletnih pretokov, ki so za dimenzioniranje novih ureditev merodajni. Za nameček sta zaloški studenčnici zaradi upada nivoja podtalnice danes presahli, kar povzroča dodatne težave pri napovedovanju pretokov. Pri določitvi velikosti pretokov zgoraj omenjenih pritokov sem si pomagal z Dickenovo in Ryvesovo enačbo. Pri Dickenovi konstanti sem upošteval vrednost 12, ki velja za gričevnata porečja z neprepustno glino, pri Ryvesovi konstanti pa vrednost 10, ki v splošnem velja za hribovita porečja (Kestnar, 2012). S tema enačbama sem dobil vsaj grobo oceno o stoletnem pretoku manjših savskih pritokov. Rezultati so prikazani v spodnji preglednici.

	Zbirna površina [km ²]	Q ₁₀₀ po Dickenovi enačbi [m ³ /s]	Q ₁₀₀ po Ryvesovi enačbi [m ³ /s]	Povprečen Q ₁₀₀ [m ³ /s]
Zaloška studenčnica 1	0.6	8.60	7.44	8.02
Zaloška studenčnica 2	0.6	8.60	7.44	8.02
Besnica	19.8	112.64	73.19	92.91
Gradolski potok	3.4	30.05	22.61	26.33
Gostinca	10.2	68.49	47.03	57.76
Lučna	0.7	9.18	7.88	8.53
Mlinščica	13.9	86.39	57.81	72.10

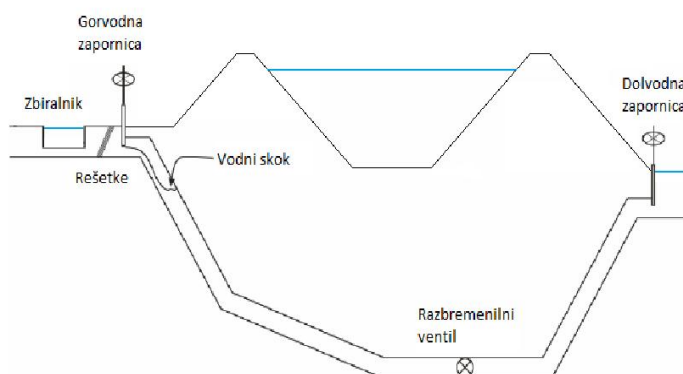
Preglednica 4: Groba ocena stoletnih pretokov manjših pritokov Save z obravnavanega odseka

V primerjavi s Savo, Kamniško Bistrico in Ljubljano gre pri zgoraj navedenih vodotokih za razmeroma majhne vodne količine, zato obstaja več možnih tehničnih rešitev za njihovo nemoteno odvajanje. Ena od njih je na primer izgradnja črpališč, kjer se dotekajoča voda preko nasipov prečrpa v jevniško akumulacijo. Gre za razmeroma zapleteno rešitev, saj je potrebno za vsak pritok zgraditi svoje črpališče, s čimer narastejo tudi stroški obratovanja in vzdrževanja teh objektov. Poleg tega je zaradi precej hudourniškega značaja pritokov, ki svoje vode nabirajo v hribovju vzhodno od Ljubljane, težavna določitev ustrezne kapacitete črpanja. Pozitivni strani te rešitve sta razmeroma majhna poraba prostora za izvedbo ureditve ter rahlo povečanje vodnih količin, ki se lahko na HE Jevnica izkoristi za proizvodnjo električne energije.

Druga od možnih rešitev je izgradnja nasipov vzdolž obravnavanih pritokov, podobno kot je to že predvideno na območju sotočja Save z Ljubljano in Kamniško Bistrico. Slaba stran tega je velika zasedba prostora, ki bi v bližini nekaterih naselij med drugim zahtevala rušenje večine stanovanjskih objektov. Poleg tega bi bilo za nevtralizacijo težav s precdno vodo potrebno nadvišanje obsežnih področij, ukleščeni med posamezne nasipe. To bi privedlo do višjih stroškov izgradnje in večje degradacije naravnega okolja. S to ureditvijo bi bilo na HE Jevnica sicer možno energetsko izkoristiti vso razpoložljivo vodo, kljub vsemu pa ukrep z ekonomskega stališča ne bi bil upravičen, saj so vodne količine prej omenjenih manjših pritokov v primerjavi s Savo, Ljubljano in Kamniško Bistrico zanemarljivo majhne.

Tretja rešitev predvideva odvajanje voda manjših pritokov preko zbirnih kanalov, ki bodo izvedeni v sklopu izgradnje energetskih nasipov vzdolž reke Save, v spodnjo vodo HE Jevnica. Na ta način se lahko z le majhnim preoblikovanjem izlivnih področij enostavno reši odtok vseh manjših desnih pritokov Save in Ljubljanice (Besnica, Gradolski potok, Gostinca, Lučna) na obravnavanem območju. Več težav se pojavi pri odvajanju voda Mlinščice ter zaloških Studenčnic severovzhodno od Centralne čistilne naprave Ljubljana. Mlinščici pot do spodnje vode vzdolž levega energetskega nasipa preprečujejo prvi nekoliko večji vrhovi Posavskega hribovja (Velika Benica in Špilj), ki se povsem približajo strugi Save, zaloški Studenčnici pa sta ukleščeni med desnobrežni nasip Save in levobrežni nasip Ljubljanice.

Kot rešitev za omenjene probleme predlagam izvedbo tako imenovanega obrnjenega sifona, s pomočjo katerega bi vsi trije potoki prečkali Savo pod njeno strugo ter se izlili v obstoječi desnobrežni zbirni kanal, ki se izliva v spodnjo vodo HE Jevnica. Podobna tehnologija se pogosto uporablja pri kanalizacijskih in namakalnih sistemih, kadar se je potrebno izogniti obstoječim vodom. Izvedba zahteva izgradnjo manjšega zbiralnika z rešetkami in zapornico tik ob levobrežnem nasipu Save oziroma Ljubljanice. Rešetke varujejo sifon pred zamašitvijo s plavjem oziroma plavinami, zapornice pa služijo za uravnavanje pretoka ter morebitno popolno zaustavitev dotoka v času vzdrževalnih del. Posebno pozornost je potrebno nameniti tudi dimenzioniranju sifonske cevi. Če je le-ta premajhna, lahko pride do prekomernega dviga vodne gladine v zaledju, če pa je prevelika, lahko zaradi premajhne hitrosti vode pride do odlaganja plavin na najgloblje ležeči točki cevi. Zaradi potreb vzdrževanja sifona je potrebna izgradnja zapornice tudi na njegovem iztočnem delu.



Slika 53: Prikaz navadnega sifona in shema obrnjenega sifona (vir: Dr. Stephen W. Hughes: A practical example of siphon at work, USBR – Design of small canal structures 1978)

5.2.5 Ureditev ribje steze

Ena od posledic izgradnje hidroelektrarn je tudi prekinitev migracijskih poti ribam in ostalim vodnim organizmom, s čimer je onemogočen njihov dostop do drstišč in hrane, kar lahko ogrozi njihov obstoj. Z naravovarstvenega vidika je zato nujna vzpostavitev t.i. ribjih stez oziroma prehodov. Njihov namen je pritegniti in usmeriti selilne vrste vodnih organizmov v prehod ter jim omogočiti normalno premostitev višinske razlike, ki jo ustvari pregrada. Da je prehod učinkovit, morajo ribe zlahka najti vhod, preplavati prehod brez dodatnega stresa ali poškodb ter ga na izhodnem delu normalno zapustiti (vir: Juran, Naglič, 2008).

Pri načrtovanju in izvedbi ribjih stez je zato potrebno dati poseben poudarek hidravlični zasnovi. Hidravlične razmere na prehodu morajo biti namreč čim bolj podobne naravnim razmeram pred izgradnjo hidroelektrarn. Hitrost vodnega toka na prehodu mora odgovarjati plavalnim sposobnostim organizmov, katerim je steza namenjena. Možnost prečkanja morajo imeti vse starostne skupine organizmov in ne le najmočnejši primerki, zato največja dopustna lokalna hitrost vodnega toka ne sme presegati 1 m/s (vir: Kostak Krško, 2009).

Ribjo stezo HE Jevnica sem zasnoval na osnovi tehničnih rešitev iz projekta HE Blanca. Na jevniški elektrarni mora prehod premostiti 12 m višinske razlike. Zaradi zagotavljanja normalnih hidravličnih razmer za vodne organizme sem njegovo dolžino ocenil na okrog 850 m. Ribja steza na HE Jevnica sestoji iz treh delov, in sicer iz vtočnega objekta na gorvodni strani, prehodnega odseka ter iztočnega odseka na dolvodni strani (povzeto pod HESS d.o.o., 2010).

Vtočni objekt zajema dva vtoka. Prvi obratuje pri gladini nazivne zaježitve, drugi, ki je nekoliko nižji, pa v primeru denivelacije. Pri vmesnih gladinah delujeta oba vtoka ter tako zagotavljata konstanten pretok v prehodnem delu. Po zgledu iz HE Blanca je slednji tudi na HE Jevnica urejen sonaravno. Njegova trasa vijuga ob nasipih oziroma jezovni zgradbi HE Jevnica in je sestavljena iz številnih manjših talnih pragov, ki ribam omogočajo lažji prehod. Največjo vlogo pri učinkovitosti ribje steze igra pozicija iztočnega dela. Ta mora biti lociran izven povratnih obrežnih tokov in na zadostni oddaljenosti od strojnice, da je omiljena turbulentnost vodnega toka turbinskih iztokov. Pogosto se namreč dogaja, da je iztočni del lociran preblizu strojnice tako, da vpliv turbulence moti čutila vodnih organizmov in jih odvrča stran od prehoda. Ribja steza je v takšnem primeru neuporabna in predstavlja le strošek, saj je na njej vseeno potrebno zagotavljati ustrezen pretok kljub temu, da prehod sploh ni funkcionalen. Iztočni del ribje steze na HE Jevnica je podobno kot prehodni del sestavljen iz večjega števila pragov z višinsko razliko okrog 10 cm.



Slika 54: Primer ureditve vtočnega (levo) in iztočnega dela (desno) ribje steze na HE Blanca (vir: HESS d.o.o. Brežice, 2010)

5.3 Predlog modifikacij pregradnih objektov HE Šentjakob in HE Jevnica

Opustitev HE Zalog ne prinaša sprememb le vzdolž obravnavanega območja, pač pa so določene modifikacije potrebne tudi na samih pregradnih objektih HE Šentjakob in HE Jevnica. V poglavju 4 je bilo prikazano, da obstajajo alternativne možnosti izkoriščanja vodnega padca na tem območju, ki so z energetskega, izvedbenega in okoljskega vidika celo bolj upravičene od tistih, ki so predlagane s študijo UL FGG in podjetja Geateh.

Najzanimivejše izmed njih predvidevajo tako poglobitev HE Šentjakob, kakor tudi nadvišanje kote zajezitve na HE Jevnica, kar za seboj potegne precejšnje spremembe v zasnovi strojnic in prelivnih polj. Pri snovanju modifikacij na omenjenih objektih sem si pomagal z idejnimi zasnovami srednesavskih elektrarn iz koncesijske študije ter študije UL FGG in podjetja Geateh, v nekaterih primerih pa sem se zgledoval tudi po načrtih HE Blanca.

Modificirana različica 4.5, ki sem jo izbral za podrobnejšo obravnavo, predvideva spust nivoja spodnje vode pri HE Šentjakob s prvotne kote 270 m.n.v. na koto 266 m.n.v. S to varianto je predviden dvig kote vodne gladine ob HE Jevnica s prvotne višine 263 m na novo koto, ki se nahaja na 266 m.n.v. Na šentjakovski hidroelektrani se bruto vodni padec s prvotno predvidenih devetih torej poveča na trinajst metrov, na jevniškem energetskem objektu pa leta naraste z devetih na dvanajst metrov. Zaradi sprememb nivoja vodnih gladin je potrebna štirimetrski poglobitev pregradnega objekta HE Šentjakob in trimetrsko nadvišanje jevniške pregrade, kar za seboj potegne še vrsto dodatnih ukrepov, ki so opisani v nadaljevanju.

Sprememba zajezitivne višine na omenjenih objektih močno vpliva na izbor tipa turbin. V zasnovi verige hidroelektrarn na srednji Savi po študiji UL FGG in podjetja Geateh je na

energetskih objektih z razpoložljivim bruto vodnim padcem, manjšim od desetih metrov, predvidena vgradnja horizontalnega tipa turbin. Te se sicer lahko uporabljajo pri padcih do 25 m in dosegajo moči do 100 MW. Pri horizontalnih cevni turbinah gre v bistvu za Kaplanove turbine s horizontalnimi osmi, pri katerih so agregati nameščeni v zaprtih ohišjih v pretočnem traktu in jih v celoti obteka vodni tok. Opisani tip turbin v primerjavi z vertikalnim omogoča tudi do 30 odstotkov večjo požiralnost pri enakem premeru gonilnika in enakem padcu, poleg tega pa je tak agregat tudi precej lažji in manjši. V območju delovanja je njegov izkoristek za 2 do 3 odstotke višji od primerljivih vertikalnih Kaplanovih turbin, zaradi plitvejšega temeljenja pa je cena strojnice s horizontalnimi cevni agregati lahko tudi do 40 odstotkov nižja. Slaba stran horizontalnih cevni turbin se kaže v manjši prilagodljivosti kritja potreb elektroenergetskega sistema, ki je posledica manjše velikosti agregata in težjega manevriranja z njim (vir: Kryžanowski, 2011).

S povečanjem razpoložljivega bruto vodnega padca na zgoraj omenjenih elektrarnah začnejo horizontalne cevne turbine počasi nadomeščati vertikalne Kaplanove turbine. Te se glede na območje uporabe delijo na tri skupine. Zaradi specifičnih naravnih pogojev je za območje srednje Save zanimiva predvsem skupina Kaplanovih turbin, razvita za manjše padce (do 15 m). Njena največja prednost se kaže v fleksibilnosti delovanja za potrebe zagotavljanja sistemskih storitev. Dvojna regulacija lopatic namreč omogoča optimalno delovanje agregata v širokem področju obremenitev. Največji problem vertikalnih Kaplanovih turbin predstavlja visoka cena, ki je v glavnem posledica globljega temeljenja (vir: Kryžanowski, 2011). Na modificiranih različicah HE Šentjakob in HE Jevnica je zaradi povečanega bruto vodnega padca možna tako vgradnja horizontalnih cevni turbin, kakor tudi vertikalnih Kaplanovih turbin, zato sem v nadaljevanju podrobneje obdelal obe varianti.

Sprememba nivoja zgornje vode pri HE Jevnica ter spodnje vode pri HE Šentjakob zahtevata tudi določene modifikacije pretočnih polj. Zaradi povečanega vodnega padca na omenjenih elektrarnah stara zasnova namreč ne ustreza več novim terenskim razmeram. Potrebno je podaljšanje podslapja, dimenzijska prilagoditev zapornic in preoblikovanje prelivnega praga. Modifikacije pretočnih polj obeh elektrarn so podrobneje predstavljene v nadaljevanju.

5.3.1 Modifikacije pogonskega objekta in pretočnih polj HE Jevnica

HE Jevnica po modificirani različici 4.5 ohrani tri pretočna polja ter dva agregata. Tlorisna širina pregradnega objekta v primeru ohranitve horizontalnih cevni turbin ostane v primerjavi z izhodiščno zasnovo praktično nespremenjena, v primeru vgradnje vertikalnih

turbin pa je strojnični del pregradnega objekta celo nekoliko ožji. Razlika med variantama znaša dobrih osem metrov. Dolžina strojničnega objekta je v obeh primerih enaka in znaša približno 58 m. Tudi tlorisna dolžina pretočnih polj se z modificirano različico bistveno ne spremeni. Ker skupna širina jevniškega pregradnega objekta v obeh primerih presega sto metrov, s stališča obsega gradbenih del pri vgradnji vertikalnih turbin ne moremo govoriti o občutnem prihranku, saj je potrebno upoštevati tudi dejstvo, da vertikalne turbine zahtevajo nekoliko globlji izkop.

Podolžni prerez strojnice modificirane HE Jevnica sem obdelal tako za primer vgradnje vertikalnih, kakor tudi horizontalnih turbin. Pri prvih sem kot osnovo uporabil podolžni prerez strojničnega objekta HE Suhadol. Ta referenčni objekt sem izbral zato, ker ima predviden enak instalirani pretok, poleg tega pa je tu bruto vodni padec le za en meter višji kot na modificirani različici HE Jevnica. S tem sem se izognil velikim modifikacijam strojnice HE Jevnica. Celoten objekt je bilo potrebno le malenkostno zmanjšati ter prilagoditi iztočni del turbinskega trakta tako, da je bilo zadoščeno pogoju minimalne potopljenosti osi turbine (vsaj 2 m) glede na nivo spodnje vode. Za izvedbo strojnice HE Jevnica z vertikalnimi turbinami je potreben izkop na koto 233,32 m.n.v. Z drugimi besedami se temelji jevniške strojnice nahajajo 32,68 m pod predvidenim nivojem zgornje vode.

Pri snovanju podolžnega prereza jevniške strojnice s horizontalnimi cevniimi turbinami sem si pomagal kar z originalno zasnovo strojnice HE Jevnica. Pri slednji se je gladina zgornje vode nahajala na koti 263 m.n.v., modificirana verzija pa jo predvideva tri metre višje, zato sem moral na gorvodni strani predvideti povišanje pogonskega objekta. Nivoja spodnjega platoja načeloma ni potrebno spreminjati, saj je edini pogoj ta, da ga ne sme poplaviti tisočletna visoka voda. Kljub temu sem se zaradi omogočanja lažjega dostopa do žerjava odločil za rahlo nadvišanje spodnjega platoja. S tem je zagotovljena tudi dodatna varnost pred preplavitvijo objekta. Osi horizontalnih turbin se po modificirani različici HE Jevnica nahajajo 5,18 m pod predvidenim nivojem spodnje vode, zato sem turbinski trakt pustil praktično nedotaknjen. Najgloblji del temeljev strojničnega objekta se v primeru vgradnje horizontalnih cevniih turbin nahaja na koti 235,95 m.n.v., večji del temeljev pa se nahaja še približno tri metre višje. Na ta način je pri vgradnji horizontalnih turbin potreben nekoliko plitvejši izkop, kar olajša izvedbo pretočnih polj.

Povišan nivo zgornje vode na HE Jevnica zahteva določene spremembe tudi pri zasnovi pretočnih polj. Pri modifikaciji podolžnih prerezov pretočnih polj jevniškega objekta sem si pomagal z idejnimi zasnovami pretočnih polj HE Suhadol, HE Renke in HE Trbovlje, ki so bile izdelane v sklopu študije UL FGG in podjetja Geateh. Omenjene referenčne objekte sem

si izbral zato, ker so si glede višinske razlike oziroma bruto vodnega padca še najbolj podobni. V primerjavi z izhodiščno varianto jevnjskih pretočnih polj sem v modificirani verziji predvidel trimetrsko povišanje zapornic ter približno pet metrov daljše podslapje. Razmerja sem dobil s primerjavo situacij na referenčnih objektih. Predvidel sem tudi nekoliko bolj izrazito grbo na prelivnem pragu ter trimetrsko podaljšanje vmesnih stebrov, sistem drenaž, kontaktno injektiranje pod pragom in ureditev skalometa na odseku pod podslapjem pa ostajata enaka kot v izhodiščni zasnovi. Tloris modificiranega pregradnega objekta HE Jevnica z vertikalnimi oziroma horizontalnimi turbinami, podolžni prerez obeh tipov strojnice ter podolžni prerez prelivnih polj so prikazani v prilogi E.

5.3.2 Modifikacije pogonskega objekta in pretočnih polj HE Šentjakob

HE Šentjakob po modificirani različici 4.5 ohrani enako število pretočnih polj in agregatov kot v izhodiščni varianti. Zaradi upada spodnje vode bruto padec na tej elektrarni naraste s prvotnih 9 na 13 metrov, zato je tu poleg horizontalnih ravno tako možna vgradnja vertikalnih turbin. V primeru ohranitve horizontalnih cevni turbin ostane tlorisna širina modificiranega pregradnega objekta nespremenjena, v primeru vgradnje vertikalnih turbin pa je potrebna štirimetrski razširitev strojnice. Pogonski objekt z vertikalnimi turbinami je približno enako dolg kot pri izhodiščni zasnovi (okrog 50 m), medtem, ko je v primeru ohranitve horizontalnih turbin potrebno skoraj desetmetrsko podaljšanje. Tudi modificirana pretočna polja so za približno 8 m daljša kot v izhodiščni zasnovi.

Podolžni prerez šentjakobske strojnice z vertikalnimi turbinami sem zasnoval na osnovi pogonskega objekta HE Tacen. Za ta referenčni objekt sem se odločil zato, ker je tu predviden enak instaliran pretok kot na HE Šentjakob, poleg tega pa ima objekt v Tacnu predviden podoben vodni padec. HE Tacen je v nasprotju s HE Šentjakob predvidena kot derivacijska elektrarna. To pomeni, da sem moral vtočni del pogonskega objekta povsem spremeniti. Pri tem sem si pomagal s preostalimi zasnovami strojnice z vertikalnimi turbinami tako, da je modificiran podolžni prerez šentjakobskega pogonskega objekta pravzaprav kombinacija tacenske derivacijske elektrarne in trboveljske elektrarne rečnega tipa. V nadaljevanju sem najprej uskladil razlike v dimenzijah obeh referenčnih verzij, tako dobljen prerez strojnice pa sem nato v celoti prilagodil terenskim razmeram na območju šentjakobske elektrarne. Najgloblji temelji modificirane strojnice HE Šentjakob se nahajajo na koti 246,39 m.n.v. oziroma 32,61 m pod predvidenim nivojem zaježitve. Os turbine se nahaja točno 2 m pod predvideno gladino spodnje vode tako, da je izpolnjen pogoj minimalne zahtevane potopljenosti. Modificiran spodnji plato pogonskega objekta se nahaja na koti

276,5 m.n.v. in tako nudi zadostno zaščito pred preplavitvijo v primeru pojava visoke vode s tisočletno povratno dobo.

Pri snovanju modificiranega podolžnega prereza šentjakobske strojnice s horizontalnimi turbinami sem izhajal iz originalne zasnove pogonskega objekta HE Šentjakob. Pri slednji je se je gladina zgornje vode nahajala na koti 279 m.n.v., gladina spodnje pa na 270 m.n.v. Z modificirano različico 4.5. nivo spodnje vode upade na koto 266 m.n.v., originalna zasnova strojnice pa posledično ne zagotavlja več zadostne potopljenosti osi turbin. Pogonski objekt je zato potrebno nekoliko poglobiti, obenem pa je potrebno paziti, da na gorvodni strani še vedno omogoča zaježitev na želeni višini. Novi temelji modificirane šentjakobske strojnice se nahajajo na koti 247,95 m.n.v., kar je 6,15 m nižje kot pri izhodiščni zasnovi. S tem je zagotovljena ustrezna potopljenost osi turbin. Ti se nahajata 5,18 m pod predvideno gladino spodnje vode. Spodnji plato stojnice se nahaja na koti 277,5 m.n.v., da je s tem omogočen enostaven dostop do žerjava, poleg tega pa je zagotovljena ustrezna varnost strojnice pred preplavitvijo.

Povečanje bruto vodnega padca na HE Šentjakob med drugim zahteva tudi velike spremembe pri zasnovi pretočnih polj. Na šentjakobski elektrarni sta predvideni le dve pretočni polji, zato je posebej pomembno, da se drastično ne zmanjšuje višine oziroma širine pretočnih polj. Vrh prelivnega praga se v izhodiščni varianti nahaja 14,1 m pod nivojem zgornje vode. Ker se vodni padec z novo različico poveča za kar štiri metre, modifikacija izhodiščne zasnove ne pride v poštev, saj le z nadvišanjem zapornic in prelivnih stebrov ne bi zagotovili ustreznih hidravličnih razmer v podslapju. Na večini preostalih srednesavskih elektrarn so na pregradnih objektih predvidena vsaj tri pretočna polja. Poleg tega so prelivni pragovi locirani bližje gladine zgornje vode, kar zmanjša velikost preseka pretočnih polj, zato niso primerne za iskanje rešitev na HE Šentjakob. Za rešitev tega problema sem kot referenčni objekt vzel pretočna polja na HE Blanca. V tem primeru ima prelivni prag izrazito grbo, kateri sledi osemmetrski spust v naklonu 1:2. V samem podslapju so predvideni tudi razbijači, dno tik pod pretočnimi polji pa je dodatno utrjeno s skalami. Temu sledi še drča v rahlem protinaklonu, s katero je omogočen prehod na načrtovano koto dna struge v prečnem prerezu P-33B. Najgloblji del temeljev modificirane različice pretočnih polj HE Šentjakob se nahaja na koti 248,5 m.n.v., kar je približno 6 m globlje, kot je bilo predvideno v izhodiščni varianti. Celoten objekt je tudi 8 metrov daljši ter 6 metrov višji od osnove različice. Teme prelivnega praga se nahaja 15,5 m pod predvideno koto zaježitve tako, da je novi presek pretočnih polj v primerjavi z izhodiščno varianto še nekoliko povečan, vendar to bistveno ne pripomore k večjemu prevajanju vode. Tečaj zapornice je pomaknjen približno 3,5 m dlje dolvodno, poleg tega pa so nekoliko večje tudi dimenzije prelivnih stebrov. Tloris

modificiranega pregradnega objekta HE Šentjakob z vertikalnimi oziroma horizontalnimi turbinami, podolžni prerez obeh tipov strojnic ter podolžni prerez prelivnih polj so prikazani v prilogi F.

5.3.3 Kontrola velikosti modificiranih pretočnih polj pri pojavu stoletne in tisočletne visoke vode

Zaradi sprememb v zasnovi verige srednjesavskih elektrarn na odseku med Šentjakobom in Jevnico, ki jih prinaša različica 4.5, sem moral preveriti tudi ustreznost modificiranih pretočnih polj HE Šentjakob in HE Jevnica pri novonastalih razmerah. Za zagotavljanje dovolj visoke stopnje varnosti okoliških prebivalcev, gospodarskih objektov in kmetijskih zemljišč, mora v splošnem jezovna zgradba vsake hidroelektrarne omogočati odvajanje stoletnih visokih voda na tak način, da ne pride do povišanja vodne gladine v gorvodni polovici akumulacijskega bazena glede na naravno stanje struge pred zajezitvijo. S stališča varnosti mora biti pri morebitnem pojavu tisočletne visoke vode izpolnjen še pogoj, da ne sme biti presežena nominalna zajezitvena gladina zgornje vode v pregradnem profilu.

V dosedanjih študijah je bil pretok s stoletno povratno dobo na območju gorvodno od sotočja treh rek ocenjen na $1800 \text{ m}^3/\text{s}$, dolvodno od omenjene ločnice pa na $2400 \text{ m}^3/\text{s}$, zato sem tudi sam izdelal simulacijo na osnovi teh podatkov, obenem pa sem pri posamezni hidroelektrani upošteval eno pretočno polje manj od predvidenih, saj obstaja realna možnost, da le-to v času pojava visokih voda ni v obratovanju (okvara, remont). Pri simuliranju pojava s tisočletno povratno dobo sem nad sotočjem Save, Ljubljanice in Kamniške Bistrice upošteval pretok velikosti $2140 \text{ m}^3/\text{s}$, pod njim pa $2760 \text{ m}^3/\text{s}$. Hkrati sem upošteval, da v času takšnega pojava delujejo vsa predvidena pretočna polja posameznih elektrarn.

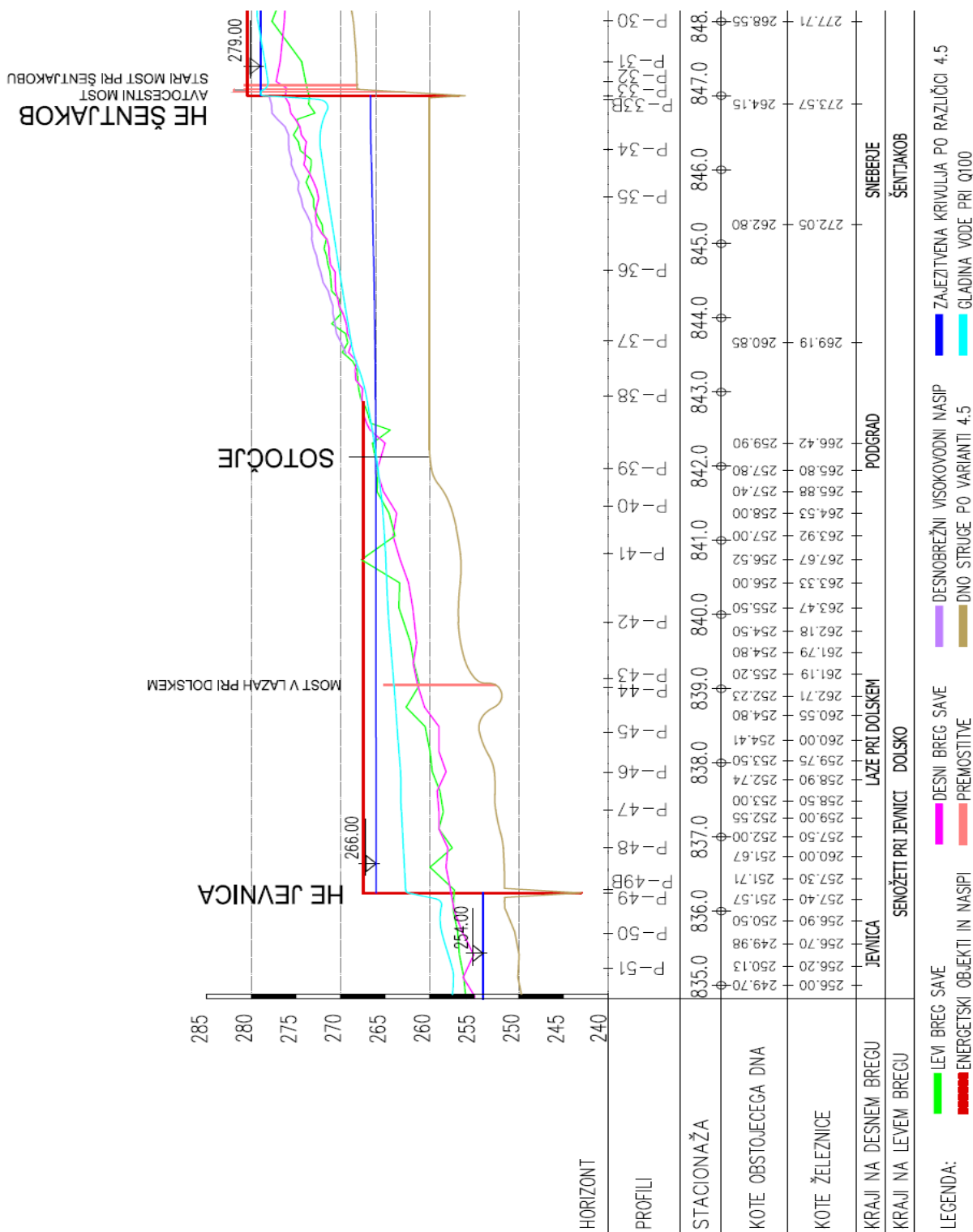
V naslednjem koraku sem s pomočjo programa AutoCAD vrisal prečna prereza pretočnih polj in strojnice obeh modificiranih hidroelektrarn v pripadajoča prečna prereza struge reke Save. Na ta način sem prišel do iskanih koordinat obrisa pretočnih polj in stebrov, ki sem jih nato s pomočjo funkcije inline structure vnesel v program HEC-RAS. Teme pretočnih pragov pri HE Šentjakob sem v modificirani verziji predvidel na koti 263,50 m.n.v, pri HE Jevnica pa na 251,10 m.n.v. Pri izračunu je upoštevan povprečen koeficient prelivanja za Creagerjev preliv, ki ima vrednost 0,48, program pa ga nato avtomatsko korigira glede na višino vstopnega roba preлива. Vpliv potopljenosti program tekom računa zajame z upoštevanjem dobljene kote gladine spodnje vode (vir: Četina, Zakrajšek, Sirnik, 2007). Za boljšo aproksimacijo razmer

pri pojavu ekstremno visokih voda ter večjo natančnost izračuna sem pri vsaki od elektrarn vnesel štiri dodatne prečne prereze ter jim omejil območje efektivnega pretoka na širino pretočne zgradbe. Poleg tega sem z vnosom prečnih prerezov od P-30 do P-32 in P-50 do P-52 v programu HEC-RAS omogočil približni prikaz poteka gladine visokih voda tudi na delu območja gorvodno od HE Šentjakob oziroma dolvodno od HE Jevnica. Kot dolvodni robni pogoj sem v profilu P-52 upošteval povprečen padec dna savske struge na obravnavanem območju, ki znaša 1,7 ‰.

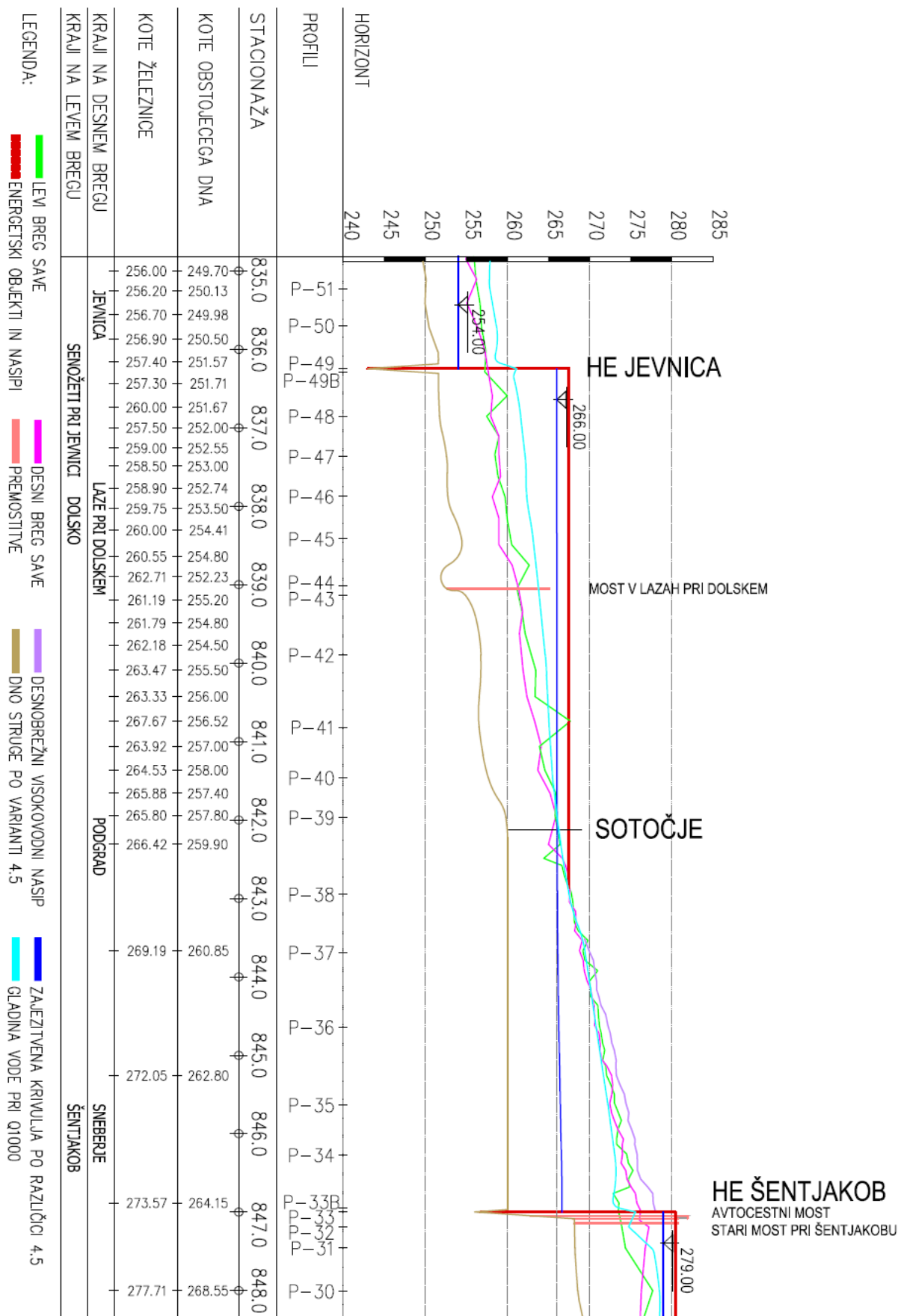
Po izvršenem izračunu sem prišel do vzdolžnega poteka gladin pri pojavu stoletne oziroma tisočletne visoke vode. Pri izračunu gladine stoletne vode sem upošteval delovanje le enega pretočnega polja na HE Šentjakob ter dveh pretočnih polj na HE Jevnica. Na sliki 55 je prikazana primerjava nivojev vodnih gladin vzdolž obravnavanega območja pri normalnem obratovalnem in stoletnem visokovodnem stanju. Razvidno je, da se na območju dolvodno od sotočja Save, Kamniške Bistrice in Ljubljance gladina stoletne vode nahaja pod siceršnjim obratovalnim nivojem. Tik ob HE Jevnica se ob odprtju dveh od treh razpoložljivih zapornic nivo stoletne vode vzpostavi na koti 262,68 m.n.v. Gladina vode je tako 3,32 m nižja kot v času normalnega obratovanja hidroelektrarne. Gorvodno od tod gladina stoletne vode razmeroma hitro narašča in v neposredni bližini sotočja doseže koto 266 m.n.v., kakršna je z modificirano različico 4.5 planirana ob normalnem delovanju jevniške hidroelektrarne. V zgornji polovici novega jevniškega akumulacijskega bazena nivo stoletne vode še naprej narašča in se ponekod povzpne tudi do 5,5 m nad standardno obratovalno gladino. Tik pod HE Šentjakob se gladina stoletne vode nahaja na koti 272,38 m.n.v., nad njo pa se raven stoletne vode vzpostavi na koti 278,43 m.n.v. Nivo stoletne vode se v zgornji polovici jevniške akumulacije na nekaterih odsekih sicer močno približa koti bregov, vendar le-teh nikjer ne prestopi. Na račun poglobitve dna savske struge gradnja dodatnih visokovodnih nasipov ni potrebna.

Pri računu gladine tisočletne visoke vode sem skladno z uveljavljeno prakso predpostavil delovanje vseh razpoložljivih pretočnih polj obravnavanih elektrarn. Kljub razmeroma velikemu povečanju vrednosti pretoka pride tik ob energetskih objektih na račun dodatnih razpoložljivih pretočnih polj celo do rahlega upada vodne gladine v primerjavi s predhodnim primerom. Gladina tisočletne vode ob HE Jevnica se vzpostavi na koti 261,1 m.n.v., kar je 1,3 m nižje od gladine stoletne vode pri zmanjšanem številu pretočnih polj ter 4,9 m nižje kot pri normalnem obratovanju elektrarne. Gorvodno od tod nivo tisočletne vode narašča hitreje kot nivo stoletne vode. Z obratovalnim nivojem se izenači že okrog 200 metrov pod sotočjem treh rek. V zgornji polovici jevniškega akumulacijskega bazena je gladina tisočletne vode mestoma tudi do 6,5 m višja od obratovalne. Posebej problematično je območje med

profiloma P-37 in P-38, kjer lahko voda celo prestopi bregove. Kot protiukrep je potrebna dodatna poglobitev struge ali pa sklenitev predvidenih energetskih nasipov z obstoječim visokovodnim nasipom. Tik pod HE Šentjakob doseže gladina tisočletne vode koto 273,54 m.n.v., nad omenjenim objektom pa se vzpostavi na koti 275,57 m.n.v.



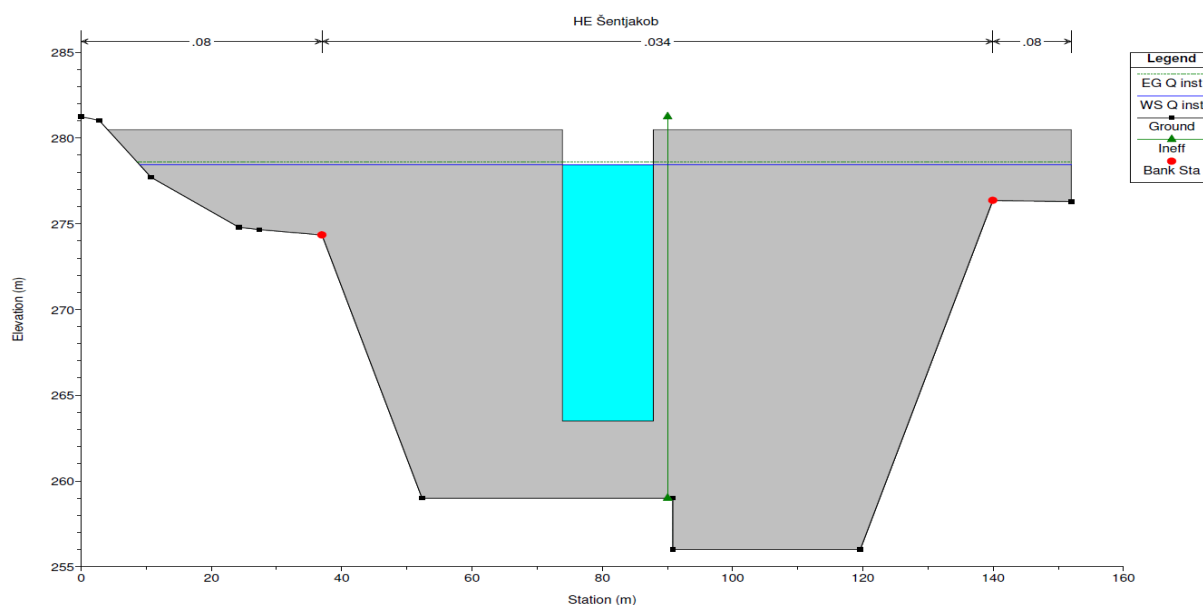
Slika 55: Prikaz poteka gladine stoletne visoke vode z upoštevanjem modificirane struge reke Save in N-1 delujočih pretočnih polj



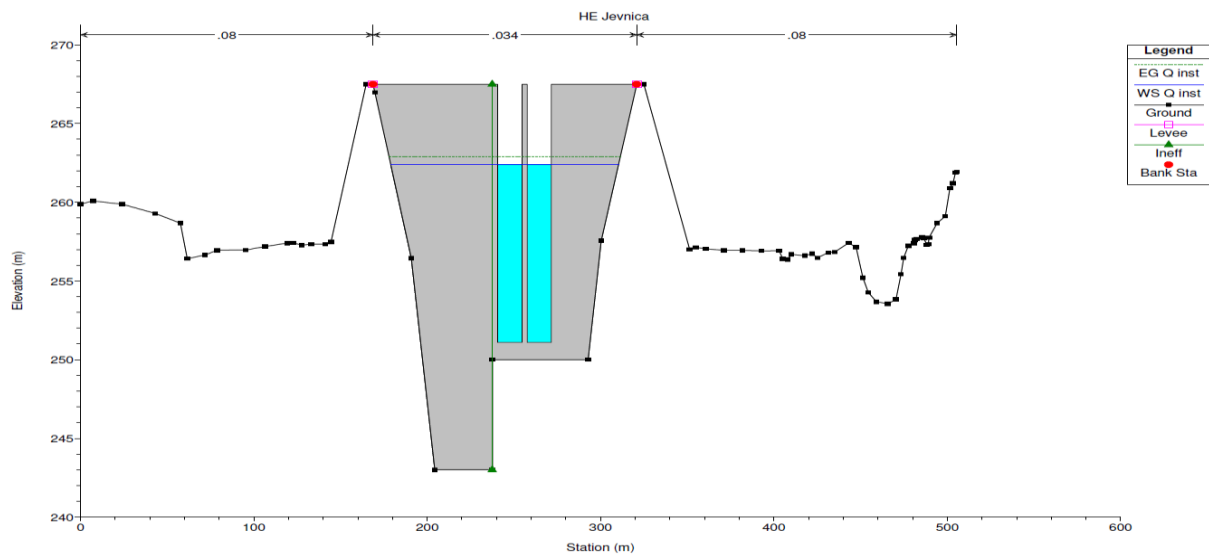
Slika 56: Prikaz poteka gladine tisočletne visoke vode z upoštevanjem modificirane struge reke Save in vseh razpoložljivih pretočnih polj

Z izračunom vzdolžnega poteka gladin sem hkrati prišel tudi do iskanih višin vodne gladine na modificiranih pretočnih poljih obeh hidroelektrarn. Na prelivnem pragu HE Šentjakob znaša kota vodne gladine pri pretoku s stoletno povratno dobo ob upoštevanju le enega delujočega pretočnega polja 278,43 m. Pri pretoku s tisočletno povratno dobo in upoštevanju obeh razpoložljivih pretočnih polj se gladina vode nahaja na višini 275,57 m. Gladina stoletne visoke vode na prelivnem pragu HE Jevnica se ob upoštevanju dveh od skupno treh pretočnih polj nahaja na koti 262,40 m, gladina tisočletne visoke vode ob upoštevanju vseh razpoložljivih polj pa se nahaja na višini 261,10 m. Prečni prerezi pretočnih objektov z vrisanimi nivoji vode so prikazani na slikah 57 – 60.

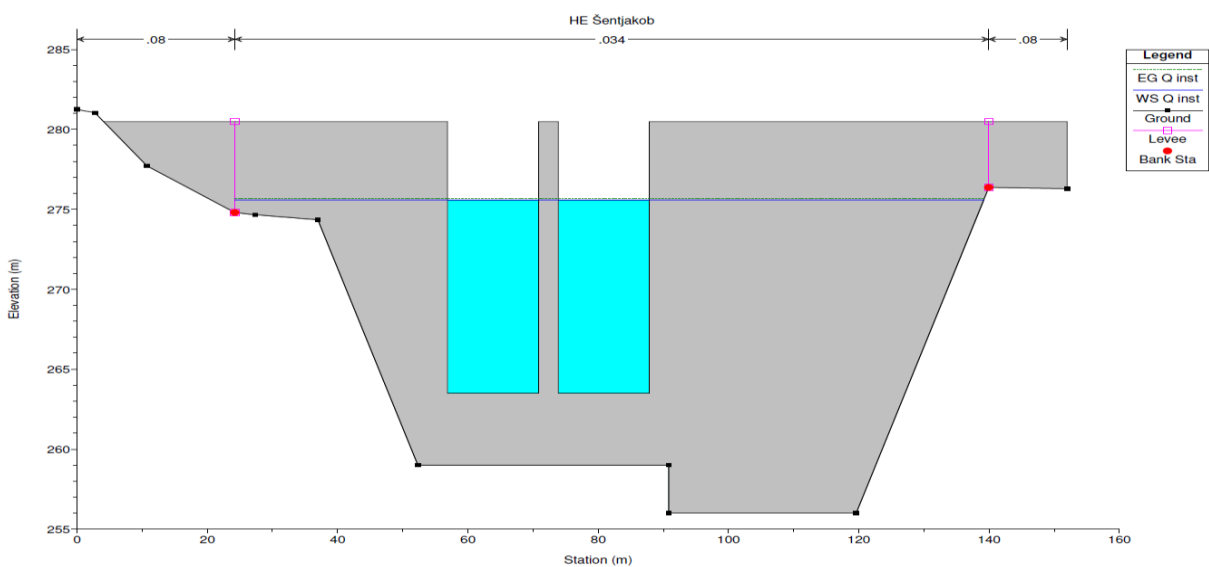
Dobljene višine gladin vode na posameznih pretočnih poljih so zgolj grobe ocene, saj je program HEC-RAS v osnovi namenjen računanju izrazito enodimenzionalnih tokov. Tik ob pregradnih objektih hidroelektrarn je navadno potrebna izvedba občutnih poglobitev in razširitev struge ter izgradnja raznih pomožnih objektov (ločilni zidovi med strojnico in prelivnim objektom, razbijači v podslapju, itd.), kar povzroči precejšnje motnje v toku, zato bi bila za natančnejše rezultate primernejša analiza s programom, ki upošteva tridimenzionalni tok (MIKE 11, Flow 3D). Tudi s kompleksnejšimi orodji dobljene rezultate je še vedno treba preveriti na fizičnem modelu pregradnih objektov.



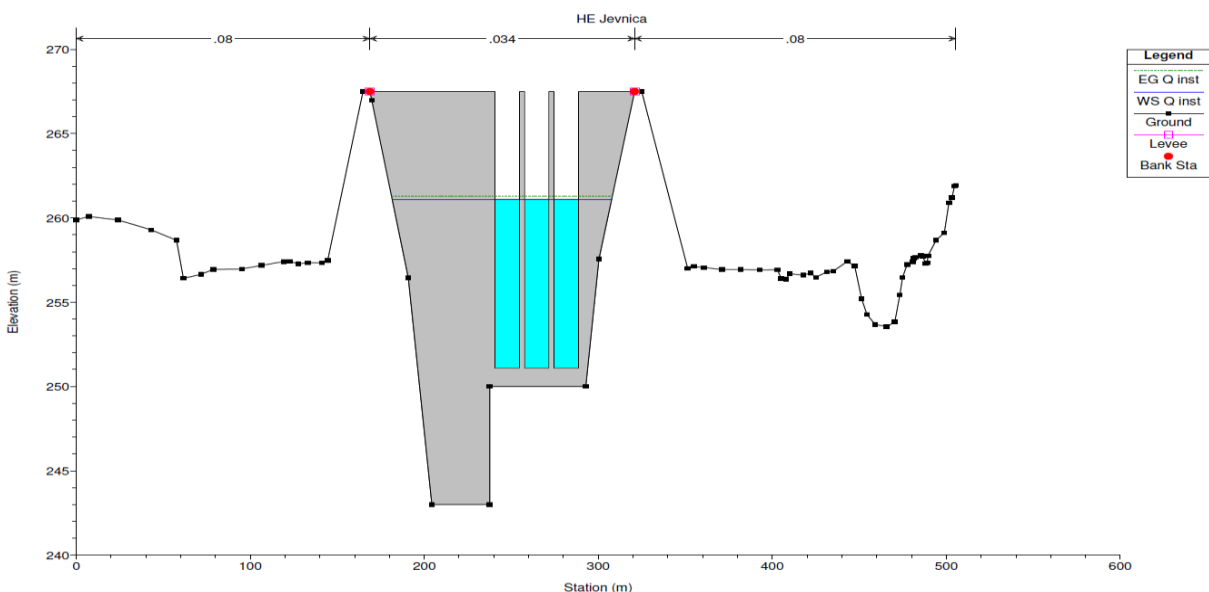
Slika 57: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Šentjakob pri pojavu stoletnih visokih voda



Slika 58: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Jevnica pri pojavu stoletnih visokih voda



Slika 59: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Šentjakob pri pojavu tisočletnih visokih voda



Slika 60: Prikaz stanja na pretočnih poljih HE Jevnica pri pojavu tisočletnih visokih voda

5.4 Stroškovna primerjava izhodiščne zasnove verige z modificirano različico

Elektrarne na srednji Savi zaradi razmeroma majhnih razpoložljivih padcev, zahtevnih gradbenih del in visokih investicijskih vložkov veljajo za relativno drage, zato igra stroškovna analiza posebej pomembno vlogo. Velik problem predstavlja tudi dokaj dolga povračilna doba začetnih investicij, ki po posameznih elektrarnah znaša od 11 pa vse do 35 let. Z izhodiščno varianto srednesavske verige so na obravnavanem območju med Šentjakobom in Jevnico predvidene tri hidroelektrarne. Iz študije UL FGG in podjetja Geateh je razvidno, da je skupni investicijski vložek za izgradnjo hidroelektrarn Šentjakob, Zalog in Jevnica ocenjen na okrog 211,5 milijonov evrov. Strošek prve je ocenjen na približno 61 milijonov evrov, kar jo uvršča med najcenejše objekte v verigi. To je zelo varljiv podatek, saj je zaradi razmeroma majhne nazivne moči ter s tem tudi skromne proizvodnje električne energije povračilna doba njenega začetnega vložka ocenjena na 29 let. Situacija pri HE Jevnica je ravno obratna. Višina investicije za ta objekt po izhodiščni zasnovi znaša 71,5 milijonov evrov, povratna doba pa je ocenjena na zgolj 16 let, kar to elektrarno uvršča med najdonosnejše v verigi. S stroškovnega vidika je daleč najbolj kritična zaloška hidroelektrarna. Višina njene investicije je namreč ocenjena na slabih 79 milijonov evrov, kar jo uvršča med najdražje objekte v verigi. Največji delež stroškov predstavljajo gradbena dela (63 %), kjer izstopata predvsem ureditev akumulacijskega bazena (29 %) ter izgradnja pregradnega objekta (23 %), stroški preostalih sklopov pa so enakomerneje porazdeljeni in se vrtijo med 11 % in 14 %. Povrhu vsega se HE Zalog z zgolj sedmimi metri bruto vodnega padca in 13,7 MW nazivne moči uvršča med proizvodno najšibkejše elektrarne v verigi, kar močno podaljšuje povračilno dobo začetnega vložka. Ta je najdaljša med vsemi energetskimi objekti s tega področja in je ocenjena na 32 do 35 let. Poleg zahtevne izvedbe gradbenih del in velikega okoljskega vpliva je bil ravno ta podatek eden od glavnih razlogov za preučitev alternativnih možnosti izkoriščanja vodnih moči na tem odseku (vir: Študija UL FGG in Geateh, 2007).

Predlagana modificirana različica 4.5, ki predvideva opustitev gradnje zaloške stopnje ter posledično povečanje moči HE Šentjakob ter Jevnica, se je v primerjavi z izhodiščno varianto s tremi energetskimi objekti na obravnavanem odseku z vidika proizvodnje električne energije že izkazala za boljšo opcijo. Kot je prikazano v poglavju 4, je modificirana zasnova bolj sprejemljiva tudi z okoljskega vidika, sploh na odseku Save med Šentjakobom sotočjem treh rek. Povrhu vsega se s predlagano različico izognemo tehnološko in izvedbeno zelo zahtevnim tesnilnim delom na območju Sneberškega proda in Beriških travnikov, hkrati pa si s predvideno izvedbo poglobljanja savske struge zagotovimo večji del materialov, ki so potrebni za izgradnjo nasipov. V kolikor bi se predlagana modificirana ureditev Save na

obravnavanem odseku izkazala za ugodnejšo tudi s stališča skupnih investicijskih stroškov, bi predstavljala povsem konkurenčno, če ne celo boljšo alternativo izhodiščni varianti.

Stroškovnik za predlagano modificirano različico verige sem izdelal na podlagi cen za bazne postavke iz leta 2007, ki sem jih vzel iz študije UL FGG in podjetja Geateh. Na ta način sem prišel do najrealnejše cenovne primerjave predlagane modificirane različice in že obdelane izhodiščne zasnove verige, saj je bila tudi ocena stroškov slednje dobljena na isti kalkulatívni osnovi. Pri izračunu stroškov gradbenih del modificirane različice verige sem izhajal na podlagi ocen, ki so bile leta 2007 v študiji UL FGG in Geateh podane za HE Šentjakob in HE Jevnica. Ker se ureditveni ukrepi nanašajo predvsem na območje, kjer sta bili po koncesijski oziroma izhodiščni varianti verige predvideni hidroelektrarni Zalog in Jevnica, sem predpostavil, da se stroški povezani z izgradnjo HE Šentjakob in ureditvijo njenega akumulacijskega bazena ne bodo bistveno razlikovali. Zaradi poglobitve strojnice in pretočnih polj bo sicer zagotovo prišlo do določenih podražitev, vendar le-te ne bi smele preseči 20 odstotkov vrednosti tedaj predvidenih gradbenih del.

Stroške gradbenih del, predstavljenih v poglavju 5.1, sem večinoma upošteval pri sestavi stroškovnika za modificirano različico HE Jevnica. Tudi tu sem izhajal iz ocen, ki so bile leta 2007 sestavljene na podlagi izhodiščne zasnove verige. Modificirana varianta jevniške elektrarne predvideva dvig kote zaježitve na višino 266 m, kar posledično povzroči številna dodatna dela, kot so na primer povišanje nasipov na koto 267,5 m, poglobitev struge na gorvodnem odseku akumulacije za zagotavljanje zadostnih količin materiala in preprečitev prevelikega dviga spodnje vode HE Šentjakob, urejanje izlivov manjših pritokov Save ter nadvišanje okoliškega terena na posebej ogroženih območjih.

Za natančnejšo opredelitev stroškov izvedbe sem na podlagi prečnih prereзов izbrane modificirane različice, ki so podani v prilogi D, s pomočjo programa AutoCAD pripravil predviden popis količin oziroma gradbenih del. Na območjih, kjer nisem imel razpoložljivih podatkov o prečnih prerezih, sem si pomagal s temeljnimi topografskimi načrti in interaktivnim atlasom okolja, zato gre na teh področjih za nekoliko bolj grobe ocene. Tako dobljeni popis količin sem nato primerjal s popisom, pripravljenim na osnovi izhodiščne variante verige. Vse presežne količine gradbenih del sem nato pomnožil s pripadajočimi cenami baznih postavk iz študije UL FGG in podjetja Geateh ter tako prišel do stroškov dodatnih del, potrebnih za izvedbo modificirane variante HE Jevnica.

Kot prvi korak pri vzpostavljanju nove ureditve na odseku med Šentjakobom in Jevnico sem predpostavil odkop humusa. Ta je potreben vzdolž celotne trase nasipov, poleg tega pa tudi

na nekaterih ozelenelih območjih, kjer je predviden izkop. Odstranitev humusa mora potekati postopoma, saj je v nasprotnem primeru na ogolelih površinah možna razrast invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst. Ker je bila bazna postavka za odkop humusnih plasti podana v enoti €/m³, sem za povprečno debelino humusne plasti predpostavil 50 cm. Po ceni spada omenjena postavka med ugodnejše, zato v stroškovniku ne igra ključne vloge, tako da zbiranje natančnih podatkov o globini humusa na tem območju ne bi imelo pravega pomena. S pomočjo problemske karte iz priloge C in prečnih prerezov savske struge iz priloge D sem ocenil, da je na obravnavanem ureditvenem območju potrebna odstranitev slabih 500000 m³ humusa. Material se mora deponirati v bližini gradbišča, saj bo kasneje koristno uporabljen pri humusiranju zračnih brežin energetskih nasipov.

Pri vzpostavljanju novega stanja na odseku Save med Šentjakobom in Jevnico sem kot naslednji izvedbeni korak predvidel poglobljanje savske struge. Slednje je večinoma omejeno na območje med Šentjakobom in Zalogom. Izjemo predstavljajo le odstranitev prodišč ob sotočju treh rek, odstranitev umetnega otoka v strugi Ljubljanice ter manjše oblikovne korekcije savske struge na območju med Podgradom in mostom v Lazah pri Dolskem. Tudi poglobljanje savske struge mora potekati postopoma, saj se bo tako pridobljeni material sproti vgrajeval v nasipe na dolvodnem koncu jevniške akumulacije. Celotna postavka je cenovno razdeljena na tri kategorije, ki so odvisne od zahtevnosti del oziroma kategorije izkopnega materiala. Zaradi skopih geoloških podatkov je v tej fazi nemogoče povsem natančno oceniti deleže izkopov III., IV. in V. kategorije, zato sem se tudi tu moral zadovoljiti le s približnimi ocenami. Na večini območja, kjer je predvideno poglobljanje struge, se po sedanjih predvidevanjih nahaja debela prodna plast. S stališča izkopnih del je to izjemno ugodno, saj je izkop proda enostaven, posledično pa je tudi cena teh del razmeroma nizka. Predpostavil sem, da izkop III. kategorije obsega 60 % celotnih izkopnih del. Na območju, kjer je predvidena HE Šentjakob, se prodna plast prične tanjšati, pod njo pa se nahajajo permske in karbonske klastične kamnine. Te so s stališča temeljenja relativno ugodne, manj zaželeno pa so z vidika izkopnih del. Plast karbonskih in permskih kamnin je namreč veliko težja za odstranjevanje. Tu je zato potrebno predvideti tudi pikiranje oziroma celo uporabo miniranja, kar pa močno podraži izvedbo. Ocenil sem, da izkop IV. kategorije predstavlja 30 % vseh izkopnih del. Najdražji je izkop V. kategorije, ki predstavlja preostalih 10 % izkopnih del. Skupno količino izkopnih del sem lahko z zadovoljivo natančnostjo ocenil iz prečnih prerezov, podanih v prilogi D. Največji problem pri tej postavki predstavlja nezanesljivost pri določitvi kategorij izkopa, saj predstavljata kategoriji IV in V šestkratnik oziroma sedemkratnik cene izkopa tretje kategorije.

Naslednji korak pri gradnji verige hidroelektrarn na obravnavanem odseku predstavlja gradnja nasipov. Zaradi kompleksnosti teh objektov je tu potrebno hkrati zajeti več postavk. Gradnja nasipov poleg nasipanja prodnega materiala vključuje tudi humusiranje zračne brežine in izvedbo skalometne obloge na vodni strani. Na krajših odsekih tik ob obeh elektrarnah, kjer so predvideni valjano-betonski nasipi, je potrebna razmeroma draga vgradnja betona. Najpomembnejšo in hkrati najdražjo postavko, ki jo zajema ta sklop gradbenih del, predstavlja tesnjenje. Vzdolž HE Jevnica je potrebno slabih 20 km nasipov, vso to dolžino pa je potrebno primerno zatesniti. Zaradi skopih podatkov o globini neprepustnih tal na obravnavanem območju predstavlja tesnjenje postavko, pri kateri so možna največja cenovna odstopanja. Že 1 m razlike v predvideni potrebni globini temeljenja lahko celoten projekt izgradnje podraži za več kot 4 milijone evrov. Za določitev vsaj kolikor toliko natančnega stroškovnika so torej pred začetkom izvedbe nujne dodatne geološke raziskave obravnavanega območja in natančna določitev globine neprepustnih tal.

Pri gradnji nasipov predstavlja nasipanje materiala količinsko največjo predpostavko, zato sem se odločil, da jo kot prvo podrobneje obdelam. V študiji UL FGG in podjetja Geateh je bilo upoštevano, da se večina nasipnega materiala dobavi z okoliških kamnolomov, zato je ta postavka razmeroma draga. Z modificirano različico to ni več potrebno, saj bo večina gradbenega materiala pridobljena v izkopih na območju med Šentjakobom in Zalogom, zato je realno pričakovati nekoliko nižjo ceno vgradnje. Pri izdelavi stroškovnika sem kljub vsemu upošteval polno ceno. Količino potrebnega materiala za nasipe vzdolž Save sem določil na podlagi prečnih prereзов iz priloge D, pri določanju količin za nasipe vzdolž Ljubljanice in Kamniške Bistrice pa sem si pomagal s temeljnim topografskim načrtom. Ugotovil sem, da je skupno potrebnih okrog 1470000 m³ nasipnih materialov, zato gre s stroškovnega vidika za eno večjih postavk.

Za zagotovitev ustrezne varnosti in stabilnosti brežin je na zračni strani nasipov potrebna izvedba humusiranja, na vodni strani postavitev skalometne obloge. Humusiranje predstavlja stroškovno eno najugodnejših postavk, zato nima bistvenega vpliva na končno ceno nove ureditve. Tudi po obsegu del ta postavka ne sodi med največje, saj je humusiranje potrebno le na okrog 160000 m³ površin. Poleg tega je na razpolago tudi del materiala, ki je bil odstranjen v sklopu priprave izkopnih in nasipnih del. Pri postavitvi skalometne obloge je situacija ravno obratna. Ker na gradbišču ni ustreznega gradbenega materiala za zaščito vodne strani nasipov, je potrebno organizirati dobavo z okoliških kamnolomov. Zaradi razmeroma velikih potreb lokalni kamnolomi ne bodo zmožni v celoti pokriti vseh potreb, zato je potrebno računati tudi na dobavo materiala s približno 40 km oddaljenega kamnoloma na Verdu, kar močno poveča stroške izvedbe. Skalometna obloga je predvidoma debela 50 cm,

poleg tega pa je potrebno vračunati še njeno peto. Skupna količina materiala tako znaša približno 290000 m³, cenovno pa ta postavka sodi med dražje.

Del nasipov, ki se nahaja tik ob hidroelektrarnah, je delno predviden v valjano-betonski izvedbi. Beton predstavlja v primerjavi s savskim prodom mnogo dražjo rešitev, vendar je zaradi specifičnih hidravličnih razmer ob energetskih objektih praktično edini sprejemljiv način izvedbe. Za zmanjšanje stroškov sem vodno brežino betonskega dela nasipa predvidel v naklonu 1:1, notranja brežina, ki meji na zemeljski del nasipa, pa je še nekoliko strmejša (razmerje 1:0,5). Za izgradnjo tega dela nasipov potrebujemo na obravnavanem območju skupno slabih 14000 m³ betona.

Glavno stroškovno postavko celotne modificirane različice predstavlja tesnjenje nasipov. Z modificirano zasnovo je tesnjenje predvideno z izvedbo tankostenske diafragme, saj je ta nekoliko cenejša od ostalih alternativnih možnosti. Kljub temu predstavlja tesnjenje glavno stroškovno postavko celotnega projekta. Zatesniti je potrebno dobrih 19 km nasipov vzdolž jevniskega akumulacijskega bazena. Povprečna globina tesnjenja je predvidena na 10 m, vendar gre le za približno oceno, že minimalno odstopanje od te vrednosti pa lahko povsem spremeni vrednost celotnih stroškov.

Z gradnjo nasipov bo hkrati potekalo tudi urejanje odtokov manjših pritokov Save na obravnavanem območju. Ureditev desnih pritokov ne predstavlja praktično nobenih težav, saj bodo vsi razmeroma enostavno priključeni v zbirni drenažni kanal, ki je predviden na zračni strani nasipa. Ta kanal bo speljan v spodnjo vodo reke Save. Več težav povzročajo levi pritoki. Ker se reka Sava v bližini HE Jevnica povsem približa prvim večjim vrhovom posavskega hribovja, tam namreč ni dovolj prostora za izvedbo zbirnega jarka. Potok Mlinščica ter dve od zaloških studenčnic je zato potrebno odvajati na drugačen način. Za ta primer sem izbral rešitev, ki za omenjene pritoke predvideva prečkanje savske struge s pomočjo t.i. obrnjenega sifona, od tam naprej pa bodo pritoki speljani v že omenjeni zbirni kanal. Sifonska ureditev predstavlja najboljši kompromis med ceno ter okoljsko sprejemljivostjo.

Morebitni presežki izkopnega materiala ter material slabše kakovosti so predvideni za izvedbo nadvišanja območja, ki je ukleščeno med nasipe ob Savi in Ljubljani. Gre za razmeroma majhno območje. Poleg tega je tudi višina nadvišanja terena razmeroma nizka, saj le redkokje preseže 1 m. S tem ukrepom se prepreči zamočvirjenje zemljišč ter poveča varnost pred njihovo preplavitvijo. Kljub temu, da je izvedba teh del razmeroma komplicirana, pa zaradi majhnega obsega nadvišanja ne predstavlja večje postavke v projektu.

Natančen stroškovnik gradbenih del, povezanih z izvedbo modificiranega akumulacijskega bazena HE Jevnica, je prikazan v spodnji preglednici. Z nje je razvidno da skupni strošek ureditve bazena znaša slabih 70 milijonov evrov. Ta številka še ne predstavlja končne cene projekta, saj moramo za realno primerjavo modificirane in izhodiščne variante zajeti tudi stroške, povezane z izgradnjo modificiranih pregradnih objektov HE Jevnica ter HE Šentjakob, z ureditvijo šentjakobske akumulacije ter z nabavo strojne, elektro in hidromehanske opreme. Izdelava stroškovnika za te postavke je prikazana v nadaljevanju.

Vrsta gradbenih del	Količina del	Cena [€/enota]	Strošek del	Opombe
Odkop humusa [m ³]	497178	1.19	591642.2167	Predpostavljena globina humusa 50 cm
Izkop III. kat. [m ³]	788968	1.31	1033548.342	Predpostavljen delež materiala III. kat. 60 %
Izkop IV. kat. [m ³]	394484	6	2366904.6	Predpostavljen delež materiala IV.kat. 30 %
Izkop V. kat. [m ³]	131495	7	920462.9	Predpostavljen delež materiala V. kat. 10 %
Zasip [m ³]	153005	15	2295075	Upoštevana povprečna debelina zasipanja 1 m
Nasip [m ³]	1472754	12	17673048	Upoštevana polna cena vgradnje nasipnega materiala
Humusiranje nasipov [m ²]	159138	1.57	249846.66	Humusiranje krone in zračne plasti nasipov
Skalomet [m ³]	292778	17.28	5059195.2	Predpostavljena debelina 50 cm
Beton [m ³]	13616	84	1143744	Upoštevano le za količine, povezane z betonskimi nasipi
Tankostenska diafragma [m ²]	192770	159	30650430	Upoštevana povprečna globina tesnjenja 10 m
Izvedba sifona [/]	3	500000	1500000	Groba ocena
Nepredvidena dela [%]	10 %	10 % končne cene	6264724	10 % končne vrednosti gradbenih del
SKUPNI STROŠEK UREDITVE JEVNIŠKEGA BAZENA:			69748621	

Preglednica 5: Ocena stroškov gradbenih del, povezanih z ureditvijo jevniškega akumulacijskega bazena po modificirani različici 4.5

Preostala gradbena dela v sklopu izvedbe HE Jevnica obsegajo še ureditev gradbene jame, nekaj dodatnih zemeljskih del ob pregradnem objektu, izgradnjo strojnice ter jezovne zgradbe in ureditev dotočno-iztočnega dela ter platojev strojnice. H gradbenim delom lahko uvrstimo tudi strošek investicijskih vlaganj, ki ni nezanemarljiv, upoštevati pa je potrebno še morebitna dodatna nepredvidena dela. Slednja ponavadi znašajo 10 odstotkov končne vrednosti del. Pri določanju stroškov modificirane različice HE Jevnica sem si pomagal s cenitvami, ki so bile v študiji UL FGG in podjetja Geateh opravljene za izhodiščne variante. Ker pride na omenjeni elektrarni po novi zasnovi do dokaj izrazitega dviga nivoja zaježitve, izhodiščna cenitev tega objekta ne opisuje več realnih razmer. Pri izdelavi stroškovnika modificirane različice jevniške elektrarne sem si zato pomagal s kombiniranjem stroškovnikov referenčnih objektov, po katerih sem tudi zasnoval novo strojnico oziroma pretočna polja. Zgledoval sem se predvsem po HE Suhadol, saj je tam predvidena podobna zaježitvena višina, hkrati pa ima ta elektrarna tudi enak instaliran pretok kot HE Jevnica. Delno sem si pomagal tudi s stroškovnikoma HE Trbovlje in HE Renke. Pri omenjenih referenčnih objektih so povsod predvidene vertikalne turbine, ki so po modificirani zasnovi možne tudi na HE Jevnica oziroma HE Šentjakob, vendar sem se zaradi nižanja stroškov pri teh dveh objektih vseeno odločil za vgradnjo horizontalnih cevni turbini. Slednje so namreč

tudi do 30 % cenejše od vertikalnih, kar sem upošteval tudi pri pripravi stroškovnika. Približna ocena stroškov investicijskih vlaganj in gradbenih del na javniški jezovni zgradbi je podana v preglednici 6.

Investicijska vlaganja	Zemeljska dela	Strojnica	Jezovna zgradba	Natočni in iztočni del	Platoji	Gradbena jama	Nepredvidena dela	Skupaj
9.333.000 €	309.000 €	6.752.900 €	4.890.000 €	306.000 €	243.000 €	6.885.000 €	2.871.890 €	31.590.790 €

Preglednica 6: Približna ocena stroškov izgradnje modificirane jezovne zgradbe HE Jevnica

Kot referenčni objekt za oceno stroškov strojne, elektro in hidromehanske opreme na modificirani verziji HE Jevnica sem zaradi podobnosti glede nazivne moči, števila pretočnih polj, bruto vodnega padca in instaliranega pretoka izbiral med HE Suhadol, HE Trbovlje in HE Renke. Po študiji UL FGG in podjetja Geateh iz leta 2007 znaša predvidena cena celotne opreme na HE Renke 40,5 milijonov evrov, na HE Trbovlje 40 milijonov evrov, na HE Suhadol pa dobrih 41 milijonov evrov. Da bi bil glede višine stroškov na varni strani, sem pri sestavi stroškovnika za modificirano različico HE Jevnica večinoma privzemal dražje od razpoložljivih postavk. Izjema je le elektro oprema, saj HE Suhadol po nazivni moči preveč izstopa, tako da sem tu upošteval dražje izmed postavk pri HE Trbovlje, HE Renke in izhodiščni varianti HE Jevnica. Stroškovnik strojne, elektro in hidromehanske opreme za modificirano HE Jevnica je prikazan v spodnji preglednici.

Elektro oprema						Strojna oprema			Hidromehanska oprema		Vsi stroški
Transformator	Generator	Stikališče	Sekundarna oprema	Informacijska tehnologija	VN kabel	Dvigalo v strojnici	Turbine	Montaža	Prelivna polja	Strojnica	Skupaj
715.000 €	7.100.000 €	440.000 €	1.800.000 €	1.100.000 €	1.343.000 €	525.000 €	11.000.000 €	2.200.000 €	9.125.000 €	5.168.000 €	40.516.000 €

Preglednica 7: Približna ocena stroškov opreme modificirane različice HE Jevnica

K zgoraj predstavljenim izdatkom moramo prišteti še stroške, povezane z izgradnjo HE Šentjakob in ureditvijo njene akumulacije. Ker modificirana različica 4.5 z ničimer ne posega na območje nad šentjakobskim pregradnim objektom, sem predpostavil, da ostanejo stroški ureditve akumulacijskega bazena enaki kot v izhodiščni zasnovi. S študijo UL FGG in podjetja Geateh so bili ti ocenjeni na dobrih 13 milijonov evrov. Zaradi poglobitve struge na sami lokaciji jezovne zgradbe so na pogonskem objektu in pretočnih poljih šentjakobske elektrarne potrebne določene prilagoditve. Pretočna polja sem zasnoval po zgledu HE Blanca, vendar za ta objekt nisem imel na voljo stroškovnika. Izdatke za gradnjo in nabavo hidromehanske opreme sem zato privzel iz srednjesavskih objektov s podobnimi karakteristikami kot jih ima modificirana različica HE Šentjakob. Stroški, povezani z gradbenimi deli na HE Šentjakob, so predstavljeni v preglednici 8, izdatki v zvezi z nabavo strojne, elektro in hidromehanske opreme pa v preglednici 9.

Investicijska vlaganja	Zemeljska dela	Strojnica	Jezovna zgradba	Natočni in iztočni del	Platoji	Gradbena jama	Ureditev akumulacije	Nepredvide na dela	Skupaj
7.954.000 €	399.000 €	4.124.000 €	3.562.000 €	260.000 €	243.000 €	3.375.000 €	13.290.000 €	3.207.000 €	36.414.000 €

Preglednica 8: Približna ocena stroškov izgradnje modificirane jezovne zgradbe HE Šentjakob

Elektro oprema						Strojna oprema			Hidromehanska oprema		Vsi stroški
Transformator	Generator	Stikalnišče	Sekundarna oprema	Informacijska tehnologija	VN kabel	Dvigalo v strojnici	Turbine	Montaža	Prelivna polja	Strojnica	Skupaj
715.000 €	5.700.000 €	440.000 €	1.800.000 €	1.100.000 €	820.000 €	600.000 €	9.600.000 €	1.920.000 €	4.955.000 €	3.606.000 €	31.256.000 €

Preglednica 9: Približna ocena stroškov opreme modificirane različice HE Šentjakob

5.5 Zaključna primerjava izhodiščne in modificirane različice

Če seštejemo vse postavke iz predhodnega poglavja, dobimo oceno celotnih stroškov izvedbe predlagane različice verige. Končna cena ureditve odseka med Šentjakobom in Jevnico skupaj z izgradnjo istoimenskih hidroelektrarn je ocenjena na približno 209,5 milijonov evrov. Po ekonomski plati predstavlja modificirana različica 4.5 v primerjavi z izhodiščno varianto investicijo istega ranga. Varianta 4.5 se izkaže celo za nekoliko ugodnejšo, saj je njen začetni investicijski vložek po trenutnih predvidevanjih za približno dva milijona evrov nižji. Ob tem velja poudariti tudi dejstvo, da od predstavljenih alternativnih možnosti izkoriščanja vodnega padca na tem odseku reke Save ravno modificirana različica 4.5 predvideva največjo količino zemeljskih del. Z izbiro katere od drugih predstavljenih alternativ bi lahko na račun nekoliko manjše proizvodnje električne energije stroške gradbenih del še dodatno znižali.

V prid podrobno obdelane modificirane zasnove govori tudi dejstvo, da je z njo možno zagotoviti za 5,4 MW večjo nazivno moč verige srednjesavskih elektrarn. To pomeni, da z modificirano zasnovo HE Šentjakob in HE Jevnica v celoti pokrijemo izpad HE Zalog, za nameček pa dodatno pridelamo še približno 40 % nazivne moči zaloške elektrarne, kar ni nezanemarljiva številka. Z novo zasnovo je na obeh modificiranih elektrarnah možna tudi vgradnja vertikalnih turbin, ki so bolj zaželene s stališča kritja potreb elektroenergetskega sistema. Vgradnja tega tipa turbin bi projekt podražila preko okvirjev izhodiščne zasnove, zato sem se raje odločil za izvedbo horizontalnih cevni turbin.

Modificirana različica 4.5 je ugodnejša tudi z izvedbenega stališča. Njena največja prednost je v tem, da se v celoti izognemo gradnji zaloškega objekta, kar lahko močno skrajša končni izvedbeni rok. S tem se tudi v veliki meri izognemo zapletenim tesnilnim delom vzdolž Sneberškega proda in Beriških travnikov. Zaradi predvidene poglobitve struge imamo v

zgornji polovici nove jevniške akumulacije na razpolago veliko večino nasipnega materiala. Dobava gradbenega materiala z bližnjih kamnolomov bo zato precej manjša, s tem pa bodo manj obremenjene tudi lokalne prometnice.

Predlagana modificirana zasnova je v večini primerov boljša tudi z okoljskega vidika. Kot je bilo prikazano v poglavju 4 je njen vpliv na zaščiteno območje sotočja treh rek mnogo manjši. Tu je namreč predvidena le izgradnja razmeroma nizkih zemeljskih nasipov, ki bodo v popolnosti ohranjali današnjo konturo sotočja. Njihova zračna stran je zatravljena, zato se bodo nasipi sčasoma povsem zlili z okoljem. Na njihovi kroni je možno izvesti tudi sprehajalne poti, ki bodo predstavljale dodano vrednost temu prostoru. Z modificirano različico 4.5 je v mnogo manjši meri prizadeto tudi območje gorvodno od sotočja Save, Kamniške Bistrice in Ljubljanice. Na večjem delu tega območja je namreč potrebna zgolj poglobitev struge. Ta je zasnovana tako, da se navzven z izjemo upada nivoja vode ukrep sploh ne bo opazil. Rahla razširitev struge je potrebna le na območju tik ob HE Šentjakob. Vpliv nove ureditve na naravno dediščino dolvodno od sotočja treh rek ostaja praktično enak kot pri izhodiščni varianti. Edini večji problem, ki ga modificirana zasnova 4.5 vnaša v okolje, je vpliv dviga nivoja zaježitve pri HE Jevnica na iztočni del reke Ljubljanice. Reka Ljubljanica je bila v preteklosti že večkrat regulirana, zato je njen padec na izlivnem delu zelo majhen. To pomeni, da bo vpliv dviga vode na jevniški elektrarni segal razmeroma globoko v njeno zaledje in bo med drugim prizadel tudi mrtvico v bližini naselja Podgrad. Naravne razmere prizadenejo tudi nasipi, ki so vzdolž levega in desnega brega Ljubljanice v modificirani zasnovi predvideni vse do prvih urbaniziranih površin v Zalogu.

V kolikor bi se izkazalo, da je zaradi prevelikega okoljskega vpliva na reko Ljubljanico, obsežnih zemeljskih del, zahtevnih tesnilnih del ali kakšnega drugega razloga neprimerna za izvedbo, je na razpolago še nekaj zanimivih alternativ. Po energetski plati se sicer nobena izmed njih ne more primerjati z detajlno obdelano različico 4.5, vseeno pa lahko vodijo do izboljšanja situacije z drugih vidikov. Na podlagi podatkov iz preglednice 3 bi se splačalo preučiti predvsem tretji sklop modifikacij, ki predvideva gladino zgornje vode pri HE Jevnica na 265 m.n.v. Poleg manjšega okoljskega vpliva na reko Ljubljanico je ta skupina zasnov zanimiva tudi z izvedbenega stališča, saj ponuja najboljšo izravnavo med izkopnimi in nasipnimi materiali. Obenem modificirane različice iz tretjega sklopa v primerjavi z izhodiščno zasnovo še vedno zagotavljajo določen presežek nazivne moči verige.

6.0 ZAKLJUČEK

Z izgradnjo HE Šentjakob, HE Zalog in HE Jevnica po zasnovi iz študije UL FGG in podjetja Geateh se praktično celoten odsek Save med naseljema Šentjakob in Jevnica obda z razmeroma visokimi nasipi, ki glede na ravninsko okolico močno izstopajo in s tem kazijo naravni izgled krajine. Tudi kota gladine vode znotraj jevniške in zaloške akumulacije po večini območja poteka nad sedanjim nivojem vode, zato se precej spremenijo tokovne razmere podtalnice Ljubljanskega polja. To lahko posebej na območju Zaloga povzroči težave s kvaliteto pitne vode, zagotavljanjem normalne vodooskrbe, stabilnostjo globoko podkletenih objektov in kmetijstvom. Nove razmere bodo med drugim uničile tudi življenjsko okolje številnih ogroženih živalskih in rastlinskih vrst s tega območja. Enega največjih problemov okoljske različice verige na odseku med Šentjakobom in Jevnico predstavlja tehnična zahtevnost ter nizka donosnost zaloške stopnje. V poglavju 3 sem prikazal, da je razmerje med investicijskim stroškom in nazivno močjo pri HE Zalog mnogo višje kot na preostalih hidroelektrarnah na srednji Savi. V nadaljevanju sem zato preveril osnovne lastnosti alternativnih zasnov, ki na račun poglobitve HE Šentjakob in nadvišanja HE Jevnica opuščajo zaloško stopnjo.

Za detajlnejšo obravnavo sem izbral različico, ki je z vidika obsega zemeljskih del sicer najobsežnejša, vendar daje tudi najboljše rezultate v smislu nazivne moči HE Šentjakob in HE Jevnica ter s tem poveča donosnost omenjenih hidroelektrarn. Na ta način je namreč možno z le dvema hidroelektrarnama zagotoviti 60,7 MW nazivne moči, kar je za 5,4 MW več kot pri okoljski varianti kljub temu, da so pri slednji predvidene tri hidroelektrarne. Poleg tega je pri modificirani verziji zasnove verige predvidena izravnava izkopnega in nasipnega materiala dokaj zadovoljiva, saj znaša razlika med enim in drugim tipom le slabih 160000 m³ medtem, ko bi bilo pri izhodiščni zasnovi iz študije UL FGG in podjetja Geateh potrebno velik del nasipnega materiala dobaviti iz okoliških kamnolomov. Na območju, kjer je po okoljski varianti predvidena zaloška akumulacija, je po modificirani verziji verige vpliv gradbenih del veliko manjši. Na večjem delu tega odseka nasipi namreč sploh niso potrebni, na preostalem območju pa so dokaj nizki, saj njihova višina le redko preseže dva metra. Poleg tega je projektirana kota gladine vode v modificirani jevniški akumulaciji na območju Zaloga bolj podobna sedanjemu stanju, zato gre pričakovati manj težav z dvigom nivoja podtalnice. Posledica tega je tudi ohranitev zadovoljivih razmer na okoliških kmetijskih zemljiščih ter večja varnost starejših in globoko temeljenih objektov v bližini. Modificirana ureditev odseka med Šentjakobom in Jevnico je malenkostno boljša tudi s stroškovnega vidika, saj je za približno dva milijona evrov cenejša od izhodiščne variante.

Predlagana zasnova verige ima v primerjavi z izhodiščno varianto tudi svoje negativne strani. Najočitnejšo predstavljajo tri metre višji nasipi na spodnjem delu jevniške akumulacije. Ti bodo zasedli več prostora in dodatno oteževali vzdolžno povezanost reke Save z njenim zaledjem. Visoki nasipi med drugim onemogočajo normalno izlivanje manjših pritokov v reko Savo, zato so na nekaterih mestih (zaloški studenčnici) potrebne dokaj kompleksne rešitve. Izliv potoka Mlinščica in dveh zaloških studenčnic je po modificirani varianti verige s pomočjo sifonskih ureditev speljan v zbiralni kanal vzdolž desnobrežnega nasipa. Ta se izliva v spodnjo vodo HE Jevnica. V isti kanal so speljani tudi vsi preostali manjši desni pritoki reke Save na odseku med sotočjem treh rek in naseljem Jevnica. Slabša stran modificirane variante HE Jevnica je tudi vpliv njene zajezitve na spodnji tok Kamniške Bistrice in Ljubljanice. Sploh vzdolž slednje bodo potrebna razmeroma obsežna dodatna dela, saj mora tu nasip potekati vse do prvih urbaniziranih površin v Zalogu, hkrati pa je z ukrepom preplavljena tudi mrtvica v bližini Podgrada.

Upoštevajoč prednosti in slabosti izhodiščne in modificirane različice odseka med Šentjakobom in Zalogom lahko ugotovimo, da slednja predstavlja povsem adekvatno, če ne celo boljše alternativo prvi. Na račun opustitve izvedbeno zahtevne, drage ter slabo donosne HE Zalog lahko preuredimo sosednja energetska objekta tako, da celo za 5,4 MW povečamo skupno nazivno moč verige. Poleg tega se ta rešitev izkaže tudi za nekoliko cenejšo, saj lahko prihranimo približno dva milijona evrov. Del teh prihrankov se lahko nameni iskanju in izvedbi čim bolj ustreznih omilitvenih ukrepov na območjih, ki bi bili z izgradnjo HE Jevnica oziroma HE Šentjakob najbolj prizadeti. Za ta denar bi bilo prav tako mogoče urediti ustrezne nadomestne habitate ogroženim rastlinam in živalim, kar bi naredilo modificirano zasnovo verige na obravnavanem odseku bolj sprejemljivo tudi z okoljskega vidika.

Vsekakor bi bilo potrebno z izgradnjo hidroelektrarn na srednji Savi začeti čim prej, saj smo z odlašanjem izvedbe tega projekta po nekaterih ocenah do sedaj izgubili že preko 810 milijonov evrov. Z drugimi besedami lahko rečemo, da bi se danes srednjesavska veriga po ekonomski plati že skoraj v celoti povrnila, če bi se šlo v izvedbo projekta skladno s prvotnimi načrti (vir: Jakomin, 2011).

VIRI

Agencija republike Slovenije za okolje. 2011. Podnebne spremembe.

<http://www.arso.gov.si/podnebnne%20spremembe/vpra%C5%A1anja%20in%20odgovori/>
(Pridobljeno 21.1.2012.)

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2012. Atlas okolja
gis.arso.gov.si/atlasokolja/ (Pridobljeno 3.2. 2012.)

Aqua – Media International Ltd. The International Journal on Hydropower and Dams –
Special Issue HYDRO 2008: Progressing World Hydro Development. 2008. Volume Fifteen.
Issue 5: 180 str.

Božič, M. 2007. Izvedba del na odvodnem kanalu HE Zlatoličje. Glasilo občine Starše, 47:
12–13.

Bureau of Reclamation. 1987. Design of Small Dams. A Water Resources Technical
Publication. Washington DC, United States Department of the Interior: 860 str.

Četina, M., Zakrajšek, M., Sirnik, N. 2007. Hidravlični model gladin v sedanjem in bodočem
(zajezenem) stanju za odsek srednje Save med HE Medvode in HE Vrhovo ter v fazi
izgradnje. Končno poročilo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 25 str.

Dravske elektrarne Maribor. 2005. Priložnostna brošura ob zaključku prenove gornjedravskih
elektrarn.

<http://www.dem.si/slo/elektrarneinproizvodnja/prenovagornjedravskihilektrarn> (Pridobljeno
5.9.2012.)

Energetska izraba Save od Medvod do Mokric. 1979. Ljubljana, Inženirski biro Elektroprojekt,
podjetje za projektiranje in inženiring p.o. (IBE p.o): loč. pag.

Energetski zakon. Uradni list RS št. 27/2007: 33–60.

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Geateh. 2007. Študija UL FGG in podjetja Geateh. Mape 1 – 5. Predinvesticijska študija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

Geodetska družba. 2011. Komasačija kmetijskih zemljišč.
<http://www.gdl.si/komasacija-kmetijskih-zemljisc> (Pridobljeno 28.3.2012.)

Gubina, F. 2000. Zahteve elektroenergetskega sistema v pogojih trga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko: 16 str.

HESS d.o.o. 2010. Prehod za vodne organizme na HE Blanca. Kratek opis. Brežice.
<http://www.he-ss.si/pdf/kratek-opis.pdf> (Pridobljeno 12.10.2012)

Jakomin, M. 2011. Na Savi izgubili že 810 milijonov evrov. Naš stik - revija slovenskega elektrogospodarstva.
<http://www.nas-stik.si/1/Novice/Clanki/tabid/208/ID/299/Na-Savi-izgubili-ze-810-milijonov-evrov.aspx> (Pridobljeno 20.3.2012.)

Janežič, M. 2011. Veriga/e HE na reki Savi.
http://www.mreza.zotks.si/data/upload/Matjaz_Janezic.pdf (Pridobljeno 4.2.2012.)

Juran, V., Naglič, M. 2008. Pregradni objekti na porečju reke Sore - vpliv na migracijo rib in ekološko sprejemljiv pretok. Varstvo narave, 21: 105–122.

Kestnar, K. 2012. Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kestnar): 50 f.

Kostak Krško. 2009. Ribja steza na hidroelektrarni Blanca.
<http://www.eposavje.com/arhiv/gospodarstvo/2831-ribja-steza-hidroelektrarna-he-blanca.html>
(Pridobljeno 10.10.2012.)

Kryžanowski, A. 2000. Problematika vključevanja pregrad in hidroenergetskih objektov v prostor. Savske elektrarne Ljubljana: 5 str.

Kryžanowski, A. 2011. Hidrotehnični objekti. Neobjavljeno študijsko gradivo. Prosojnice s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

- Kryžanowski, A. 2011. Vodne moči. Neobjavljeno študijsko gradivo. Prosojnice s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.
- Kryžanowski, A., Horvat, A., Brilly, M. 2008. Možnosti izkoriščanja energetskega potenciala v Sloveniji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 10 str.
- Kryžanowski, A., Tomšič, L., Stojčič, Z., Brilly, M. 2006. Hidroelektrarne na srednji Savi. 17. Mišičev vodarski dan, december 2006: 4 str. Osebna komunikacija. (10.9.2012.)
- Kryžanowski, A., Vlašič, D., Sternad, E., Markovič, M., Planinc, I. 2008. Uvajanje informacijskega sistema kot podpora pri odločanju pri umeščanju HE v prostor. Goljevščkov spominski dan, marec 2008: 14 str. Osebna komunikacija. (10.9.2012.)
- Kryžanowski, A., Mikoš, M., Brilly, M. 2011. Hidroelektrarne na srednji Savi. Ali se res lahko pri proizvodnji lastne energije iz obnovljivih virov zlahka odpovemo gradnji novih vodnih elektrarn? Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 3 str.
- Kryžanowski, A., Rosina, J. 2012. Izraba vodnih sil v Sloveniji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 15 str.
- Ministrstvo za okolje. 2012. Rastline – invazivne tujerodne vrste.
http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/narava/invazivne_tujerodne_vrste_rastlin_in_zivali/rastline_invazivne_tujerodne_vrste/ (Pridobljeno 1.3.2012.)
- Povž, M., Kryžanowski, A. 2005. Ribje steze kot naravovarstven ukrep za ohranjanje biodiverzitete v reki Savi – Slovenija. Prispevek v zborniku. V: Kryžanowski, A. (ur.) in Sedej, A. (ur.). Tehnična in okoljska problematika gradnje verige HE na spodnji Savi. Zbornik prispevkov. 7. posvetovanje SLOCOLD. April, 2005. Sevnica: 65–76.
- Rajh, D., Dobnikar, V., Milič, J. 2002. Gradbeni vidik posodobitve objektov hidroelektrarn na reki Dravi. Prispevek v zborniku. V: Kryžanowski, A. (ur.) in Širca, A. (ur.). Tehnologije v pregradnem inženirstvu – novejša izvedbena dela na slovenskih pregradah. Zbornik prispevkov. 4. posvetovanje SLOCOLD. Junij, 2002. Fala: 59-76.

Rejec Brancelj I., Smrekar A., Kladnik D. 2005. Podtalnica Ljubljanskega polja. 251 str.
<http://books.google.si/> (Pridobljeno 15.2.2012.)

Regionalna razvojna agencija – Ljubljanska urbana regija. 2007. Predlog ureditve sotočja
Save, Kamniške Bistrice in Ljubljanice.
<http://www.rralur.si/> (Pridobljeno 1.4.2012.)

Resolucija o Nacionalnem energetskega programu. Uradni list RS št. 57/2004: 18–79.

Savske elektrarne Ljubljana, d.o.o. 2012. Večnamenska raba hidroelektrarn.
<http://www.sel.si/?p=4&s=5> (Pridobljeno 26.3.2012.)

Steinman, F., Banovec, P. 2008. Hidrotehnika. Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v
Ljubljani, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 147 str.

Šimic, J. 2006. Uporaba valjanih betonov za nasipe. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v
Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Šimic): 87 f.

Tianjin Tianfa Heavy Machinery & Hydro Power Equipment Manufacture Co., Ltd. 2012.
<http://www.made-in-china.com/showroom/tianfa2011/offer-detailBqfJTwdAXHUS/Sell-Bulb-Water-Turbine-Generator.html> (Pridobljeno 5.5.2012.)

Urbančič, A. in sod., 2011. Osnutek predloga Nacionalnega energetskega programa
Republike Slovenije za obdobje do leta 2030. Ljubljana, Institut Jožef Stefan. 210 str.

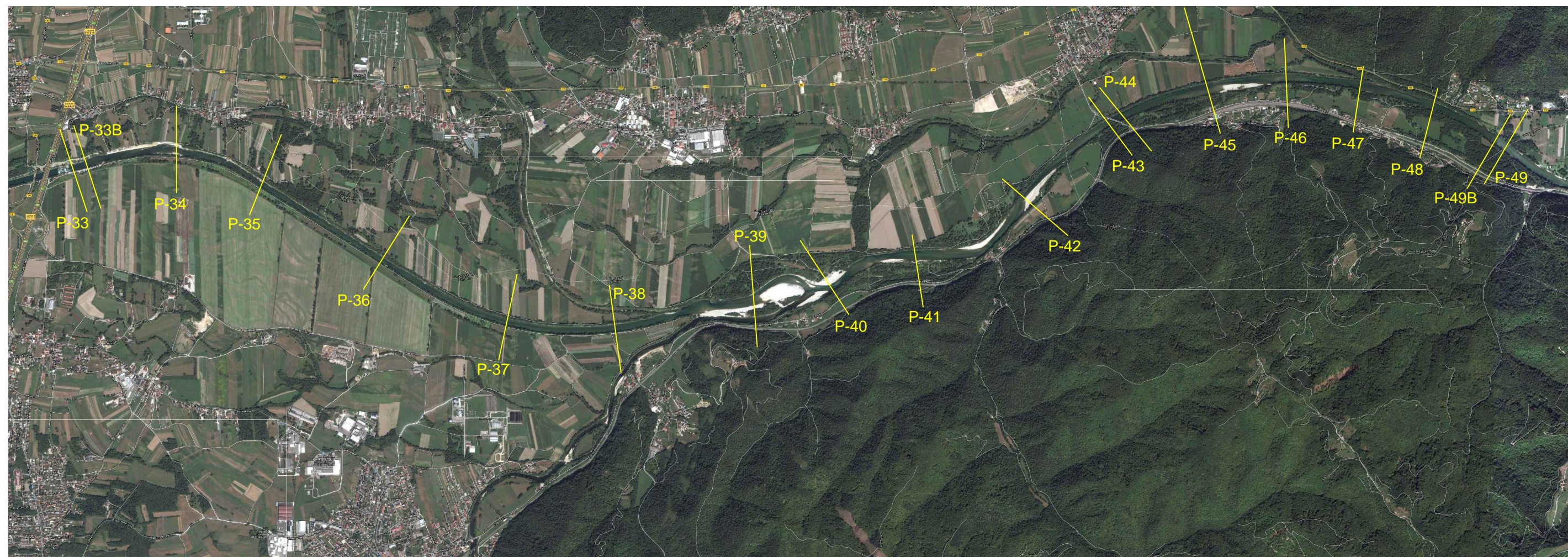
Voršič, J., 2012. Črpalne hidroelektrarne. Maribor. Univerza v Mariboru. Fakulteta za
elektrotehniko, računalništvo in informatiko.
<http://powerlab.uni-mb.si/Slo/Download/PRE/Hidroelektrarne.pdf> (Pridobljeno 6.10.2012.)

Zakon o ohranjanju narave. Uradni list RS št. 31/2000: 63-64.

SEZNAM PRILOG

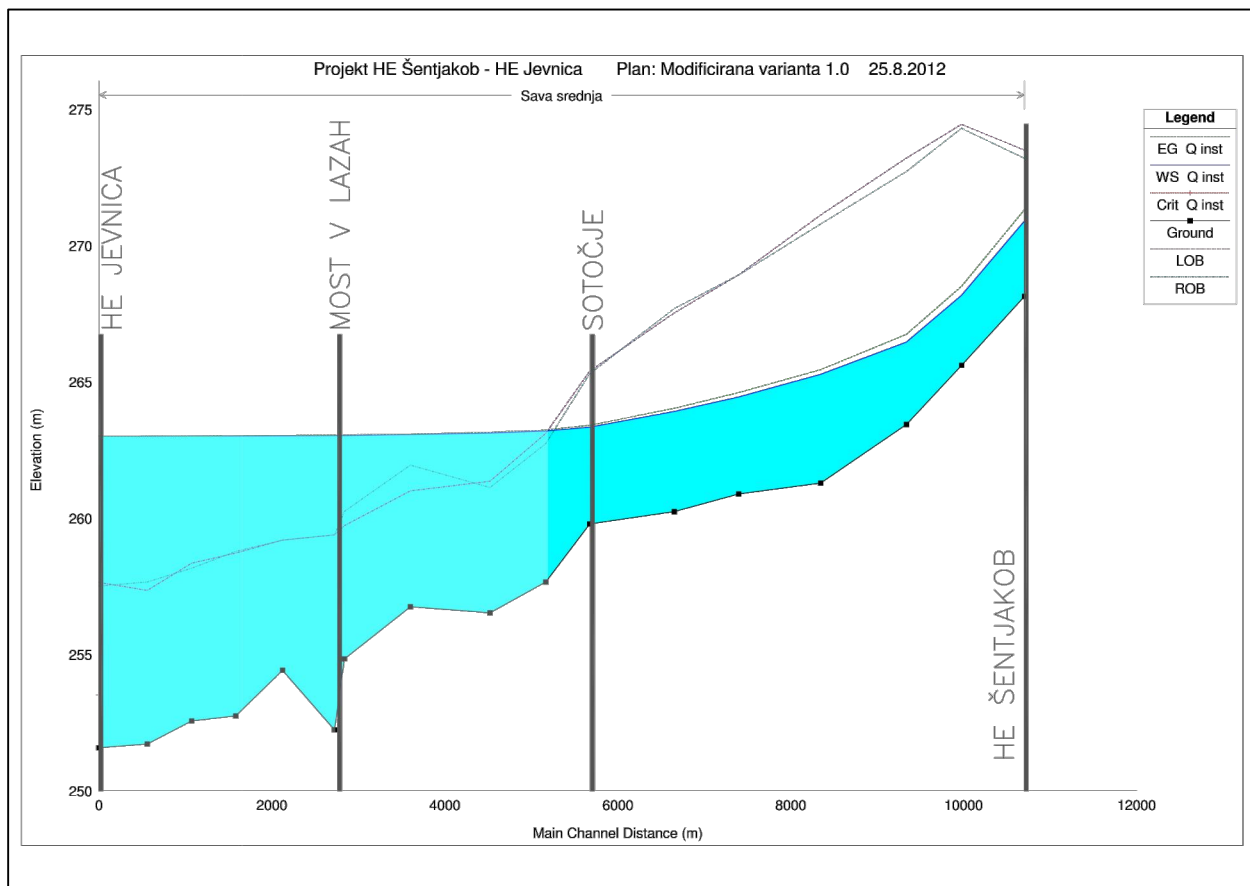
- Priloga A: SITUACIJA S PRIKAZOM PREČNIH PREREZOV
- Priloga B: TABELARIČNI PRIKAZ REZULTATOV IZRAČUNOV ZAJEZITVENIH
KRIVULJ MODIFICIRANIH RAZLIČIC IZ PROGRAMA HEC-RAS (21 str.)
- Priloga C: PROBLEMSKA KARTA S PRIKAZOM UREDITVENIH DEL, PREDVIDENIH Z
MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.5
- Priloga D: PREČNI PREREZI SAVSKE STRUGE Z OBMOČJA MED ŠENTJAKOBOM
IN JEVNICO Z VRISANIMI KONTURAMI PREDVIDENIH POGLOBITEV,
NASIPOV IN ENERGETSKIH OBJEKTOV (19 str.)
- Priloga E: TLORIS TER PODOLŽNI PREREZ MODIFICIRANEGA PREGRADNEGA
OBJEKTA HE JEVNICA (5 str.)
- Priloga F: TLORIS TER PODOLŽNI PREREZ MODIFICIRANEGA PREGRADNEGA
OBJEKTA HE ŠENTJAKOB (5 str.)

PRIKAZ OBRAVNAVANEGA ODSEKA REKE SAVE Z VRISANIMI POZICIJAMI PREČNIH PROFILOV



UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdela:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Situacija s prikazom prečnih prerezov	
Načrt:	Situacija	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:30000	A 1/1

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.0

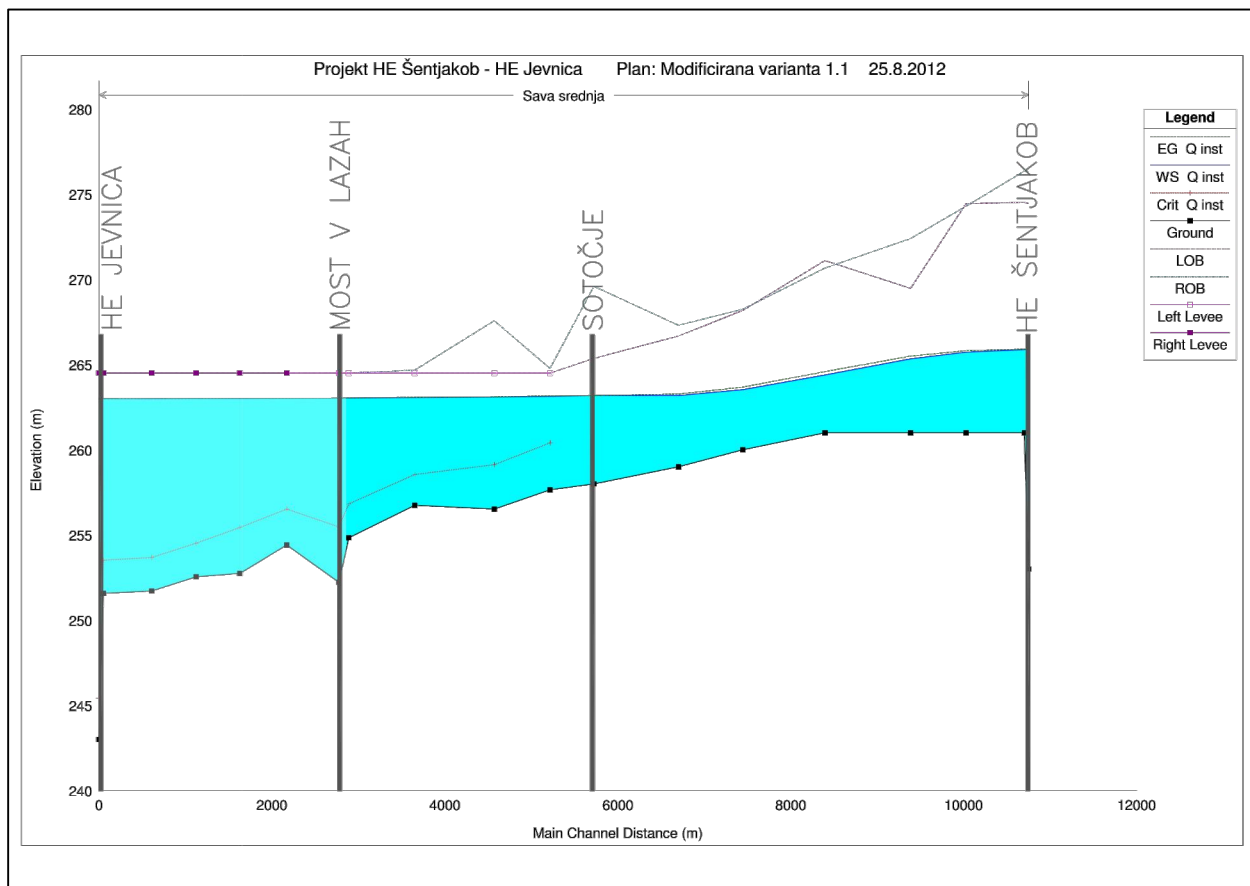


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.0

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	268.13	270.89		271.3	0.003982	2.85	91.38	47.41	0.65
P-34	260	265.6	268.17		268.5	0.003674	2.54	102.44	59.78	0.62
P-35	260	263.43	266.45		266.73	0.002126	2.37	109.91	46.64	0.49
P-36	260	261.28	265.26		265.43	0.00085	1.82	142.76	43.84	0.32
P-37	260	260.88	264.44		264.6	0.000908	1.77	147.01	50.6	0.33
P-38	260	260.23	263.9		264.02	0.000636	1.53	169.47	55.29	0.28
P-39	400	259.78	263.33		263.4	0.000614	1.19	337.41	160.76	0.26
P-40	400	257.65	263.19		263.23	0.000187	0.92	463.01	159.42	0.16
P-41	400	256.52	263.11		263.15	0.000098	0.82	670.54	220.43	0.12
P-42	400	256.74	263.06		263.08	0.000047	0.6	941.19	292.76	0.08
P-43	400	254.83	263.03		263.05	0.00004	0.69	894.52	223.89	0.08
P-44	400	252.23	263.03		263.04	0.000026	0.6	914.75	170.29	0.07
P-45	400	254.41	263.02		263.03	0.000019	0.47	1170.12	234.26	0.06
P-46	400	252.74	263.01		263.02	0.000017	0.49	1225.51	246.44	0.05
P-47	400	252.55	263		263.01	0.000009	0.37	1998.15	357.34	0.04
P-48	400	251.71	263		263.01	0.000007	0.36	2076.07	344.44	0.04
P-49	400	251.57	263	253.51	263	0.000003	0.22	3275.05	505.46	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdela:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 1.0
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
Številka priloge: B 1/21	

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.1

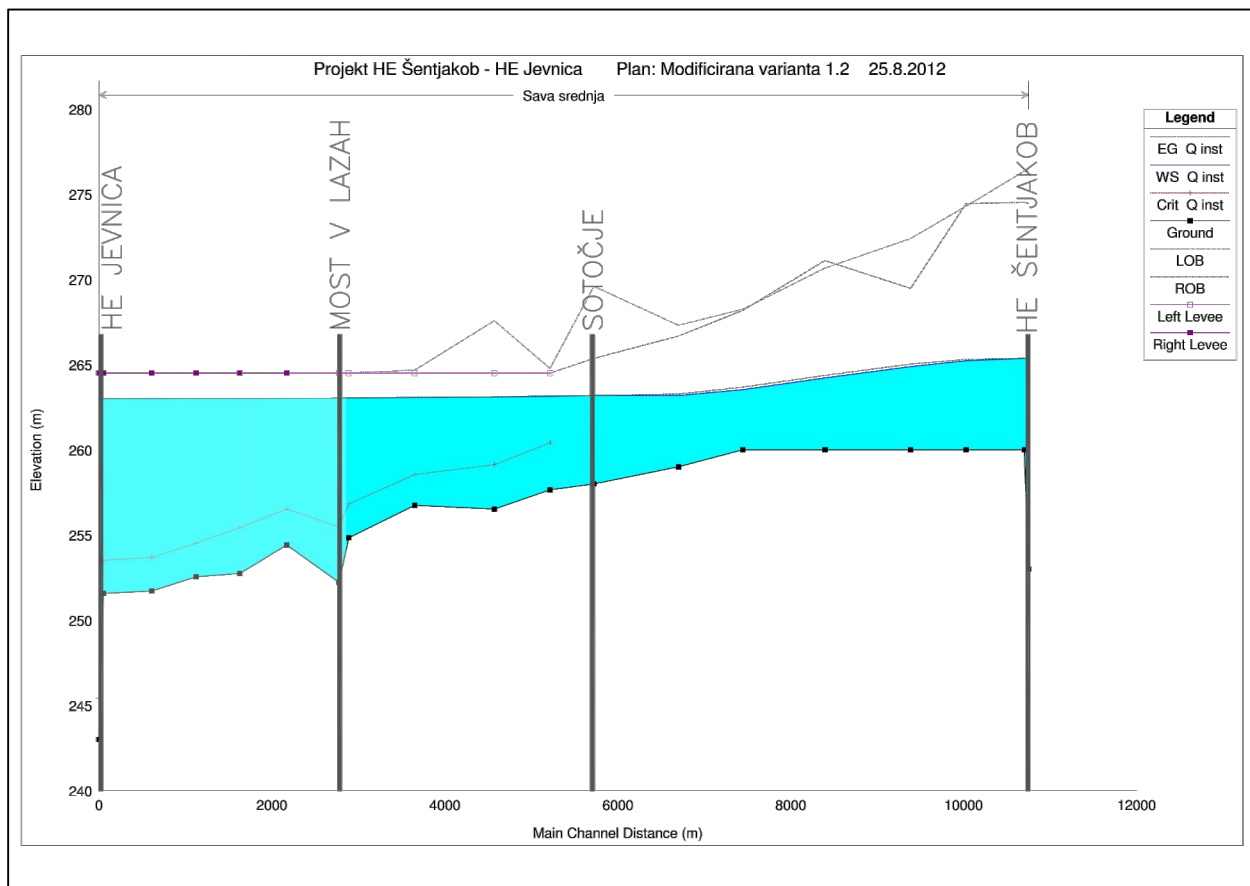


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.1

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	253	265.9		265.9	0.000006	0.29	883.9	90.07	0.03
P-33B	260	261	265.88		265.9	0.000061	0.62	421.67	91.26	0.09
P-34	260	261	265.73		265.81	0.000328	1.28	203.92	52.83	0.21
P-35	260	261	265.34		265.5	0.000751	1.78	145.82	42.28	0.31
P-36	260	261	264.39		264.59	0.001146	1.97	131.8	45.65	0.37
P-37	260	260	263.53		263.68	0.000786	1.69	153.56	50.51	0.31
P-38	260	259	263.18		263.27	0.000379	1.3	199.27	56	0.22
P-39	400	258	263.18		263.19	0.000029	0.45	886.03	181.37	0.07
P-40	400	257.65	263.14	260.41	263.16	0.000151	0.72	554.08	194.61	0.14
P-41	400	256.52	263.09	259.12	263.11	0.000049	0.5	806.64	213.55	0.08
P-42	400	256.74	263.06	258.54	263.07	0.000029	0.38	1048.5	280.87	0.06
P-43	400	254.83	263.03	256.82	263.05	0.000037	0.46	863.32	201.8	0.07
P-44	400	252.23	263.03	255.47	263.04	0.000016	0.4	995.03	155.03	0.05
P-45	400	254.41	263.02	256.52	263.03	0.000019	0.4	994.13	176.42	0.05
P-46	400	252.74	263.01	255.44	263.02	0.000018	0.41	987.55	163.34	0.05
P-47	400	252.55	263.01	254.51	263.01	0.000007	0.27	1467.51	212.79	0.03
P-48	400	251.71	263	253.67	263.01	0.000001	0.33	1223.05	183.44	0.04
P-49B	400	251.57	263	253.52	263	0.000009	0.36	1121.2	138.36	0.04
P-49	400	243	263	245.42	263	0.000003	0.23	1706.64	134.25	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelač:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 1.1
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 2/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.2

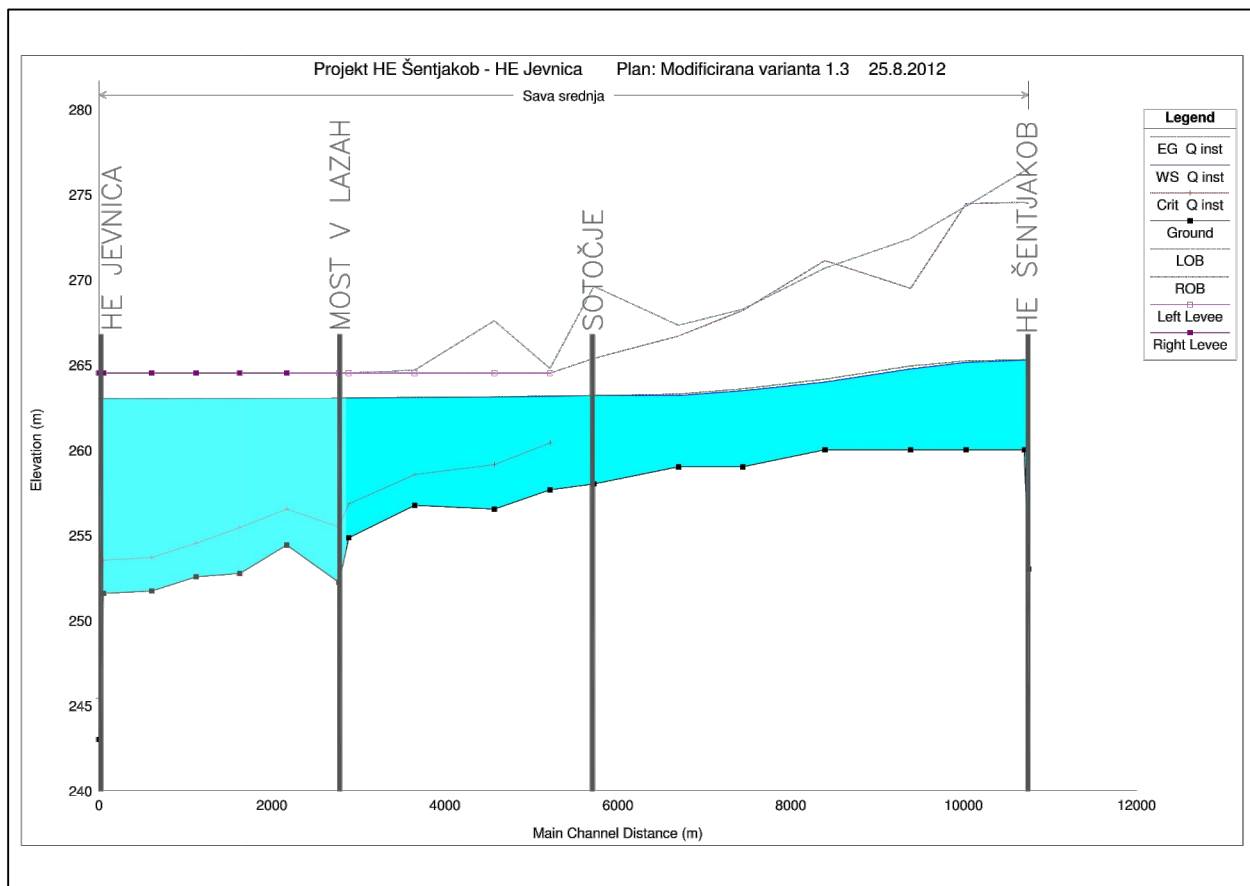


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.2

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	253	265.9		265.9	0.000006	0.29	883.9	90.07	0.03
P-33B	260	261	265.88		265.9	0.000061	0.62	421.67	91.26	0.09
P-34	260	261	265.73		265.81	0.000328	1.28	203.92	52.83	0.21
P-35	260	261	265.34		265.5	0.000751	1.78	145.82	42.28	0.31
P-36	260	261	264.39		264.59	0.001146	1.97	131.8	45.65	0.37
P-37	260	260	263.53		263.68	0.000786	1.69	153.56	50.51	0.31
P-38	260	259	263.18		263.27	0.000379	1.3	199.27	56	0.22
P-39	400	258	263.18		263.19	0.000029	0.45	886.03	181.37	0.07
P-40	400	257.65	263.14	260.41	263.16	0.000151	0.72	554.08	194.61	0.14
P-41	400	256.52	263.09	259.12	263.11	0.000049	0.5	806.64	213.55	0.08
P-42	400	256.74	263.06	258.54	263.07	0.000029	0.38	1048.5	280.87	0.06
P-43	400	254.83	263.03	256.82	263.05	0.000037	0.46	863.32	201.8	0.07
P-44	400	252.23	263.03	255.47	263.04	0.000016	0.4	995.03	155.03	0.05
P-45	400	254.41	263.02	256.52	263.03	0.000019	0.4	994.13	176.42	0.05
P-46	400	252.74	263.01	255.44	263.02	0.000018	0.41	987.55	163.34	0.05
P-47	400	252.55	263.01	254.51	263.01	0.000007	0.27	1467.51	212.79	0.03
P-48	400	251.71	263	253.67	263.01	0.000001	0.33	1223.05	183.44	0.04
P-49B	400	251.57	263	253.52	263	0.000009	0.36	1121.2	138.36	0.04
P-49	400	243	263	245.42	263	0.000003	0.23	1706.64	134.25	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelač:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 1.2
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 3/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.3

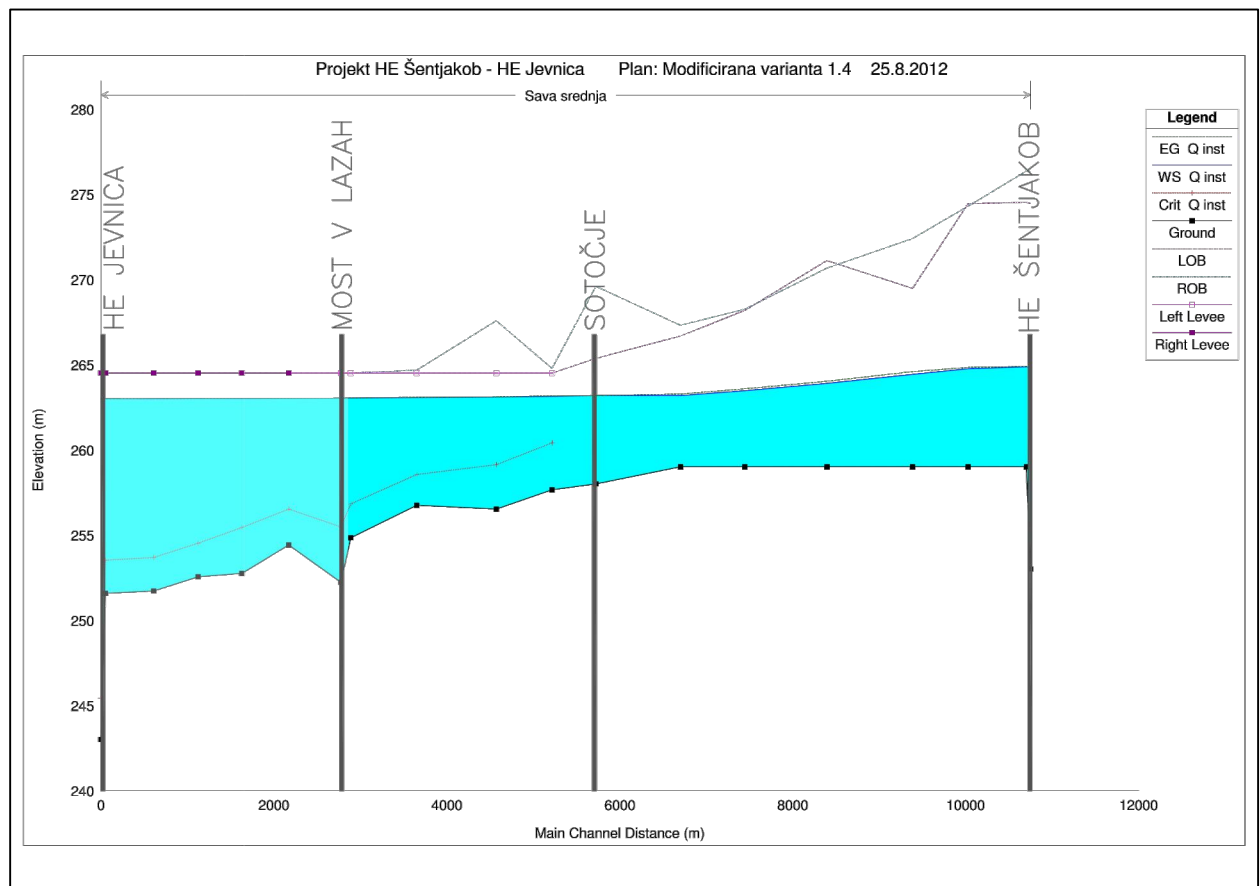


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.3

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	253	265.28		265.29	0.000007	0.31	828.72	88.84	0.03
P-33B	260	260	265.27		265.28	0.000049	0.58	446.53	90.03	0.08
P-34	260	260	265.13		265.21	0.000307	1.27	204.47	50.4	0.2
P-35	260	260	264.75		264.91	0.000726	1.8	144.4	39.91	0.3
P-36	260	260	263.98		264.14	0.000834	1.81	143.28	43.99	0.32
P-37	260	259	263.47		263.57	0.000426	1.41	184.77	50.26	0.23
P-38	260	259	263.18		263.27	0.000379	1.3	199.27	56	0.22
P-39	400	258	263.18		263.19	0.000029	0.45	886.03	181.37	0.07
P-40	400	257.65	263.14	260.41	263.16	0.000151	0.72	554.08	194.61	0.14
P-41	400	256.52	263.09	259.12	263.11	0.000049	0.5	806.64	213.55	0.08
P-42	400	256.74	263.06	258.54	263.07	0.000029	0.38	1048.5	280.87	0.06
P-43	400	254.83	263.03	256.82	263.05	0.000037	0.46	863.32	201.8	0.07
P-44	400	252.23	263.03	255.47	263.04	0.000016	0.4	995.03	155.03	0.05
P-45	400	254.41	263.02	256.52	263.03	0.000019	0.4	994.13	176.42	0.05
P-46	400	252.74	263.01	255.44	263.02	0.000018	0.41	987.55	163.34	0.05
P-47	400	252.55	263.01	254.51	263.01	0.000007	0.27	1467.51	212.79	0.03
P-48	400	251.71	263	253.67	263.01	0.00001	0.33	1223.05	183.44	0.04
P-49B	400	251.57	263	253.52	263	0.000009	0.36	1121.2	138.36	0.04
P-49	400	243	263	245.42	263	0.000003	0.23	1706.64	134.25	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdela:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 1.3
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
Številka priloge: B 4/21	

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.4

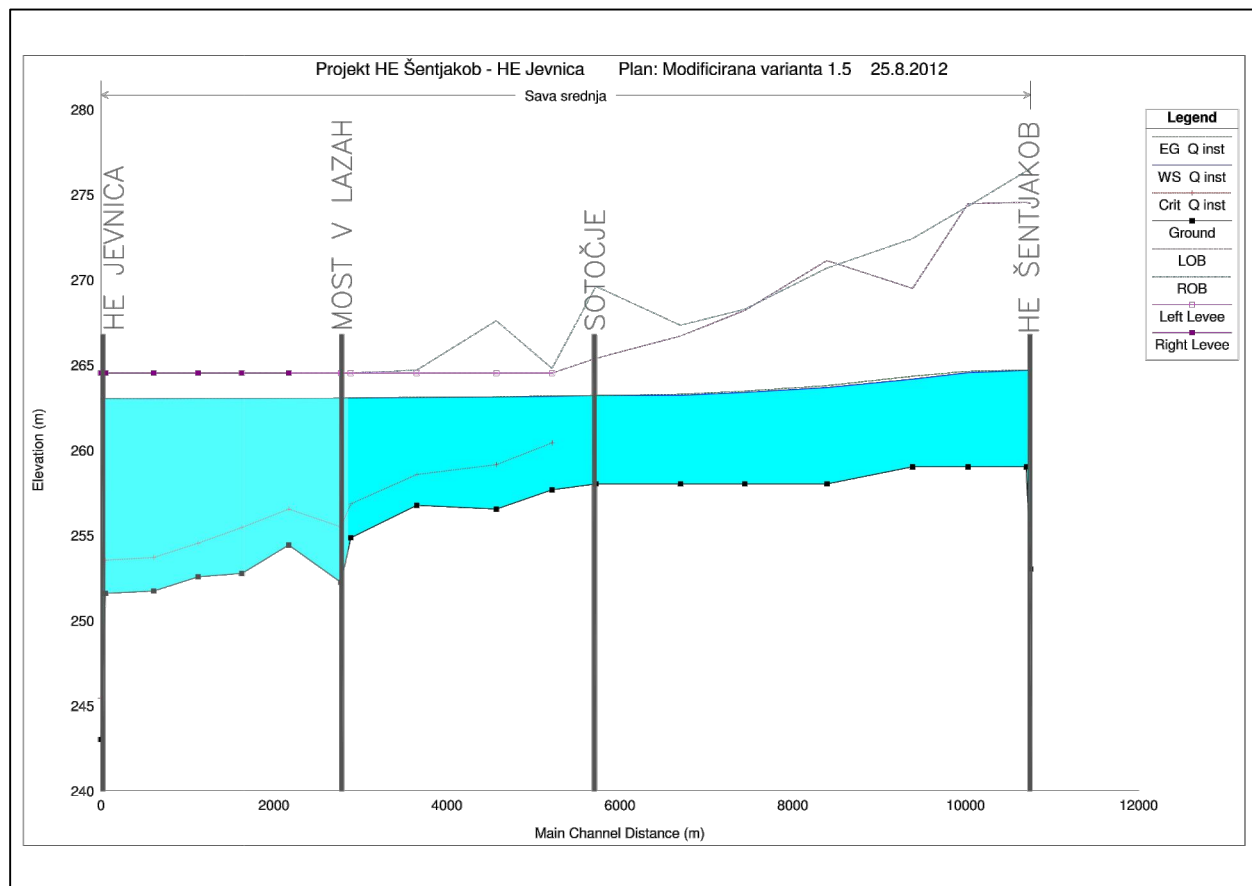


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.4

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	253	264.89		264.89	0.000008	0.33	793.74	88.05	0.03
P-338	260	259	264.88		264.89	0.000036	0.53	489.88	89.25	0.07
P-34	260	259	264.76		264.83	0.000257	1.22	213.78	48.92	0.19
P-35	260	259	264.43		264.58	0.000608	1.72	150.86	38.64	0.28
P-36	260	259	263.9		264.02	0.000513	1.57	165.96	43.68	0.26
P-37	260	259	263.47		263.57	0.000426	1.41	184.77	50.26	0.23
P-38	260	259	263.18		263.27	0.000379	1.3	199.27	56	0.22
P-39	400	258	263.18		263.19	0.000029	0.45	886.03	181.37	0.07
P-40	400	257.65	263.14	260.41	263.16	0.000151	0.72	554.08	194.61	0.14
P-41	400	256.52	263.09	259.12	263.11	0.000049	0.5	806.64	213.55	0.08
P-42	400	256.74	263.06	258.54	263.07	0.000029	0.38	1048.5	280.87	0.06
P-43	400	254.83	263.03	256.82	263.05	0.000037	0.46	863.32	201.8	0.07
P-44	400	252.23	263.03	255.47	263.04	0.000016	0.4	995.03	155.03	0.05
P-45	400	254.41	263.02	256.52	263.03	0.000019	0.4	994.13	176.42	0.05
P-46	400	252.74	263.01	255.44	263.02	0.000018	0.41	987.55	163.34	0.05
P-47	400	252.55	263.01	254.51	263.01	0.000007	0.27	1467.51	212.79	0.03
P-48	400	251.71	263	253.67	263.01	0.000001	0.33	1223.05	183.44	0.04
P-498	400	251.57	263	253.52	263	0.000009	0.36	1121.2	138.36	0.04
P-49	400	243	263	245.42	263	0.000003	0.23	1706.64	134.25	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelač:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 1.4
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
Številka priloge: B 5/21	

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.5

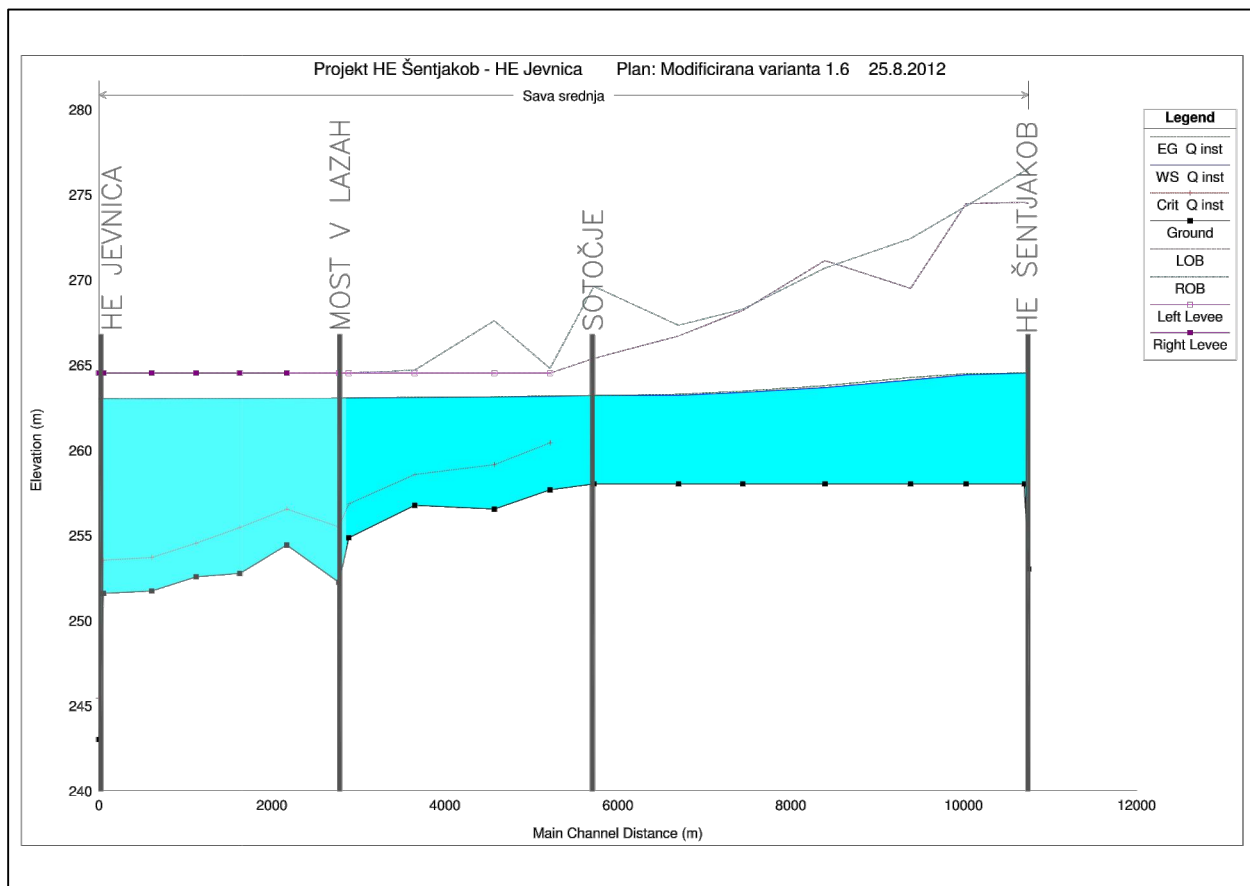


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.5

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	253	264.68		264.68	0.000008	0.34	775.28	87.63	0.04
P-33B	260	259	264.66		264.68	0.000041	0.55	471.07	88.83	0.08
P-34	260	259	264.53		264.61	0.000298	1.28	202.82	47.99	0.2
P-35	260	259	264.14		264.32	0.000751	1.86	139.84	37.48	0.31
P-36	260	258	263.66		263.77	0.000401	1.46	177.71	42.72	0.23
P-37	260	258	263.37		263.44	0.000279	1.24	209.78	49.83	0.19
P-38	260	258	263.2		263.26	0.000215	1.1	237.25	56.05	0.17
P-39	400	258	263.18		263.19	0.000029	0.45	886.03	181.37	0.07
P-40	400	257.65	263.14	260.41	263.16	0.000151	0.72	554.08	194.61	0.14
P-41	400	256.52	263.09	259.12	263.11	0.000049	0.5	806.64	213.55	0.08
P-42	400	256.74	263.06	258.54	263.07	0.000029	0.38	1048.5	280.87	0.06
P-43	400	254.83	263.03	256.82	263.05	0.000037	0.46	863.32	201.8	0.07
P-44	400	252.23	263.03	255.47	263.04	0.000016	0.4	995.03	155.03	0.05
P-45	400	254.41	263.02	256.52	263.03	0.000019	0.4	994.13	176.42	0.05
P-46	400	252.74	263.01	255.44	263.02	0.000018	0.41	987.55	163.34	0.05
P-47	400	252.55	263.01	254.51	263.01	0.000007	0.27	1467.51	212.79	0.03
P-48	400	251.71	263	253.67	263.01	0.000001	0.33	1223.05	183.44	0.04
P-49B	400	251.57	263	253.52	263	0.000009	0.36	1121.2	138.36	0.04
P-49	400	243	263	245.42	263	0.000003	0.23	1706.64	134.25	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 1.5
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 6/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.6

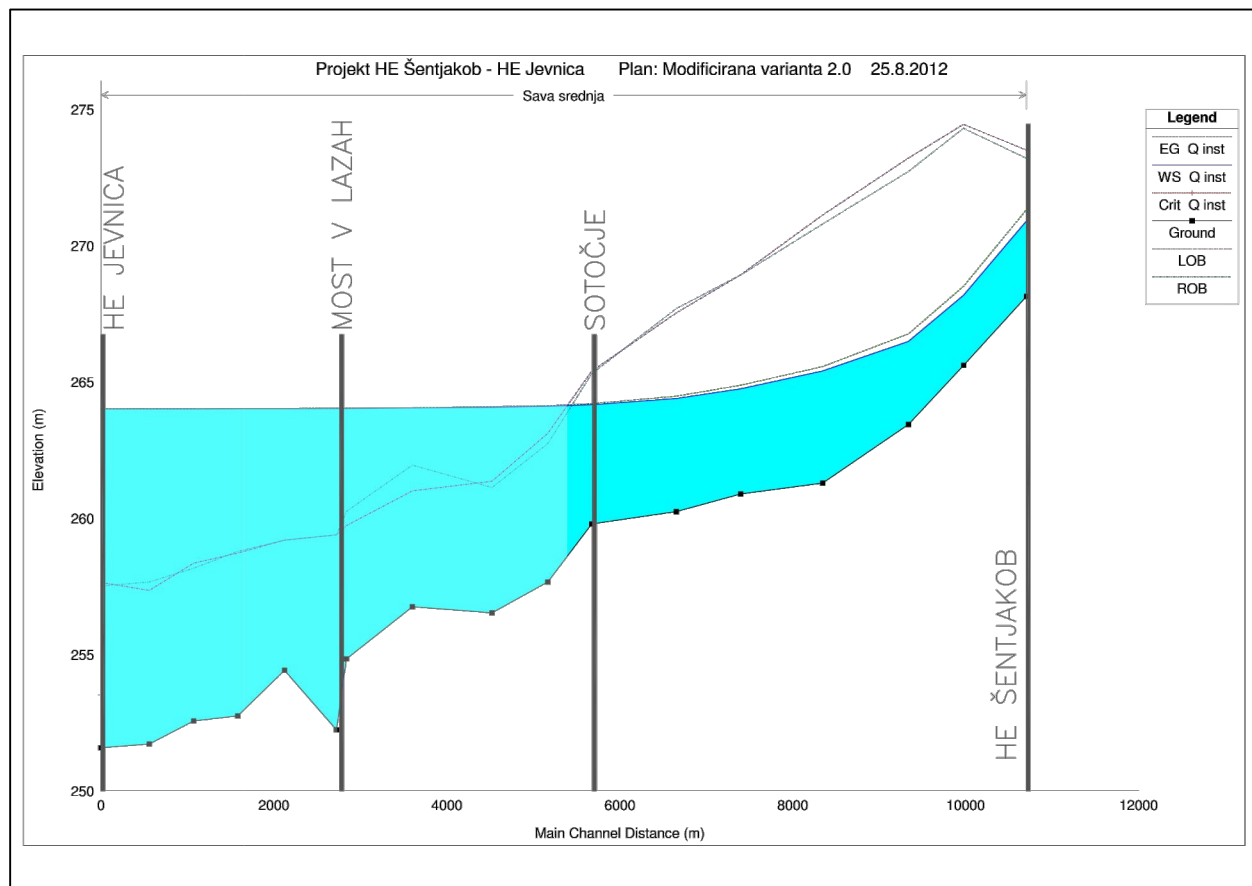


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 1.6

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	253	264.51		264.52	0.000009	0.34	760.83	87.3	0.04
P-33B	260	258	264.5		264.52	0.000027	0.49	533.28	88.5	0.06
P-34	260	258	264.4		264.47	0.000226	1.18	220.23	47.49	0.17
P-35	260	258	264.1		264.25	0.00056	1.7	153.11	37.31	0.27
P-36	260	258	263.66		263.77	0.000401	1.46	177.71	42.72	0.23
P-37	260	258	263.37		263.44	0.000279	1.24	209.78	49.83	0.19
P-38	260	258	263.2		263.26	0.000215	1.1	237.25	56.05	0.17
P-39	400	258	263.18		263.19	0.000029	0.45	886.03	181.37	0.07
P-40	400	257.65	263.14	260.41	263.16	0.000151	0.72	554.08	194.61	0.14
P-41	400	256.52	263.09	259.12	263.11	0.000049	0.5	806.64	213.55	0.08
P-42	400	256.74	263.06	258.54	263.07	0.000029	0.38	1048.5	280.87	0.06
P-43	400	254.83	263.03	256.82	263.05	0.000037	0.46	863.32	201.8	0.07
P-44	400	252.23	263.03	255.47	263.04	0.000016	0.4	995.03	155.03	0.05
P-45	400	254.41	263.02	256.52	263.03	0.000019	0.4	994.13	176.42	0.05
P-46	400	252.74	263.01	255.44	263.02	0.000018	0.41	987.55	163.34	0.05
P-47	400	252.55	263.01	254.51	263.01	0.000007	0.27	1467.51	212.79	0.03
P-48	400	251.71	263	253.67	263.01	0.000001	0.33	1223.05	183.44	0.04
P-49B	400	251.57	263	253.52	263	0.000009	0.36	1121.2	138.36	0.04
P-49	400	243	263	245.42	263	0.000003	0.23	1706.64	134.25	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 1.6
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 7/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.0

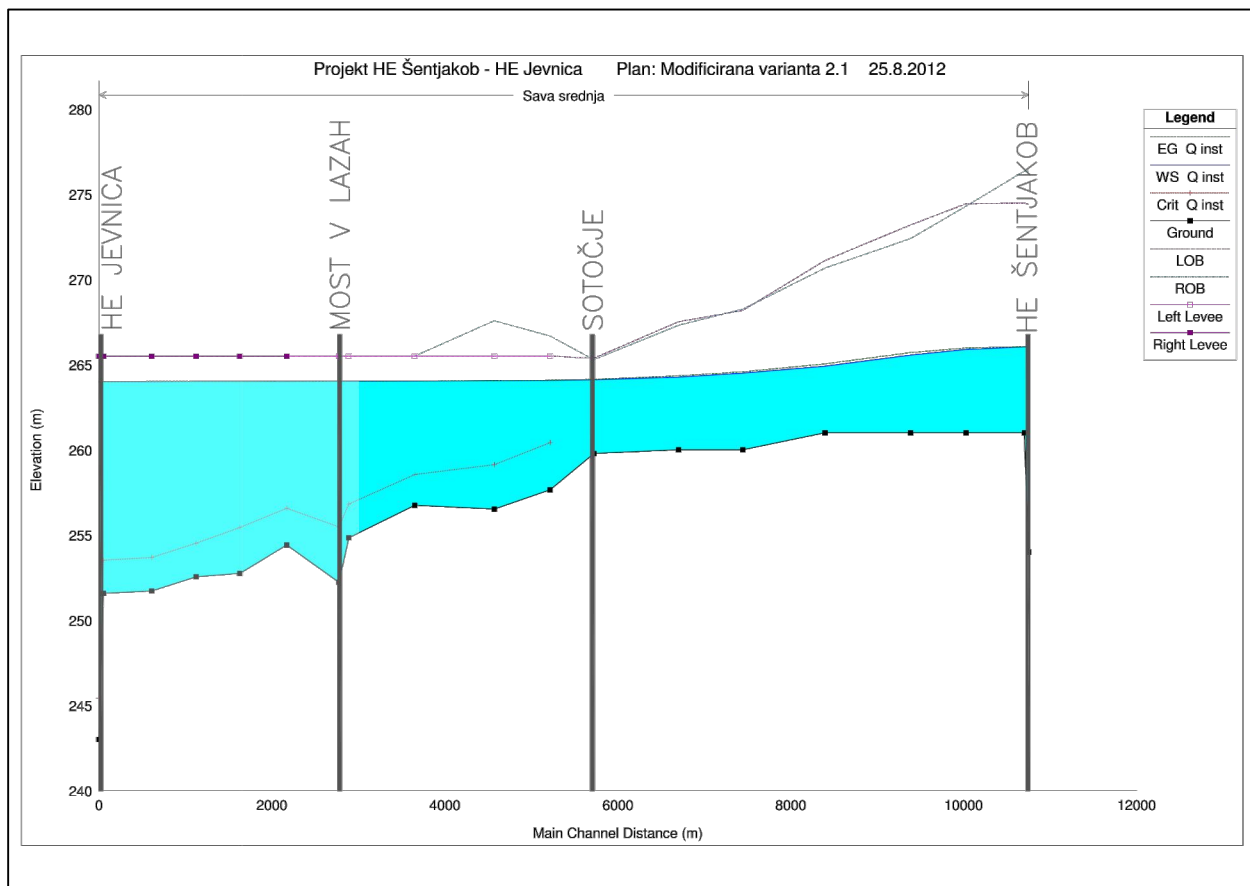


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.0

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	268.13	270.89		271.3	0.003964	2.84	91.51	47.43	0.65
P-34	260	265.6	268.16		268.49	0.003704	2.54	102.17	59.75	0.62
P-35	260	263.43	266.47		266.75	0.002064	2.34	111.04	46.79	0.49
P-36	260	261.28	265.39		265.55	0.000757	1.75	148.48	44.28	0.31
P-37	260	260.88	264.73		264.87	0.000674	1.6	162.18	51.6	0.29
P-38	260	260.23	264.38		264.47	0.000405	1.33	196.07	56.27	0.23
P-39	400	259.78	264.16		264.19	0.000213	0.84	473.71	169.3	0.16
P-40	400	257.65	264.1		264.12	0.000084	0.72	633.44	223.57	0.11
P-41	400	256.52	264.06		264.08	0.000049	0.65	892.7	241.87	0.09
P-42	400	256.74	264.04		264.05	0.000024	0.48	1227.5	294.66	0.06
P-43	400	254.83	264.02		264.03	0.000024	0.58	1121.29	230.75	0.06
P-44	400	252.23	264.02		264.03	0.000017	0.52	1083.86	171.38	0.05
P-45	400	254.41	264.01		264.02	0.000012	0.4	1404.86	237.37	0.04
P-46	400	252.74	264		264.01	0.000011	0.42	1477.9	257.63	0.04
P-47	400	252.55	264		264.01	0.000006	0.32	2355.74	358.32	0.03
P-48	400	251.71	264		264	0.000005	0.32	2428.85	360.55	0.03
P-49	400	251.57	264	253.51	264	0.000002	0.19	3780.54	505.46	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelač:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 2.0
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
Številka priloge: B 8/21	

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.1

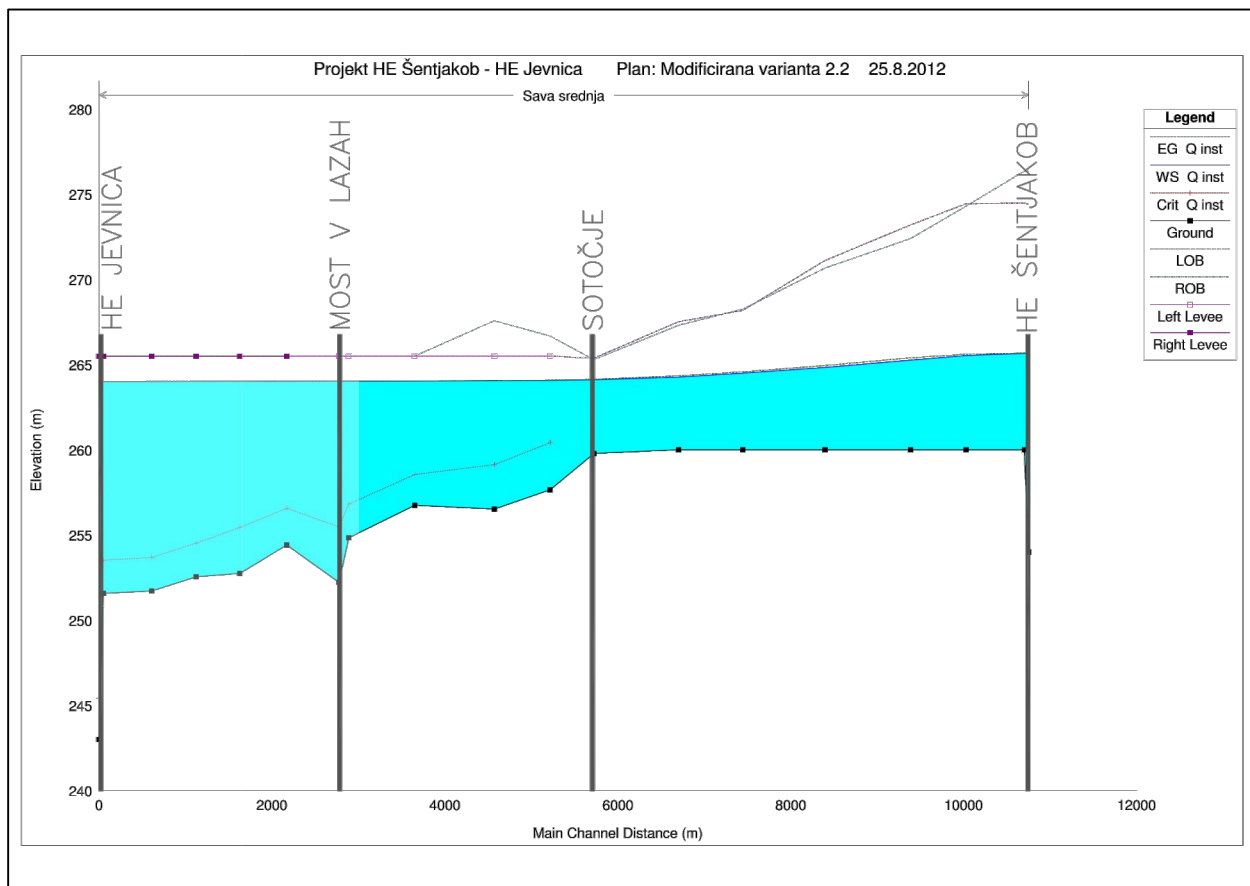


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.1

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	254	266.05		266.06	0.000007	0.32	803.67	87.99	0.03
P-33B	260	261	266.04		266.06	0.000058	0.62	421.89	88.81	0.09
P-34	260	261	265.9		265.97	0.000293	1.23	211.31	52.94	0.2
P-35	260	261	265.56		265.7	0.000628	1.68	155.18	43.15	0.28
P-36	260	261	264.9		265.05	0.000699	1.67	155.76	47.7	0.29
P-37	260	260	264.5		264.58	0.000338	1.27	204.1	54.36	0.21
P-38	260	260	264.27		264.34	0.000294	1.17	221.41	60.36	0.2
P-39	400	259.78	264.11		264.14	0.000159	0.75	531.85	181.96	0.14
P-40	400	257.65	264.07	260.41	264.09	0.00006	0.54	738.81	199.37	0.09
P-41	400	256.52	264.05	259.12	264.06	0.000024	0.39	1014.72	219.43	0.06
P-42	400	256.74	264.04	258.54	264.04	0.000015	0.31	1285.56	279.02	0.05
P-43	400	254.83	264.02	256.82	264.03	0.000019	0.38	1052.94	203.32	0.05
P-44	400	252.23	264.02	255.47	264.03	0.000011	0.36	1124.31	152.94	0.04
P-45	400	254.41	264.01	256.56	264.02	0.000012	0.35	1134.25	174.74	0.04
P-46	400	252.74	264.01	255.44	264.01	0.000012	0.36	1120.43	161.3	0.04
P-47	400	252.55	264.01	254.52	264.01	0.000005	0.24	1648.28	210.78	0.03
P-48	400	251.71	264	253.68	264.01	0.000007	0.29	1396.3	185.9	0.03
P-49B	400	251.57	264	253.52	264	0.000007	0.31	1271.71	142.81	0.03
P-49	400	243	264	245.43	264	0.000002	0.22	1838.91	137.44	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 2.1
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 9/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.2

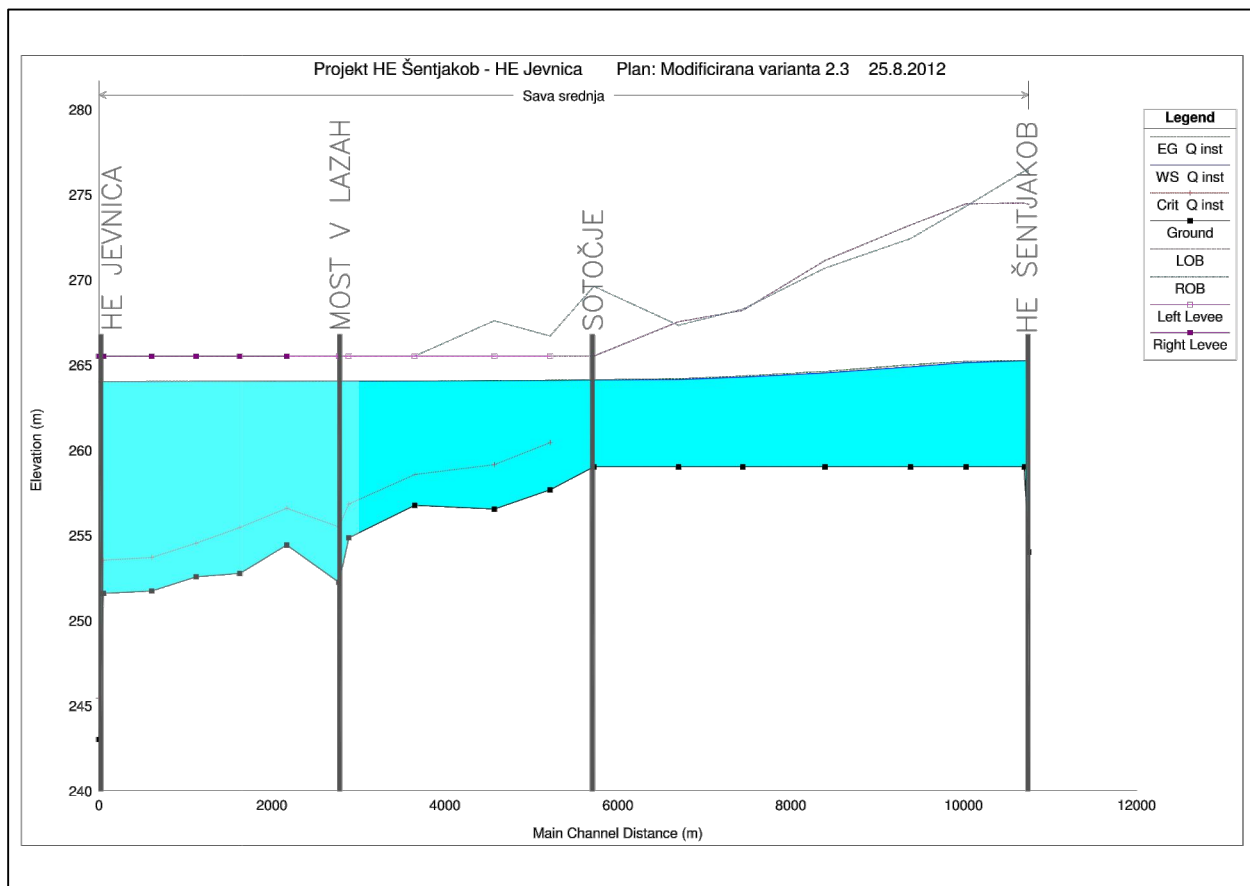


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.2

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	254	265.67		265.67	0.000009	0.34	769.91	87.22	0.04
P-33B	260	260	265.66		265.67	0.000042	0.56	465.94	88.05	0.08
P-34	260	260	265.54		265.61	0.000234	1.16	224.08	51.52	0.18
P-35	260	260	265.27		265.39	0.000493	1.57	165.69	41.99	0.25
P-36	260	260	264.84		264.94	0.000413	1.42	182.71	47.44	0.23
P-37	260	260	264.5		264.58	0.000338	1.27	204.1	54.36	0.21
P-38	260	260	264.27		264.34	0.000294	1.17	221.41	60.36	0.2
P-39	400	259.78	264.11		264.14	0.000159	0.75	531.85	181.96	0.14
P-40	400	257.65	264.07	260.41	264.09	0.00006	0.54	738.81	199.37	0.09
P-41	400	256.52	264.05	259.12	264.06	0.000024	0.39	1014.72	219.43	0.06
P-42	400	256.74	264.04	258.54	264.04	0.000015	0.31	1285.56	279.02	0.05
P-43	400	254.83	264.02	256.82	264.03	0.000019	0.38	1052.94	203.32	0.05
P-44	400	252.23	264.02	255.47	264.03	0.000011	0.36	1124.31	152.94	0.04
P-45	400	254.41	264.01	256.56	264.02	0.000012	0.35	1134.25	174.74	0.04
P-46	400	252.74	264.01	255.44	264.01	0.000012	0.36	1120.43	161.3	0.04
P-47	400	252.55	264.01	254.52	264.01	0.000005	0.24	1648.28	210.78	0.03
P-48	400	251.71	264	253.68	264.01	0.000007	0.29	1396.3	185.9	0.03
P-49B	400	251.57	264	253.52	264	0.000007	0.31	1271.71	142.81	0.03
P-49	400	243	264	245.43	264	0.000002	0.22	1838.91	137.44	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdela:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 2.2
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 10/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.3

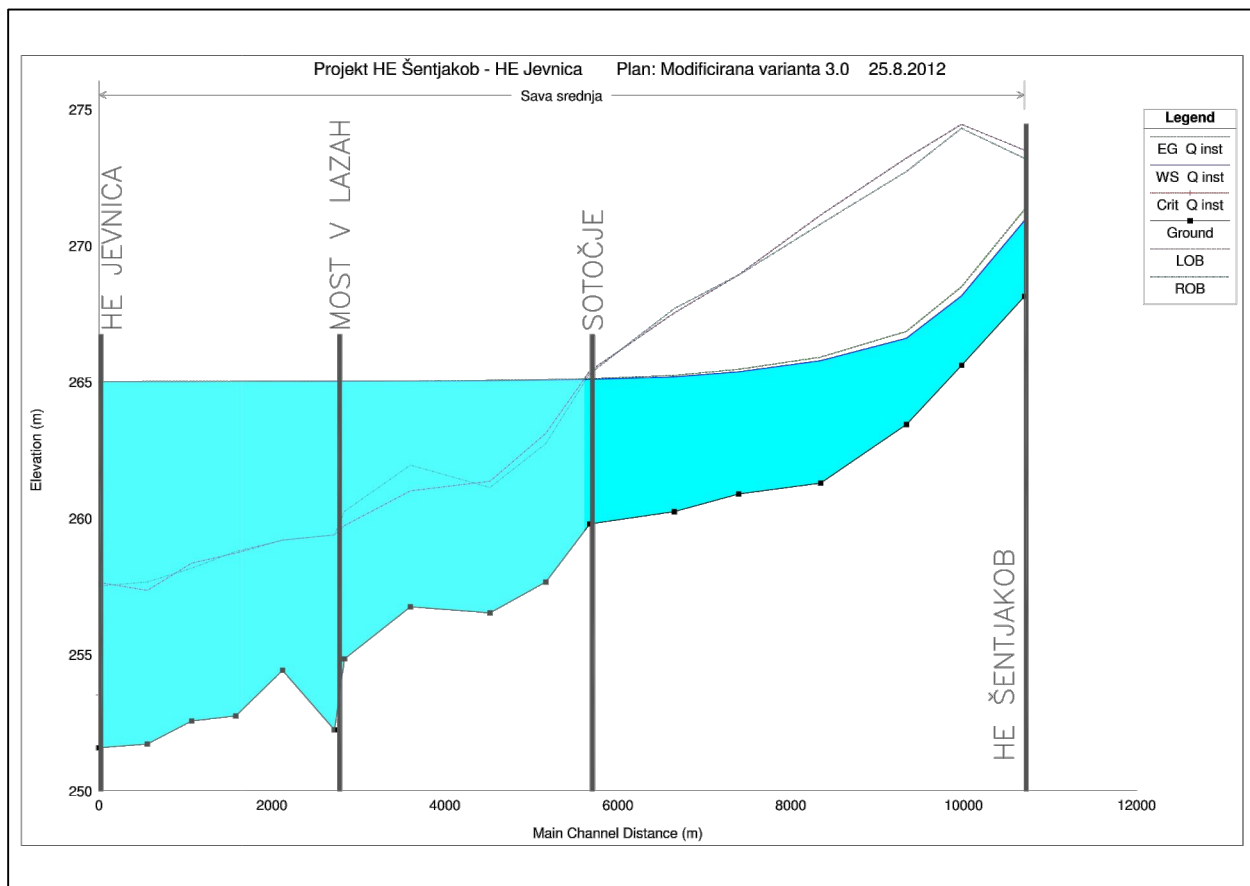


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 2.3

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	254	265.23		265.24	0.00001	0.36	732.11	86.35	0.04
P-33B	260	259	265.22		265.24	0.000032	0.52	503.77	87.18	0.07
P-34	260	259	265.12		265.19	0.000207	1.13	230.15	49.84	0.17
P-35	260	259	264.87		264.99	0.00045	1.55	168.2	40.4	0.24
P-36	260	259	264.51		264.6	0.000332	1.34	193.47	46.13	0.21
P-37	260	259	264.26		264.33	0.000239	1.15	225.73	53.42	0.18
P-38	260	259	264.12		264.17	0.000187	1.03	253.22	59.73	0.16
P-39	400	259	264.1		264.11	0.000029	0.45	890.94	184.98	0.07
P-40	400	257.65	264.07	260.41	264.09	0.00006	0.54	738.81	199.37	0.09
P-41	400	256.52	264.05	259.12	264.06	0.000024	0.39	1014.72	219.43	0.06
P-42	400	256.74	264.04	258.54	264.04	0.000015	0.31	1285.56	279.02	0.05
P-43	400	254.83	264.02	256.82	264.03	0.000019	0.38	1052.94	203.32	0.05
P-44	400	252.23	264.02	255.47	264.03	0.000011	0.36	1124.31	152.94	0.04
P-45	400	254.41	264.01	256.56	264.02	0.000012	0.35	1134.25	174.74	0.04
P-46	400	252.74	264.01	255.44	264.01	0.000012	0.36	1120.43	161.3	0.04
P-47	400	252.55	264.01	254.52	264.01	0.000005	0.24	1648.28	210.78	0.03
P-48	400	251.71	264	253.68	264.01	0.000007	0.29	1396.3	185.9	0.03
P-49B	400	251.57	264	253.52	264	0.000007	0.31	1271.71	142.81	0.03
P-49	400	243	264	245.43	264	0.000002	0.22	1838.91	137.44	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdela:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 2.3
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 11/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.0

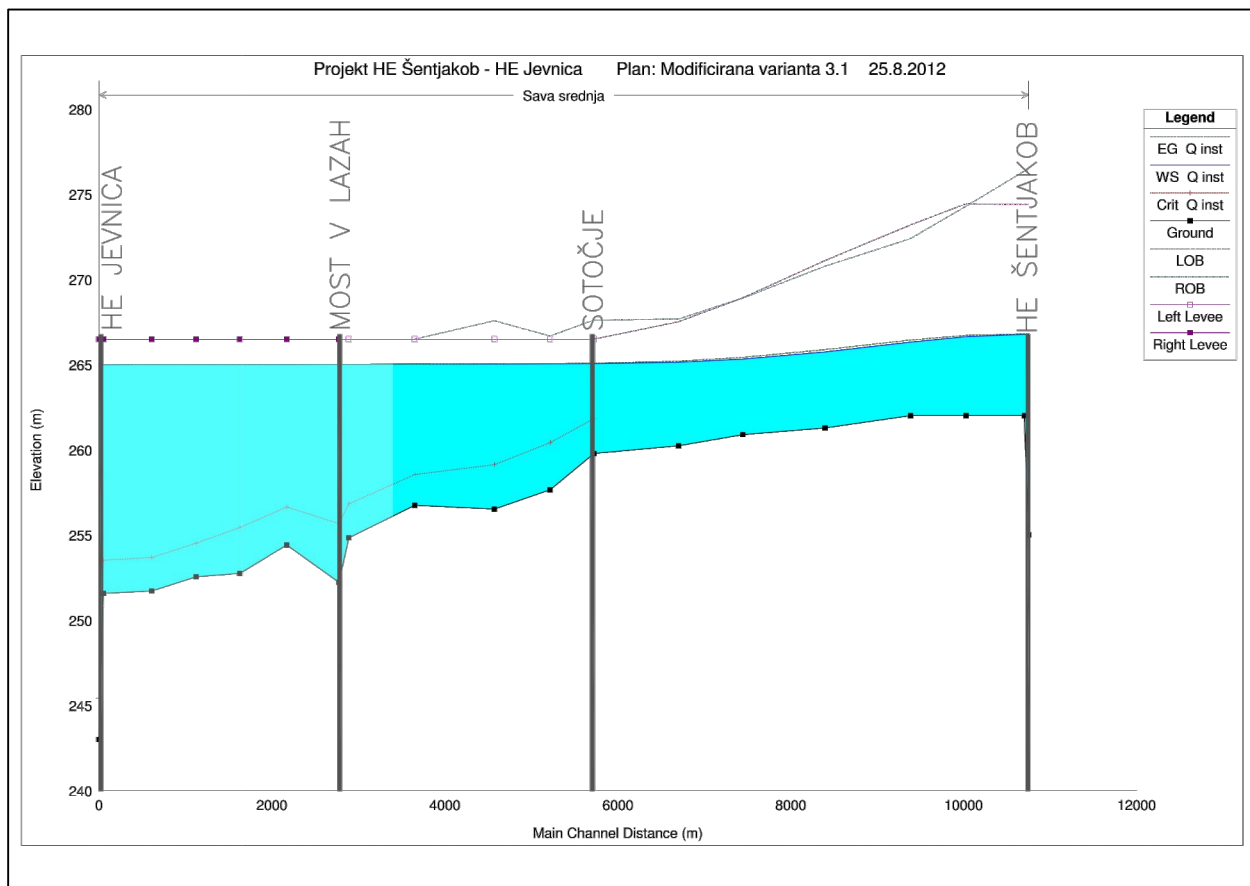


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.0

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	268.13	270.9		271.31	0.003891	2.82	92.08	47.5	0.65
P-34	260	265.6	268.15		268.48	0.003832	2.57	101.05	59.62	0.63
P-35	260	263.43	266.59		266.84	0.0018	2.23	116.41	47.5	0.46
P-36	260	261.28	265.77		265.9	0.000552	1.57	165.36	45.55	0.26
P-37	260	260.88	265.36		265.45	0.000386	1.33	195.14	53.59	0.22
P-38	260	260.23	265.17		265.23	0.000215	1.08	241.29	58.09	0.17
P-39	400	259.78	265.08		265.1	0.000088	0.62	640.26	185.15	0.11
P-40	400	257.65	265.06		265.07	0.000041	0.57	851.63	231.02	0.08
P-41	400	256.52	265.04		265.05	0.000026	0.53	1129.3	243.57	0.07
P-42	400	256.74	265.02		265.03	0.000014	0.4	1522.51	305.9	0.05
P-43	400	254.83	265.01		265.02	0.000015	0.49	1351.13	231.26	0.05
P-44	400	252.23	265.01		265.02	0.000012	0.46	1259.93	178.79	0.05
P-45	400	254.41	265.01		265.01	0.000008	0.35	1646.98	244.68	0.04
P-46	400	252.74	265		265.01	0.000007	0.37	1735.75	258.23	0.04
P-47	400	252.55	265		265	0.000004	0.28	2713.74	358.32	0.03
P-48	400	251.71	265		265	0.000003	0.28	2789.37	360.55	0.03
P-49	400	251.57	265	253.51	265	0.000001	0.17	4286.01	505.46	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 3.0
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 12/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.1

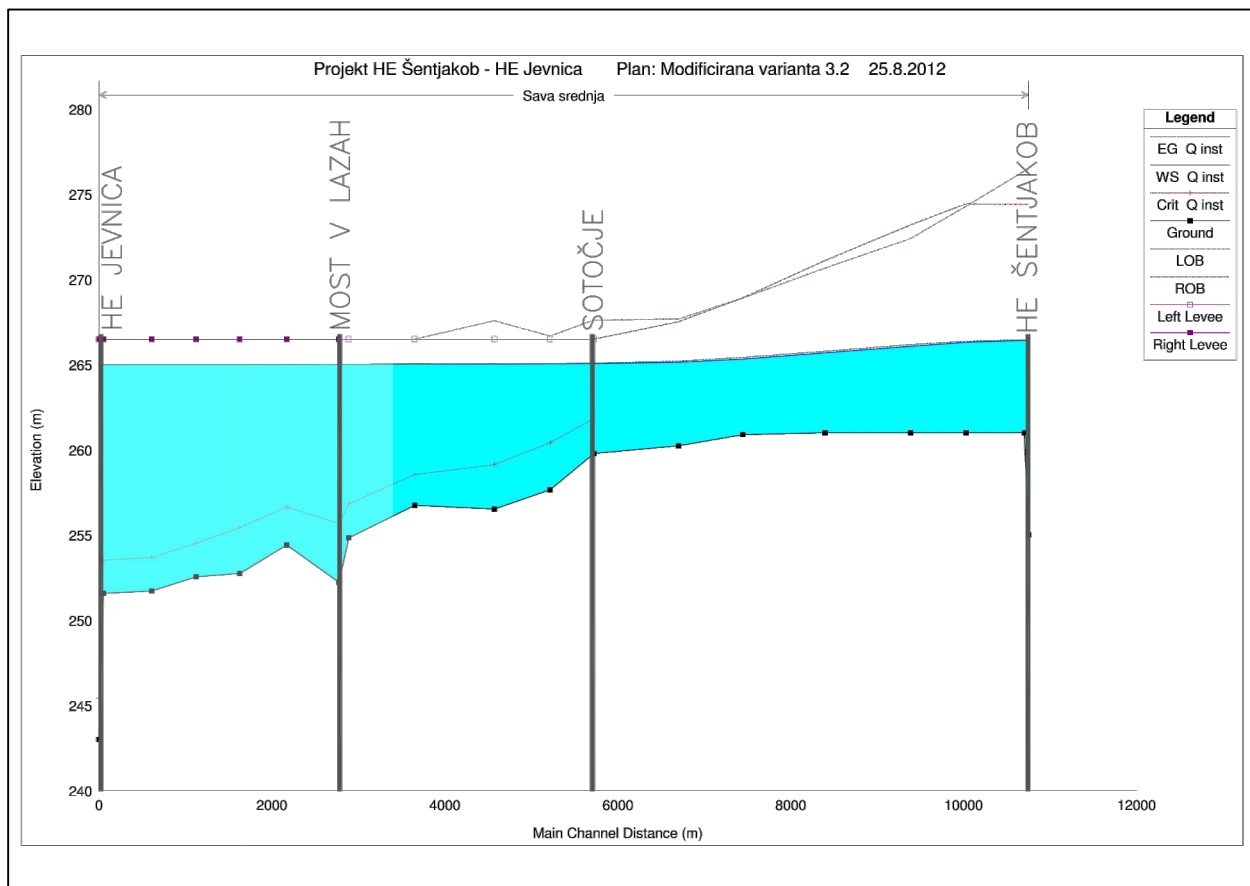


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.1

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	255	266.8		266.8	0.000008	0.33	787.98	88.1	0.04
P-33B	260	262	266.78		266.8	0.00007	0.65	398	88.06	0.1
P-34	260	262	266.64		266.71	0.00029	1.2	216.23	55.9	0.2
P-35	260	262	266.32		266.45	0.00059	1.6	162.11	46.18	0.27
P-36	260	261.28	265.75		265.88	0.000561	1.58	164.43	45.48	0.27
P-37	260	260.88	265.33		265.42	0.000395	1.34	193.57	53.52	0.23
P-38	260	260.23	265.14		265.2	0.00022	1.09	239.31	57.96	0.17
P-39	400	259.78	265.06	261.84	265.08	0.000079	0.61	660.93	185.07	0.1
P-40	400	257.65	265.04	260.42	265.05	0.000029	0.43	928.25	202.15	0.06
P-41	400	256.52	265.03	259.12	265.04	0.000013	0.33	1228.52	221.12	0.04
P-42	400	256.74	265.03	258.54	265.03	0.000008	0.26	1543.37	278.49	0.04
P-43	400	254.83	265.02	256.82	265.02	0.000011	0.33	1226.21	200.67	0.04
P-44	400	252.23	265.02	255.67	265.02	0.000008	0.33	1215.96	150.94	0.04
P-45	400	254.41	265.01	256.64	265.02	0.000009	0.32	1255.66	172.72	0.04
P-46	400	252.74	265.01	255.44	265.01	0.000008	0.32	1248.28	159.3	0.04
P-47	400	252.55	265.01	254.52	265.01	0.000003	0.22	1816.74	208.77	0.02
P-48	400	251.71	265	253.68	265.01	0.000005	0.25	1570.69	188.03	0.03
P-49B	400	251.57	265	253.52	265	0.000005	0.28	1425.18	147.81	0.03
P-49	400	243	265	245.42	265	0.000002	0.2	1984.34	142.9	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelač:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 3.1
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 13/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.2

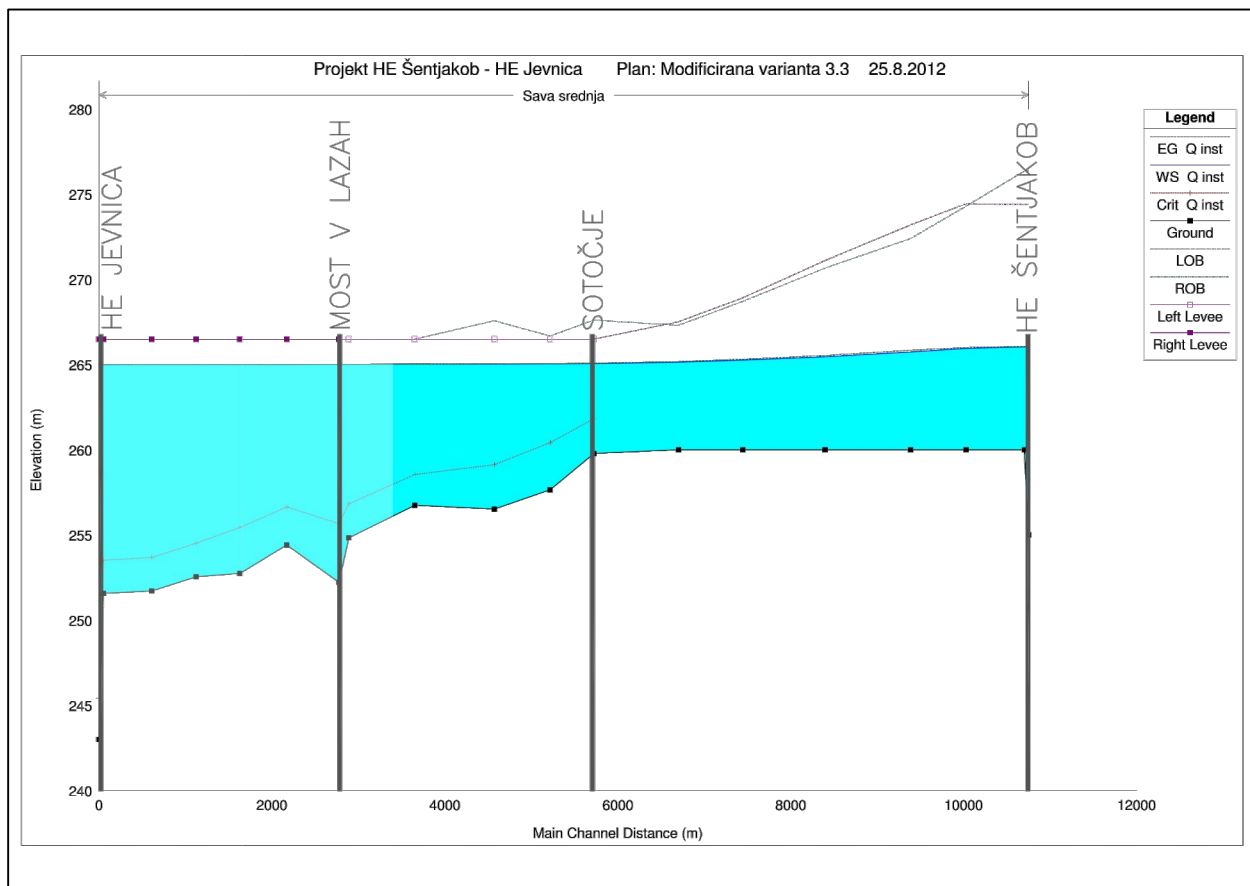


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.2

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	255	266.44		266.44	0.000009	0.34	756.18	87.38	0.04
P-33B	260	261	266.42		266.44	0.000048	0.59	444.19	87.34	0.08
P-34	260	261	266.31		266.37	0.000219	1.11	233.59	54.6	0.17
P-35	260	261	266.07		266.18	0.000427	1.46	177.73	45.2	0.24
P-36	260	261	265.69		265.78	0.000365	1.34	194.62	50.86	0.22
P-37	260	260.88	265.33		265.42	0.000395	1.34	193.57	53.52	0.23
P-38	260	260.23	265.14		265.2	0.00022	1.09	239.31	57.96	0.17
P-39	400	259.78	265.06	261.84	265.08	0.000079	0.61	660.93	185.07	0.1
P-40	400	257.65	265.04	260.42	265.05	0.000029	0.43	928.25	202.15	0.06
P-41	400	256.52	265.03	259.12	265.04	0.000013	0.33	1228.52	221.12	0.04
P-42	400	256.74	265.03	258.54	265.03	0.000008	0.26	1543.37	278.49	0.04
P-43	400	254.83	265.02	256.82	265.02	0.000011	0.33	1226.21	200.67	0.04
P-44	400	252.23	265.02	255.67	265.02	0.000008	0.33	1215.96	150.94	0.04
P-45	400	254.41	265.01	256.64	265.02	0.000009	0.32	1255.66	172.72	0.04
P-46	400	252.74	265.01	255.44	265.01	0.000008	0.32	1248.28	159.3	0.04
P-47	400	252.55	265.01	254.52	265.01	0.000003	0.22	1816.74	208.77	0.02
P-48	400	251.71	265	253.68	265.01	0.000005	0.25	1570.69	188.03	0.03
P-49B	400	251.57	265	253.52	265	0.000005	0.28	1425.18	147.81	0.03
P-49	400	243	265	245.42	265	0.000002	0.2	1984.34	142.9	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelač:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 3.2
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 14/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.3

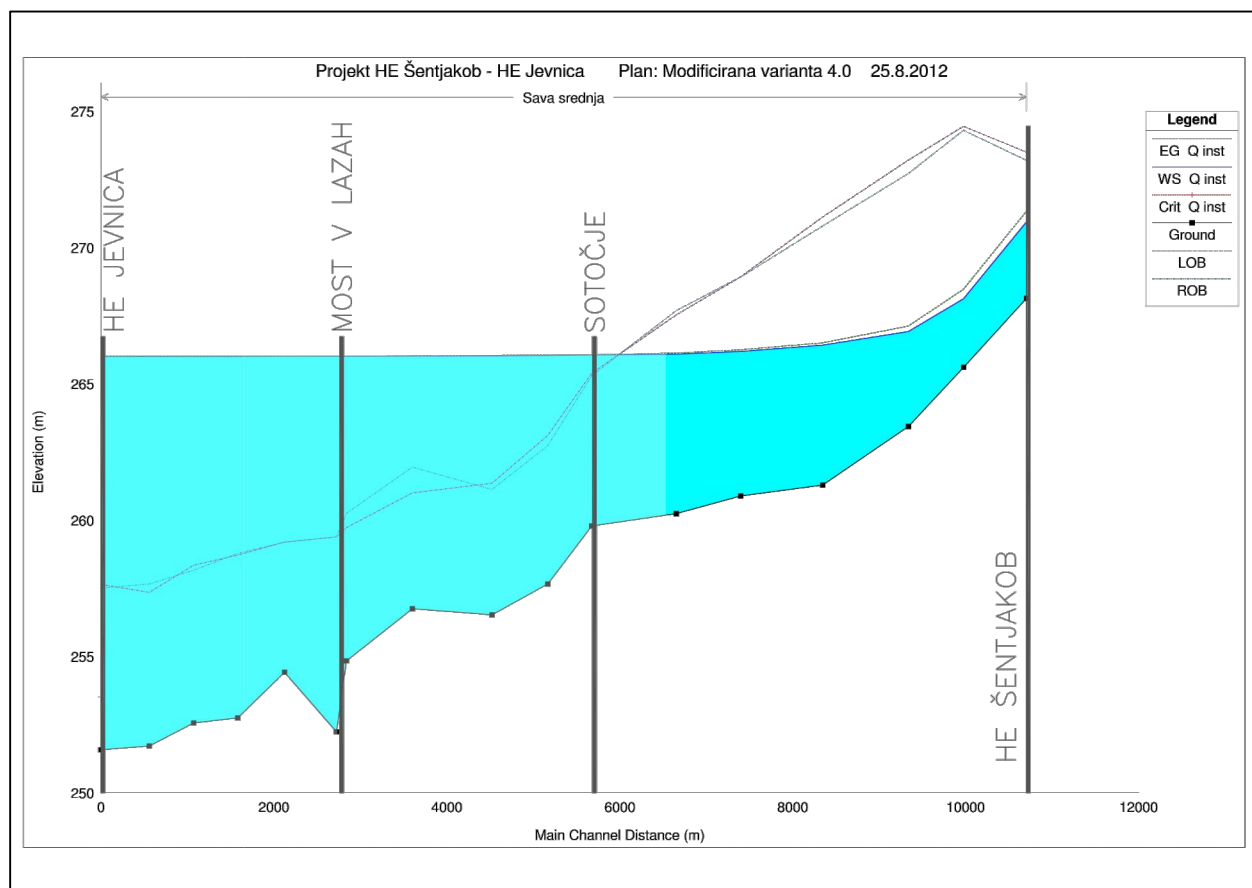


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 3.3

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	255	266.05		266.06	0.00001	0.36	722.96	86.61	0.04
P-33B	260	260	266.04		266.06	0.000036	0.53	486.81	86.59	0.07
P-34	260	260	265.95		266.01	0.00018	1.06	245.53	53.16	0.16
P-35	260	260	265.75		265.85	0.000355	1.4	186.23	43.9	0.22
P-36	260	260	265.46		265.54	0.000266	1.22	213	49.93	0.19
P-37	260	260	265.26		265.32	0.000195	1.05	246.59	57.41	0.16
P-38	260	260	265.14		265.18	0.000155	0.94	275.13	63.82	0.15
P-39	400	259.78	265.06	261.84	265.08	0.000079	0.61	660.93	185.07	0.1
P-40	400	257.65	265.04	260.42	265.05	0.000029	0.43	928.25	202.15	0.06
P-41	400	256.52	265.03	259.12	265.04	0.000013	0.33	1228.52	221.12	0.04
P-42	400	256.74	265.03	258.54	265.03	0.000008	0.26	1543.37	278.49	0.04
P-43	400	254.83	265.02	256.82	265.02	0.000011	0.33	1226.21	200.67	0.04
P-44	400	252.23	265.02	255.67	265.02	0.000008	0.33	1215.96	150.94	0.04
P-45	400	254.41	265.01	256.64	265.02	0.000009	0.32	1255.66	172.72	0.04
P-46	400	252.74	265.01	255.44	265.01	0.000008	0.32	1248.28	159.3	0.04
P-47	400	252.55	265.01	254.52	265.01	0.000003	0.22	1816.74	208.77	0.02
P-48	400	251.71	265	253.68	265.01	0.000005	0.25	1570.69	188.03	0.03
P-49B	400	251.57	265	253.52	265	0.000005	0.28	1425.18	147.81	0.03
P-49	400	243	265	245.42	265	0.000002	0.2	1984.34	142.9	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 3.3
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 15/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.0

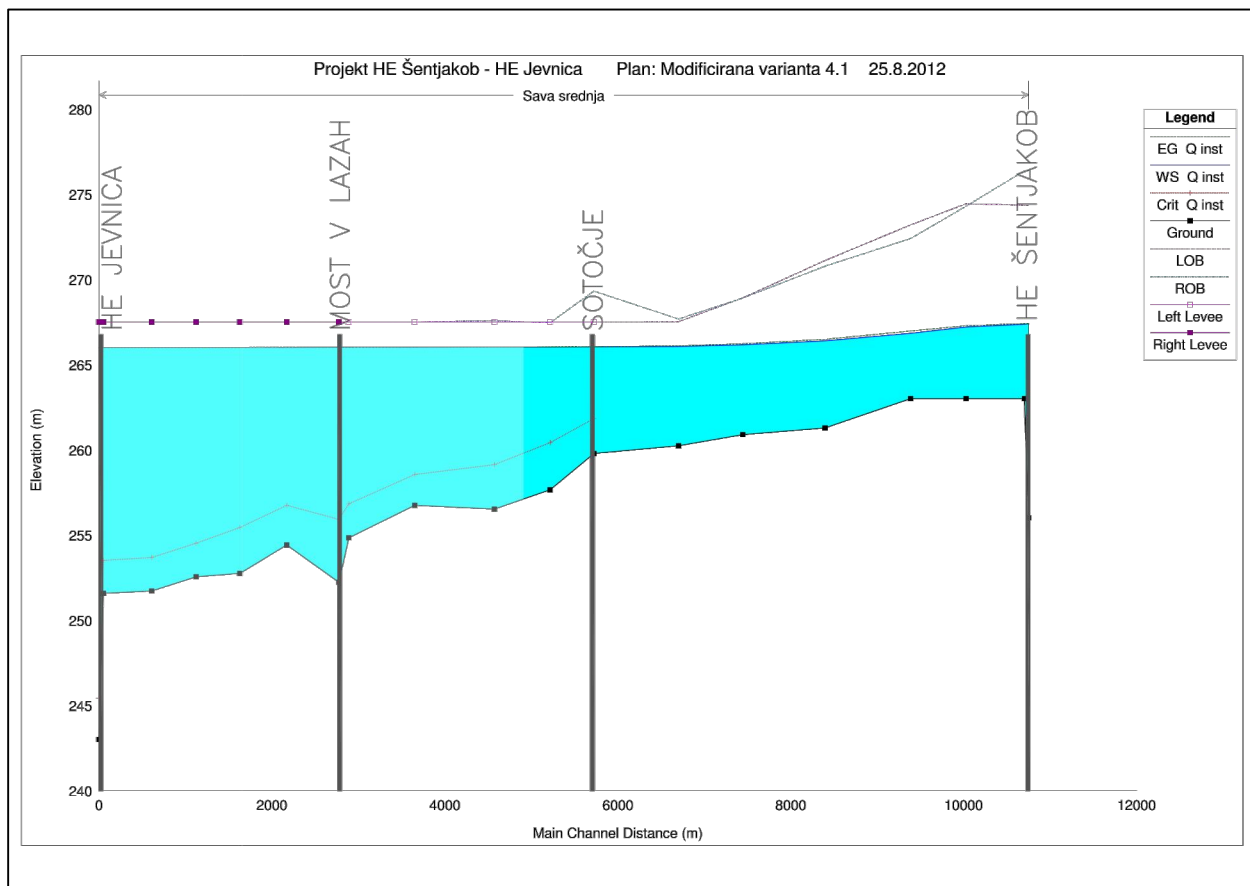


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.0

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	268.13	270.92		271.32	0.003758	2.79	93.15	47.62	0.64
P-34	260	265.6	268.11		268.46	0.004089	2.63	98.93	59.38	0.65
P-35	260	263.43	266.91		267.11	0.001224	1.97	132.16	48.67	0.38
P-36	260	261.28	266.41		266.5	0.00034	1.33	195.23	47.71	0.21
P-37	260	260.88	266.18		266.24	0.000207	1.08	240.38	56.36	0.17
P-38	260	260.23	266.08		266.12	0.000119	0.88	295.88	61.76	0.13
P-39	400	259.78	266.05		266.06	0.000039	0.49	860.93	249.21	0.07
P-40	400	257.65	266.03		266.05	0.000022	0.47	1092.61	254.15	0.06
P-41	400	256.52	266.02		266.03	0.000016	0.45	1370.32	245.29	0.05
P-42	400	256.74	266.02		266.02	0.000008	0.34	1826.49	307.13	0.04
P-43	400	254.83	266.01		266.01	0.00001	0.43	1581.67	231.47	0.04
P-44	400	252.23	266.01		266.01	0.000008	0.41	1439.52	182.52	0.04
P-45	400	254.41	266		266.01	0.000005	0.31	1891.07	244.68	0.03
P-46	400	252.74	266		266.01	0.000005	0.32	1993.69	258.23	0.03
P-47	400	252.55	266		266	0.000003	0.25	3071.77	358.32	0.02
P-48	400	251.71	266		266	0.000002	0.25	3149.82	360.55	0.02
P-49	400	251.57	266	253.51	266	0.000001	0.15	4791.35	505.46	0.01

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelač:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 4.0
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	Številka priloge:
25. 8. 2012	B 16/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.1

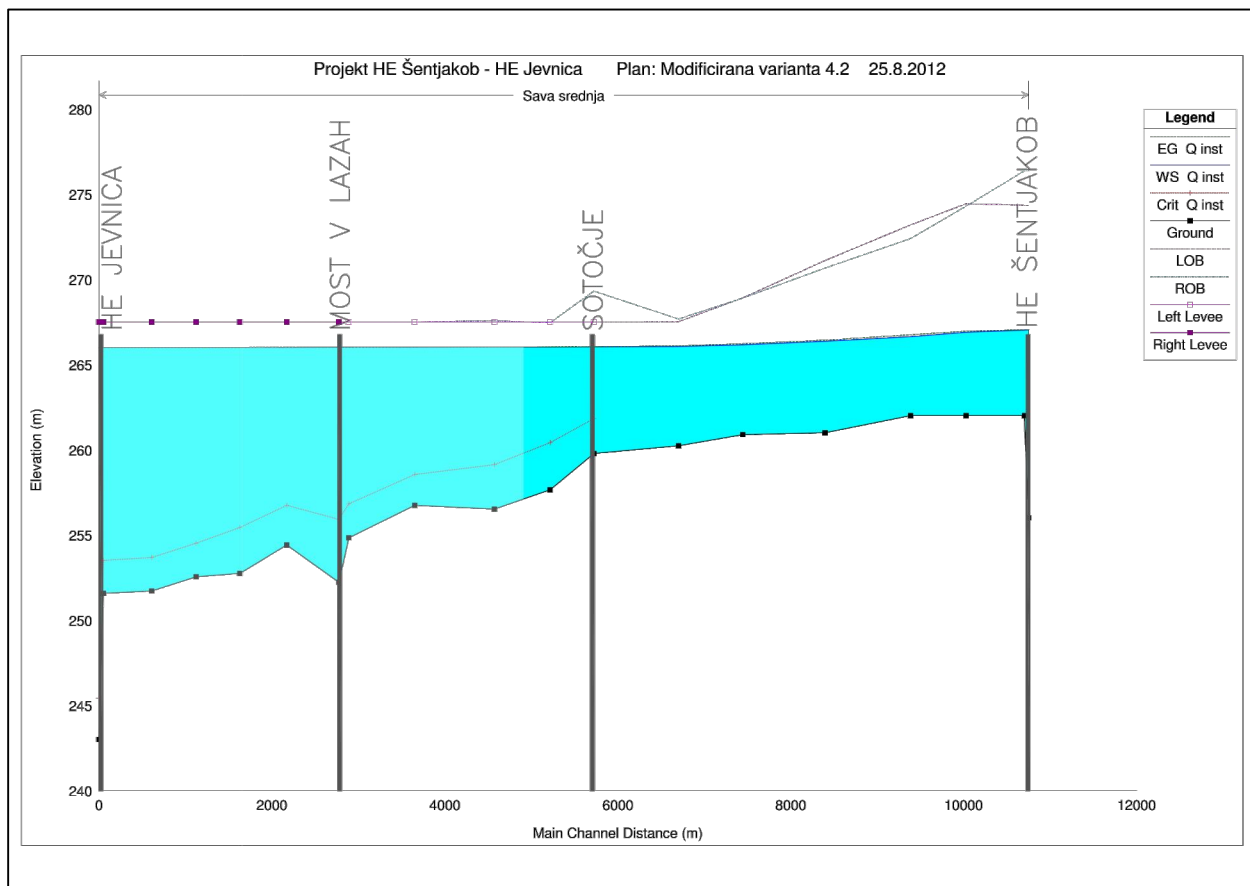


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.1

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	256	267.4		267.4	0.000009	0.35	751.41	87.07	0.04
P-33B	260	263	267.37		267.4	0.000095	0.72	361.54	87.03	0.11
P-34	260	263	267.21		267.29	0.000338	1.24	209.35	58.18	0.21
P-35	260	263	266.83		266.98	0.000712	1.67	155.58	48.25	0.3
P-36	260	261.28	266.4		266.49	0.000343	1.34	194.52	47.66	0.21
P-37	260	260.88	266.17		266.23	0.00021	1.09	239.39	56.3	0.17
P-38	260	260.23	266.07		266.1	0.00012	0.88	294.72	61.69	0.13
P-39	400	259.78	266.04	261.84	266.05	0.000032	0.46	869.79	188.11	0.07
P-40	400	257.65	266.03	260.42	266.03	0.000017	0.35	1135.08	225.76	0.05
P-41	400	256.52	266.02	259.13	266.03	0.000008	0.28	1442.27	222.79	0.03
P-42	400	256.74	266.02	258.54	266.02	0.000005	0.22	1782.33	276.47	0.03
P-43	400	254.83	266.01	256.82	266.02	0.000007	0.29	1399.56	199.41	0.03
P-44	400	252.23	266.01	255.92	266.02	0.000006	0.31	1299.02	148.93	0.03
P-45	400	254.41	266.01	256.75	266.01	0.000006	0.29	1369.61	170.71	0.03
P-46	400	252.74	266	255.44	266.01	0.000006	0.29	1368.14	157.31	0.03
P-47	400	252.55	266	254.52	266.01	0.000002	0.2	1970.71	206.77	0.02
P-48	400	251.71	266	253.68	266	0.000003	0.23	1735.44	188.3	0.02
P-49B	400	251.57	266	253.51	266	0.000004	0.26	1565.4	150.81	0.03
P-49	400	243	266	245.42	266	0.000001	0.19	2125.44	146.09	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 4.1
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 17/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.2

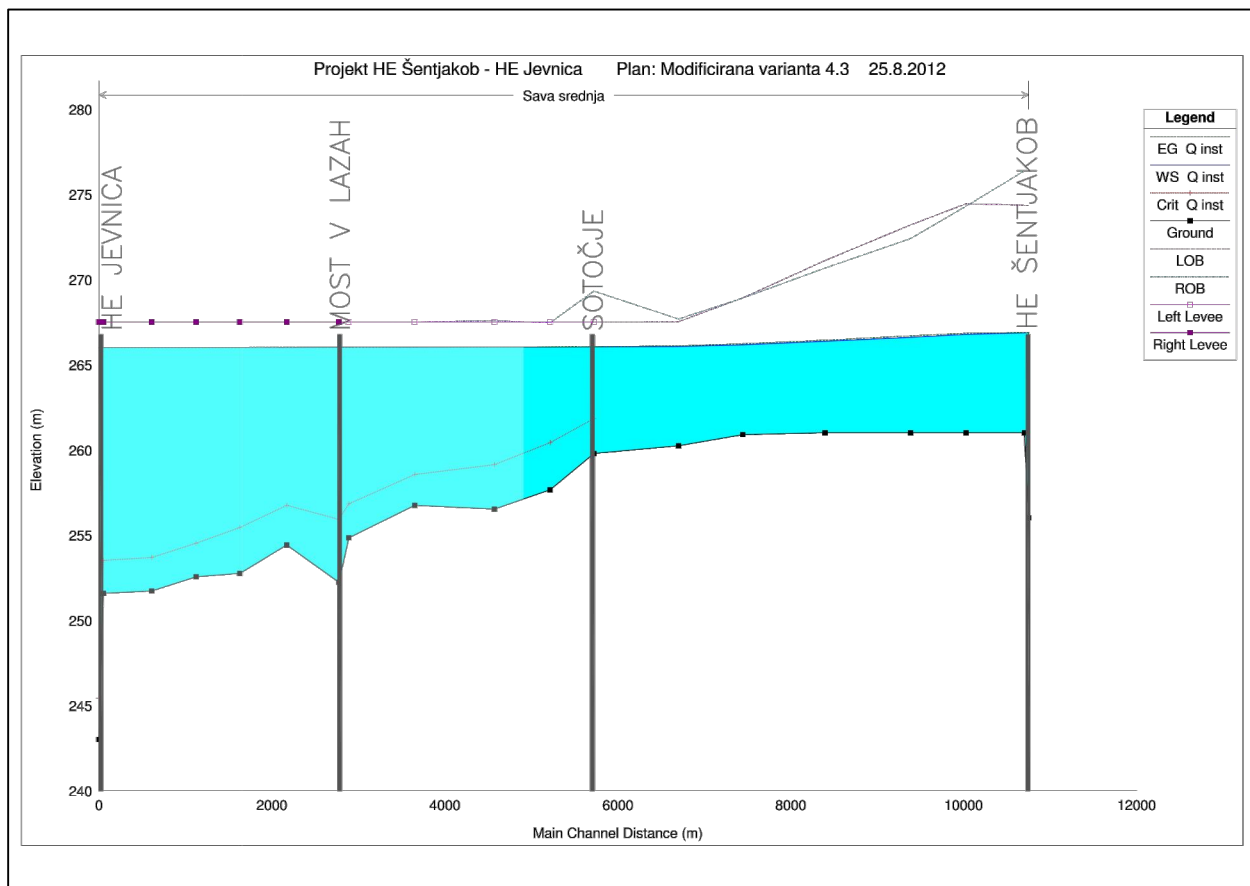


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.2

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	256	267.04		267.05	0.00001	0.36	720.36	86.35	0.04
P-33B	260	262	267.02		267.04	0.000063	0.64	408.35	86.32	0.09
P-34	260	262	266.9		266.96	0.000239	1.13	231.04	56.95	0.18
P-35	260	262	266.65		266.76	0.000454	1.46	177.48	47.5	0.24
P-36	260	261	266.37		266.43	0.000225	1.13	229.95	53.56	0.17
P-37	260	260.88	266.17		266.23	0.00021	1.09	239.39	56.3	0.17
P-38	260	260.23	266.07		266.1	0.00012	0.88	294.72	61.69	0.13
P-39	400	259.78	266.04	261.84	266.05	0.000032	0.46	869.79	188.11	0.07
P-40	400	257.65	266.03	260.42	266.03	0.000017	0.35	1135.08	225.76	0.05
P-41	400	256.52	266.02	259.13	266.03	0.000008	0.28	1442.27	222.79	0.03
P-42	400	256.74	266.02	258.54	266.02	0.000005	0.22	1782.33	276.47	0.03
P-43	400	254.83	266.01	256.82	266.02	0.000007	0.29	1399.56	199.41	0.03
P-44	400	252.23	266.01	255.92	266.02	0.000006	0.31	1299.02	148.93	0.03
P-45	400	254.41	266.01	256.75	266.01	0.000006	0.29	1369.61	170.71	0.03
P-46	400	252.74	266	255.44	266.01	0.000006	0.29	1368.14	157.31	0.03
P-47	400	252.55	266	254.52	266.01	0.000002	0.2	1970.71	206.77	0.02
P-48	400	251.71	266	253.68	266	0.000003	0.23	1735.44	188.3	0.02
P-49B	400	251.57	266	253.51	266	0.000004	0.26	1565.4	150.81	0.03
P-49	400	243	266	245.42	266	0.000001	0.19	2125.44	146.09	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdela:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 4.2
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 18/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.3

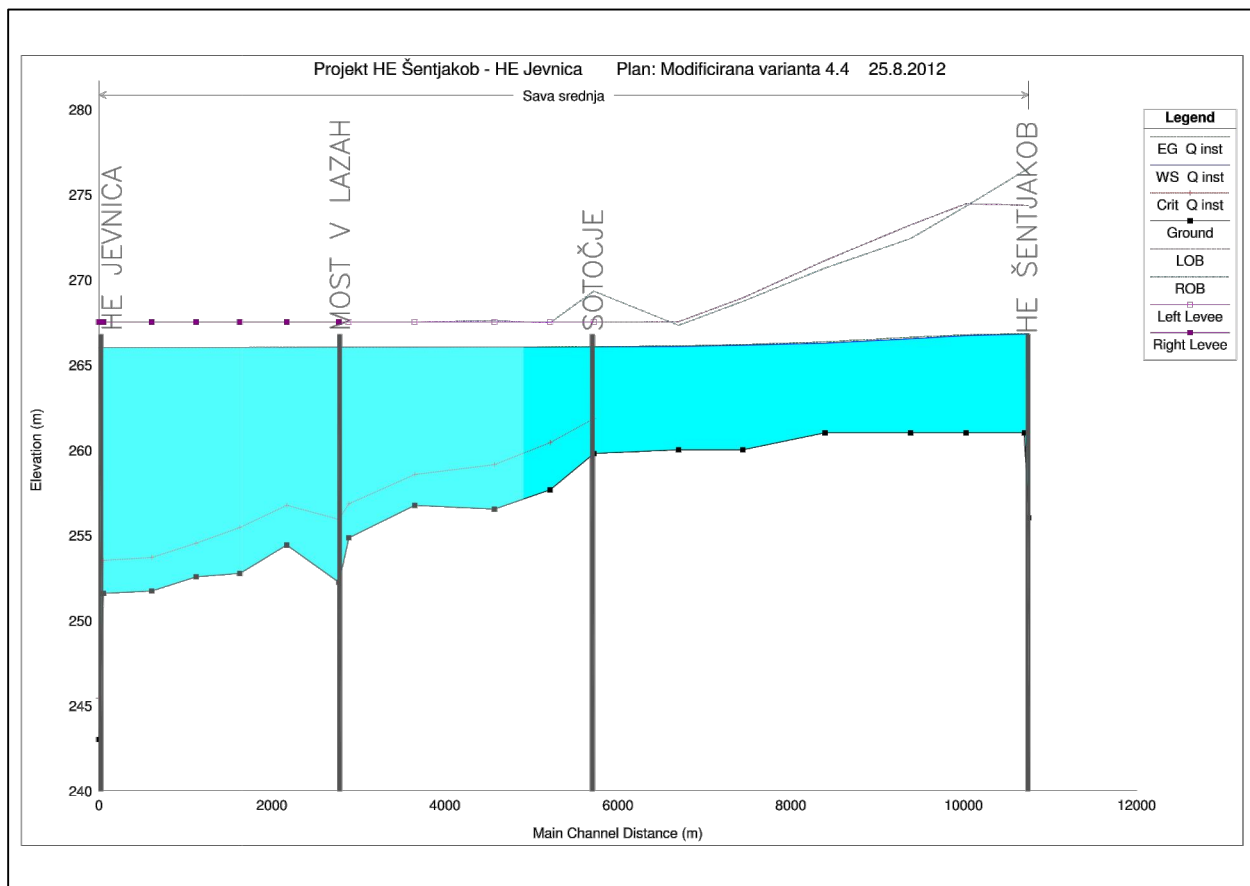


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.3

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	256	266.88		266.89	0.000011	0.37	706.63	86.03	0.04
P-338	260	261	266.87		266.88	0.000039	0.55	470.46	86.02	0.08
P-34	260	261	266.78		266.83	0.000161	1	259.72	56.48	0.15
P-35	260	261	266.61		266.69	0.000294	1.28	202.7	47.36	0.2
P-36	260	261	266.37		266.43	0.000225	1.13	229.95	53.56	0.17
P-37	260	260.88	266.17		266.23	0.00021	1.09	239.39	56.3	0.17
P-38	260	260.23	266.07		266.1	0.00012	0.88	294.72	61.69	0.13
P-39	400	259.78	266.04	261.84	266.05	0.000032	0.46	869.79	188.11	0.07
P-40	400	257.65	266.03	260.42	266.03	0.000017	0.35	1135.08	225.76	0.05
P-41	400	256.52	266.02	259.13	266.03	0.000008	0.28	1442.27	222.79	0.03
P-42	400	256.74	266.02	258.54	266.02	0.000005	0.22	1782.33	276.47	0.03
P-43	400	254.83	266.01	256.82	266.02	0.000007	0.29	1399.56	199.41	0.03
P-44	400	252.23	266.01	255.92	266.02	0.000006	0.31	1299.02	148.93	0.03
P-45	400	254.41	266.01	256.75	266.01	0.000006	0.29	1369.61	170.71	0.03
P-46	400	252.74	266	255.44	266.01	0.000006	0.29	1368.14	157.31	0.03
P-47	400	252.55	266	254.52	266.01	0.000002	0.2	1970.71	206.77	0.02
P-48	400	251.71	266	253.68	266	0.000003	0.23	1735.44	188.3	0.02
P-498	400	251.57	266	253.51	266	0.000004	0.26	1565.4	150.81	0.03
P-49	400	243	266	245.42	266	0.000001	0.19	2125.44	146.09	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 4.3
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 19/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.4

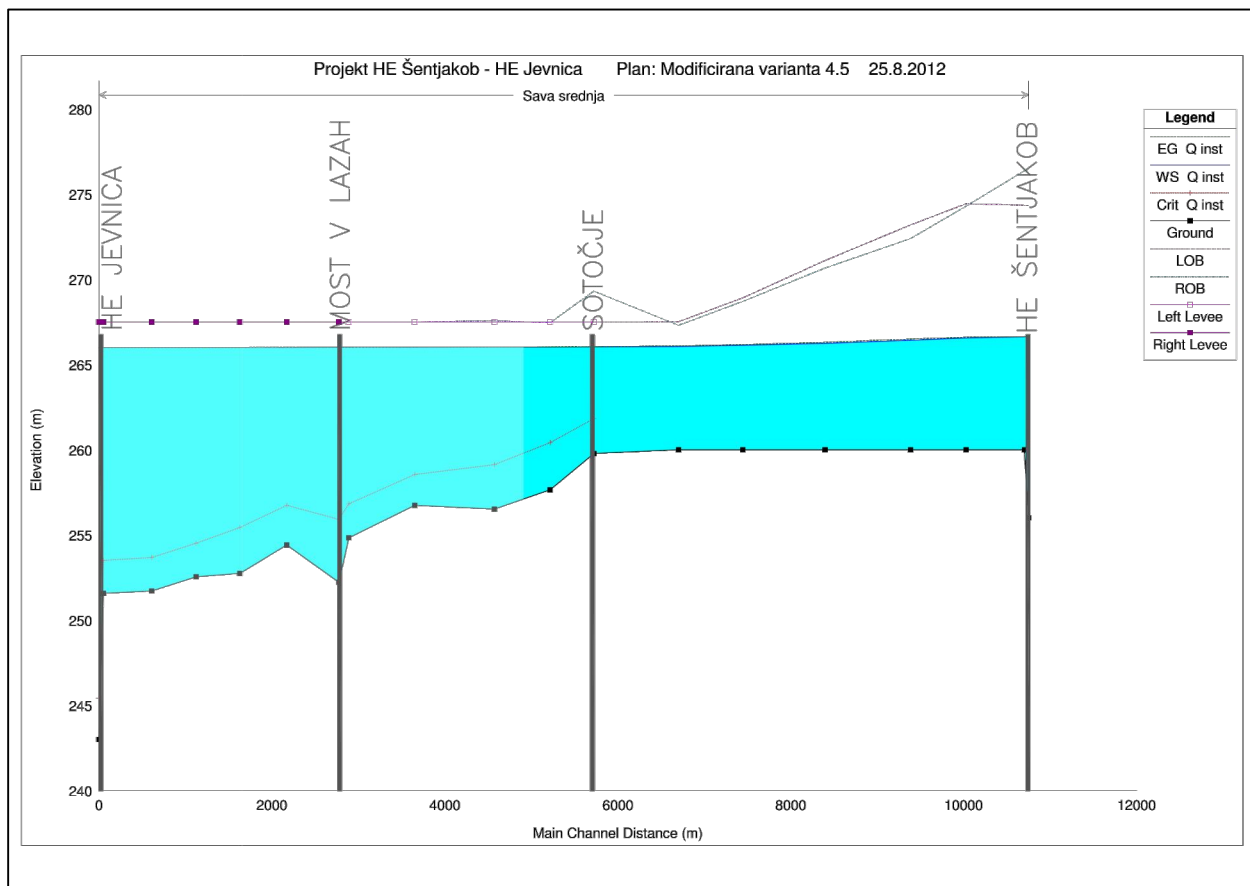


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.4

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	256	266.81		266.81	0.000011	0.37	700.21	85.88	0.04
P-33B	260	261	266.79		266.81	0.000041	0.56	464.01	85.87	0.08
P-34	260	261	266.7		266.76	0.00017	1.02	255.28	56.16	0.15
P-35	260	261	266.52		266.61	0.000312	1.31	198.54	47	0.2
P-36	260	261	266.26		266.33	0.000242	1.16	224.34	53.14	0.18
P-37	260	260	266.13		266.17	0.000112	0.87	298.37	60.91	0.13
P-38	260	260	266.07		266.1	0.000086	0.77	336.16	67.54	0.11
P-39	400	259.78	266.04	261.84	266.05	0.000032	0.46	869.79	188.11	0.07
P-40	400	257.65	266.03	260.42	266.03	0.000017	0.35	1135.08	225.76	0.05
P-41	400	256.52	266.02	259.13	266.03	0.000008	0.28	1442.27	222.79	0.03
P-42	400	256.74	266.02	258.54	266.02	0.000005	0.22	1782.33	276.47	0.03
P-43	400	254.83	266.01	256.82	266.02	0.000007	0.29	1399.56	199.41	0.03
P-44	400	252.23	266.01	255.92	266.02	0.000006	0.31	1299.02	148.93	0.03
P-45	400	254.41	266.01	256.75	266.01	0.000006	0.29	1369.61	170.71	0.03
P-46	400	252.74	266	255.44	266.01	0.000006	0.29	1368.14	157.31	0.03
P-47	400	252.55	266	254.52	266.01	0.000002	0.2	1970.71	206.77	0.02
P-48	400	251.71	266	253.68	266	0.000003	0.23	1735.44	188.3	0.02
P-49B	400	251.57	266	253.51	266	0.000004	0.26	1565.4	150.81	0.03
P-49	400	243	266	245.42	266	0.000001	0.19	2125.44	146.09	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdelal:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 4.4
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 20/21

GRAFIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.5

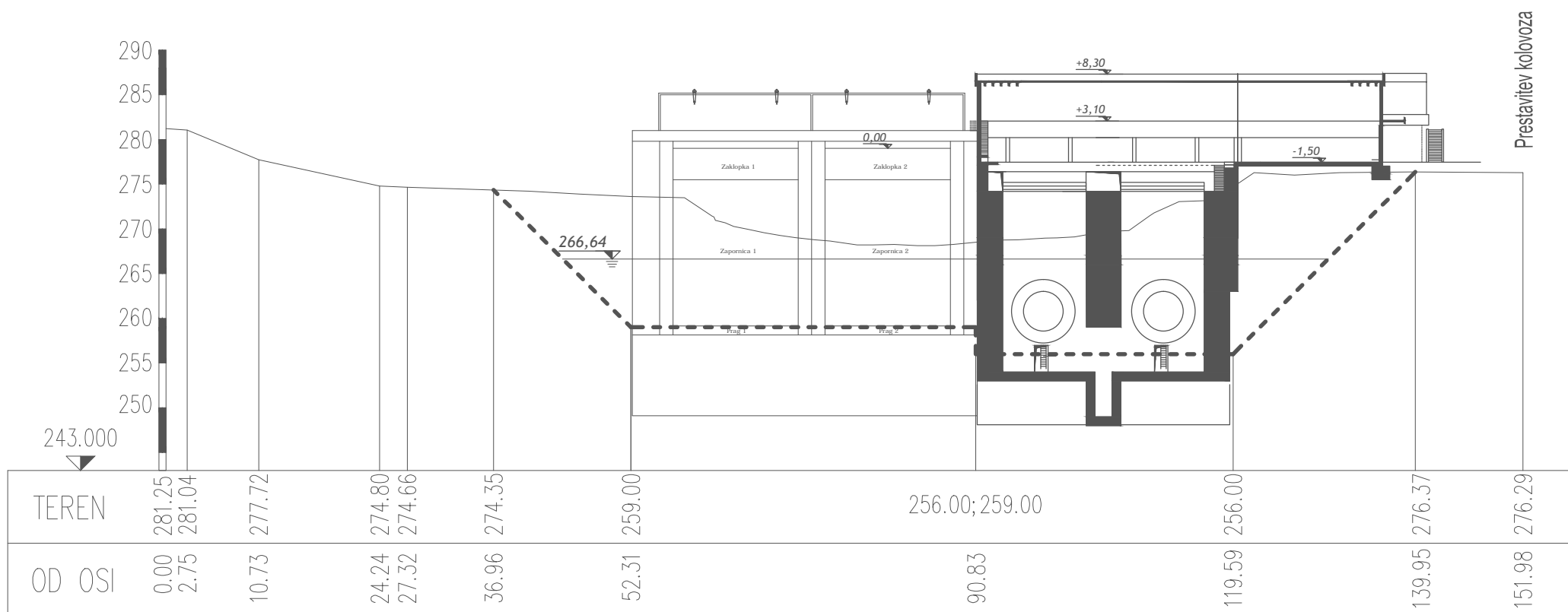


TABELARIČNI PRIKAZ ZAJEZITVENE KRIVULJE ZA MODIFICIRANO RAZLIČICO 4.5

Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P-33	260	256	266.64		266.65	0.000012	0.38	686.17	85.56	0.04
P-33B	260	260	266.64		266.65	0.000026	0.49	533.88	86.63	0.06
P-34	260	260	266.57		266.61	0.000126	0.93	278.95	55.61	0.13
P-35	260	260	266.43		266.5	0.000232	1.2	217.03	46.63	0.18
P-36	260	260	266.25		266.3	0.000162	1.02	253.72	53.09	0.15
P-37	260	260	266.13		266.17	0.000112	0.87	298.37	60.91	0.13
P-38	260	260	266.07		266.1	0.000086	0.77	336.16	67.54	0.11
P-39	400	259.78	266.04	261.84	266.05	0.000032	0.46	869.79	188.11	0.07
P-40	400	257.65	266.03	260.42	266.03	0.000017	0.35	1135.08	225.76	0.05
P-41	400	256.52	266.02	259.13	266.03	0.000008	0.28	1442.27	222.79	0.03
P-42	400	256.74	266.02	258.54	266.02	0.000005	0.22	1782.33	276.47	0.03
P-43	400	254.83	266.01	256.82	266.02	0.000007	0.29	1399.56	199.41	0.03
P-44	400	252.23	266.01	255.92	266.02	0.000006	0.31	1299.02	148.93	0.03
P-45	400	254.41	266.01	256.75	266.01	0.000006	0.29	1369.61	170.71	0.03
P-46	400	252.74	266	255.44	266.01	0.000006	0.29	1368.14	157.31	0.03
P-47	400	252.55	266	254.52	266.01	0.000002	0.2	1970.71	206.77	0.02
P-48	400	251.71	266	253.68	266	0.000003	0.23	1735.44	188.3	0.02
P-49B	400	251.57	266	253.51	266	0.000004	0.26	1565.4	150.81	0.03
P-49	400	243	266	245.42	266	0.000001	0.19	2125.44	146.09	0.02

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi
Izdela:	Nejc Benedik
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Projekt:	Izpis rezultatov iz programa HEC - RAS
Načrt:	Prikaz rezultatov za modificirano verzijo 4.5
Faza:	Idejna zasnova
Opombe:	
Datum:	25. 8. 2012
	Številka priloge: B 21/21

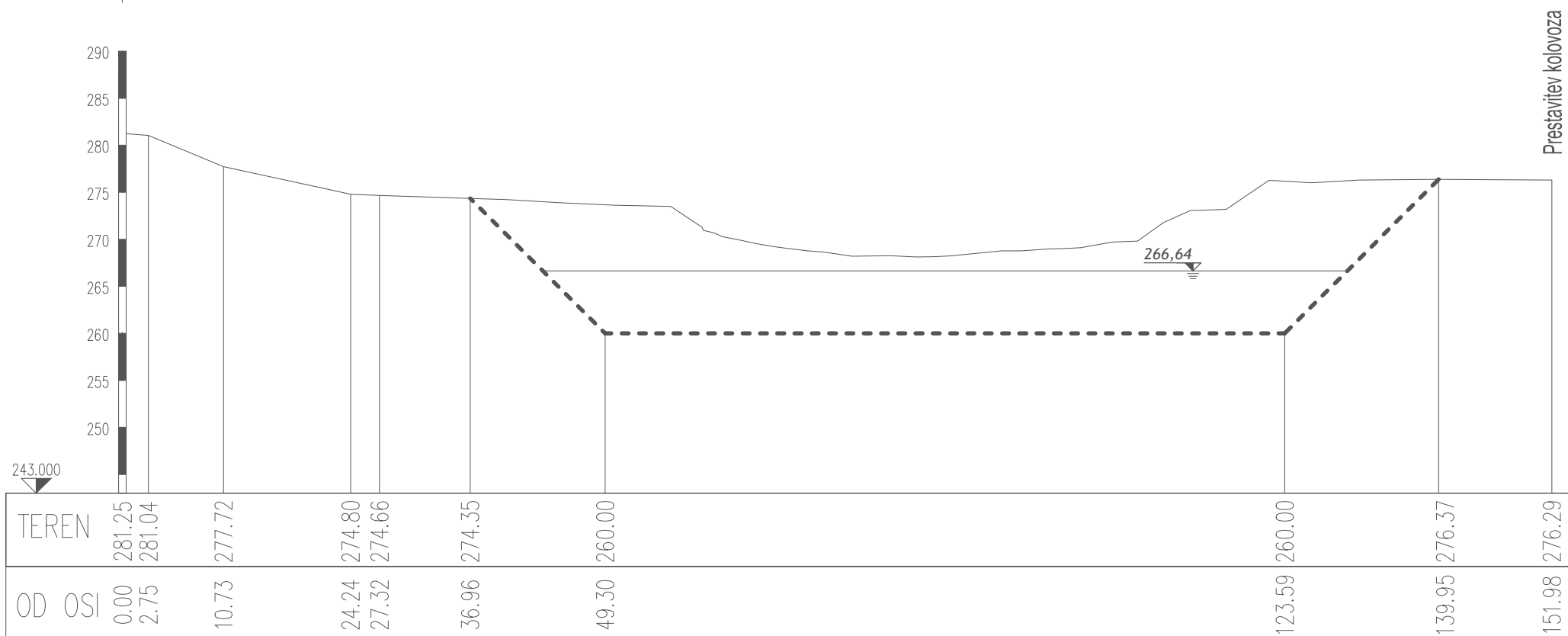
Prečni prerez P-33



LEGENDA:
 Kontura obstoječega terena
 Kontura predvidenega izkopa

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-33	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:640	D 1/19

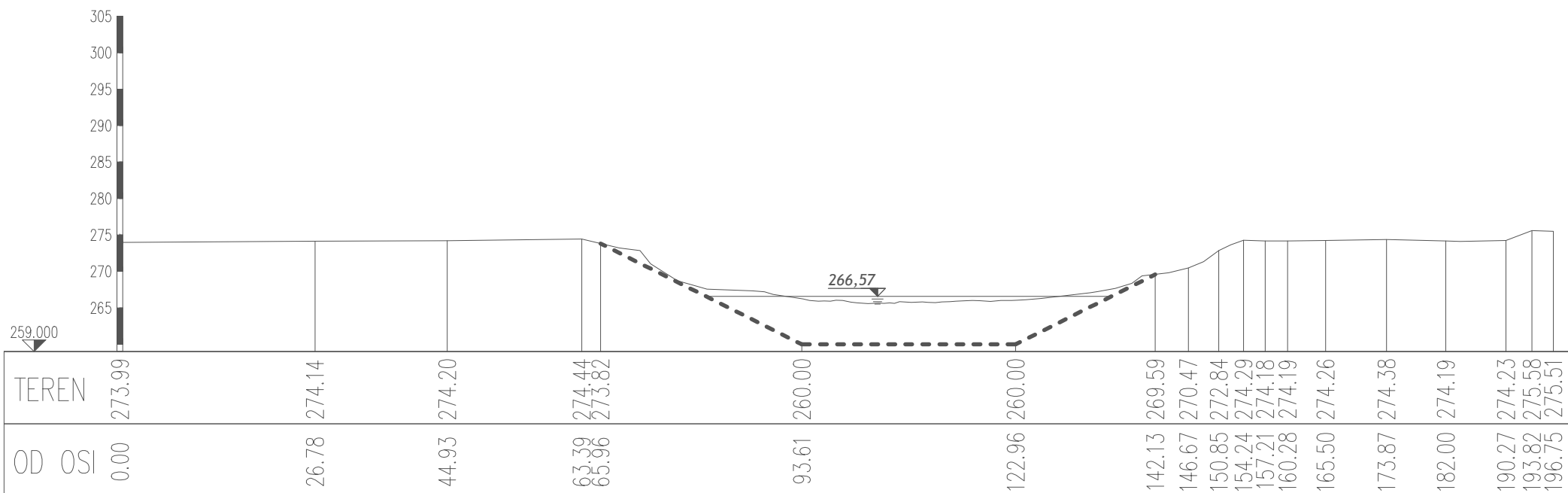
Prečni prerez P-33B



LEGENDA:
 Kontura obstoječega terena
 Kontura predvidenega izkopa

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdela:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-33B	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:610	D 2/19

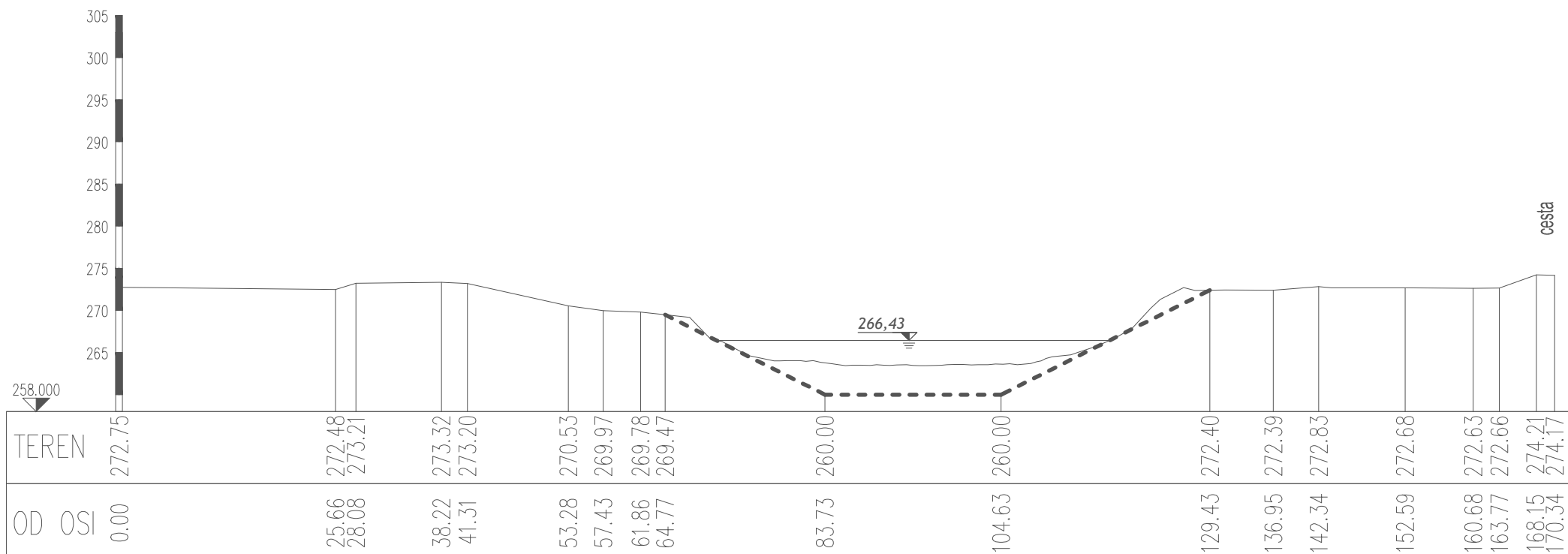
Prečni prerez P-34



LEGENDA:
 Kontura obstoječega terena
 Kontura predvidenega izkopa

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-34	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:780	D 3/19

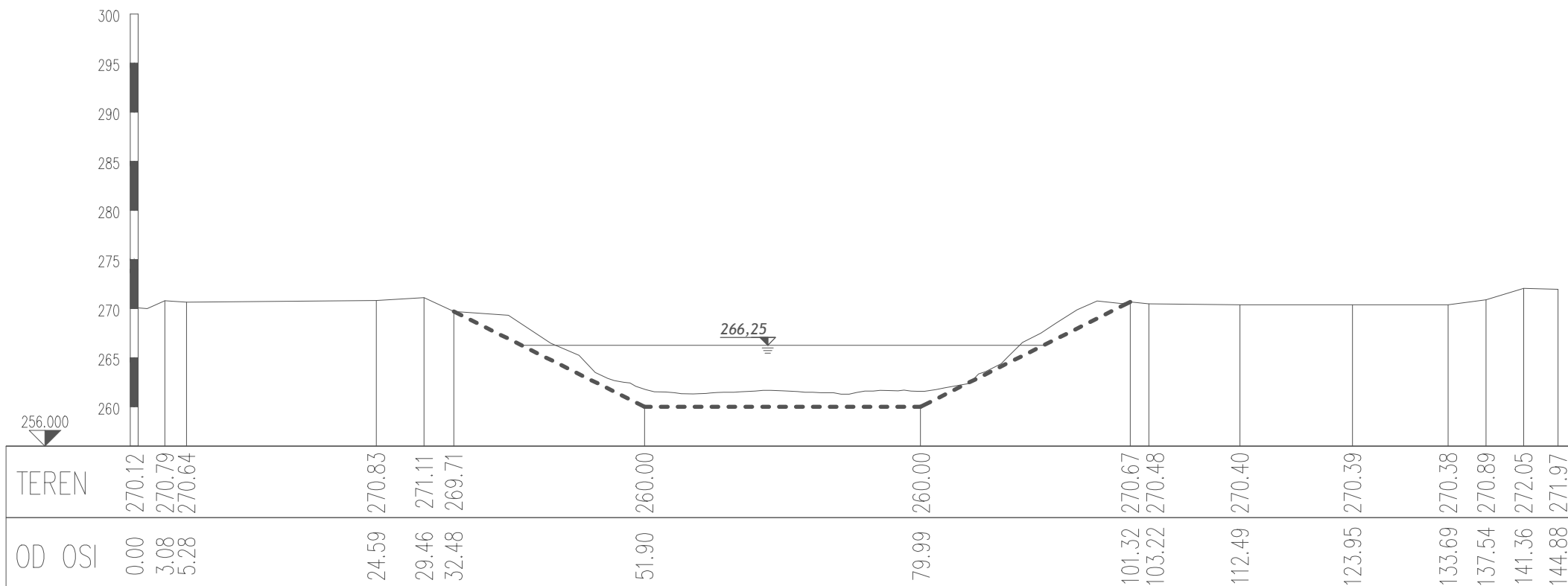
Prečni prerez P-35



LEGENDA:
 Kontura obstoječega terena
 Kontura predvidenega izkopa

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-35	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:670	D 4/19

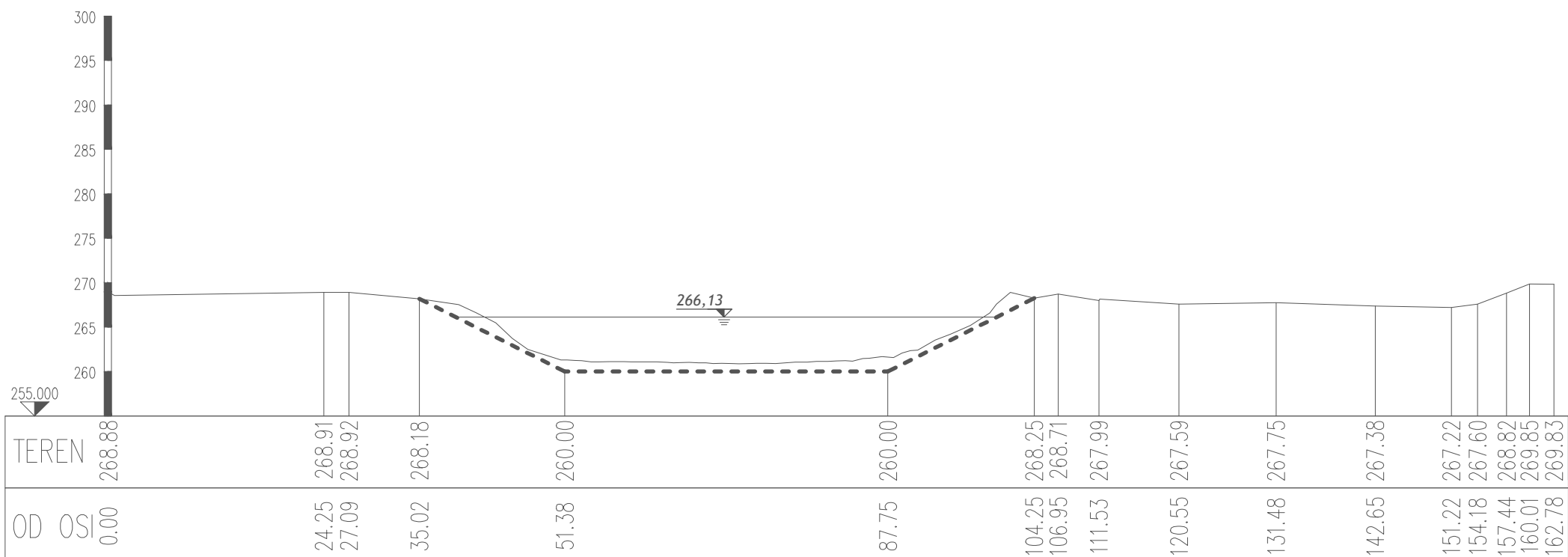
Prečni prerez P-36



LEGENDA:
 Kontura obstoječega terena
 Kontura predvidenega izkopa

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-36	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:570	D 5/19

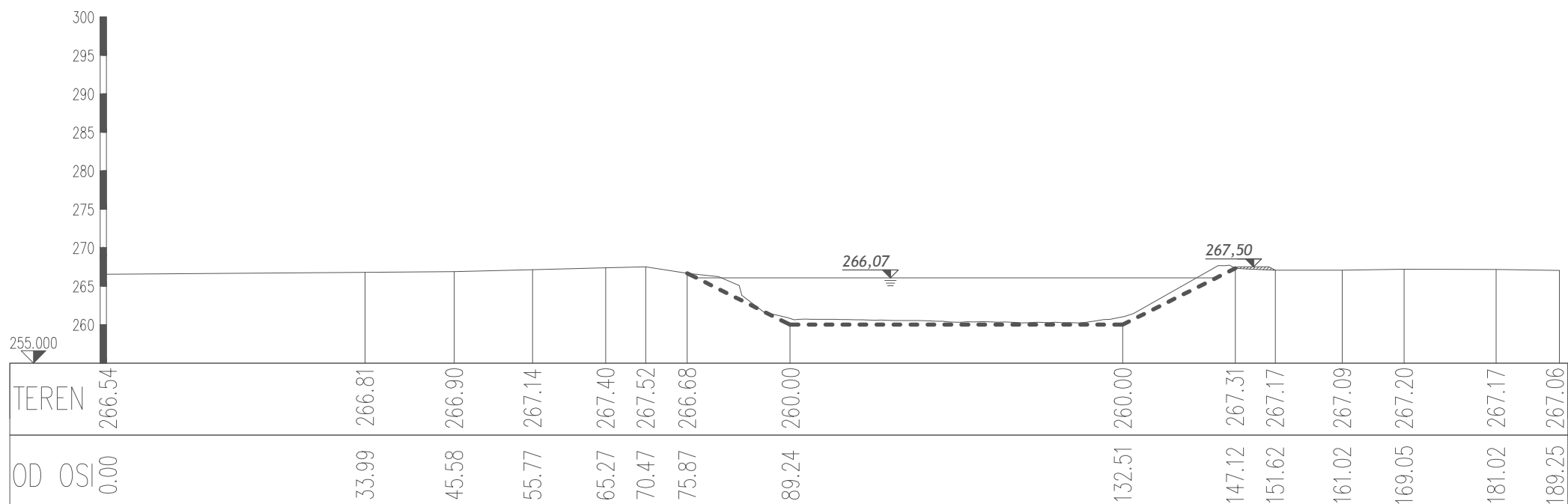
Prečni prerez P-37



LEGENDA:
 Kontura obstoječega terena
 Kontura predvidenega izkopa

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdela:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-37	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:640	D 6/19

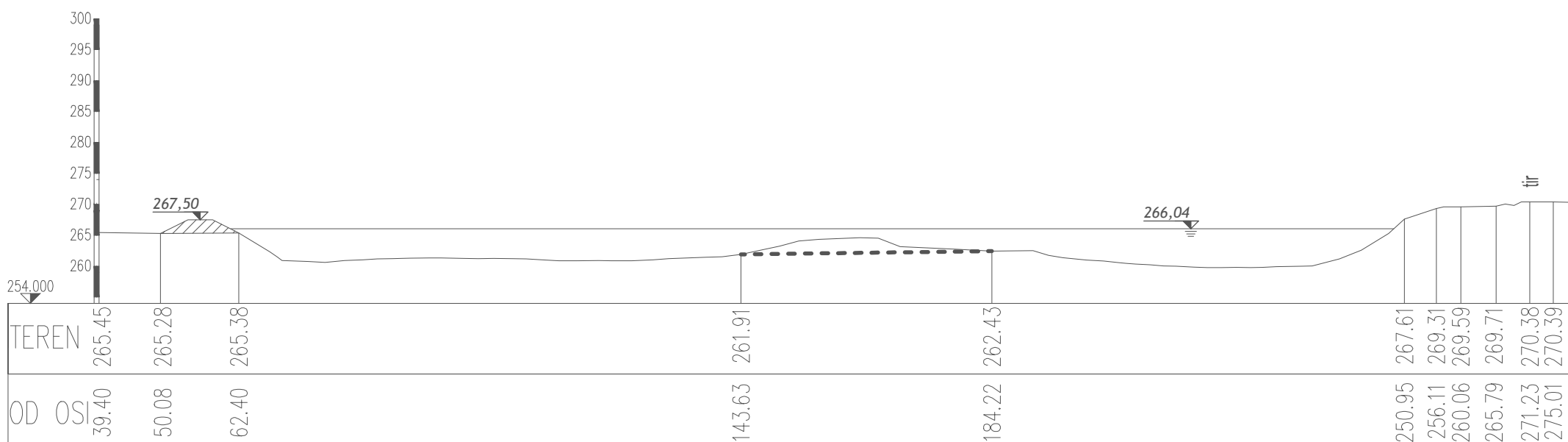
Prečni prerez P-38






- LEGENDA:**
- Kontura obstoječega terena**
 - Kontura predvidenega izkopa**
 - Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-38	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:740	D 7/19

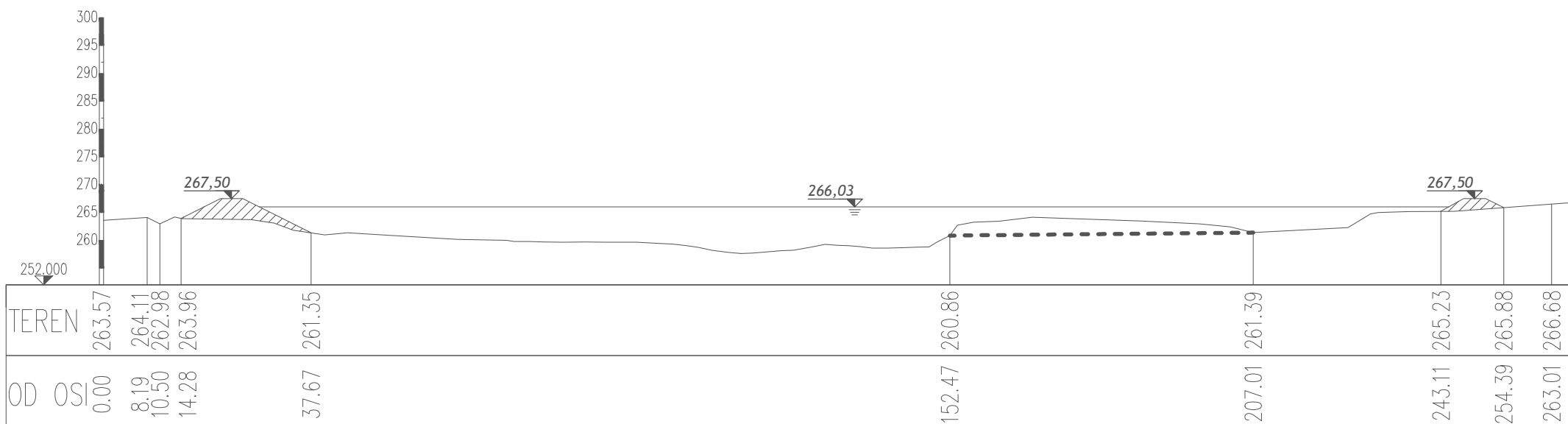
Prečni prerez P-39






- LEGENDA:**
-  **Kontura obstoječega terena**
 -  **Kontura predvidenega izkopa**
 -  **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-39	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:900	D 8/19

Prečni prerez P-40

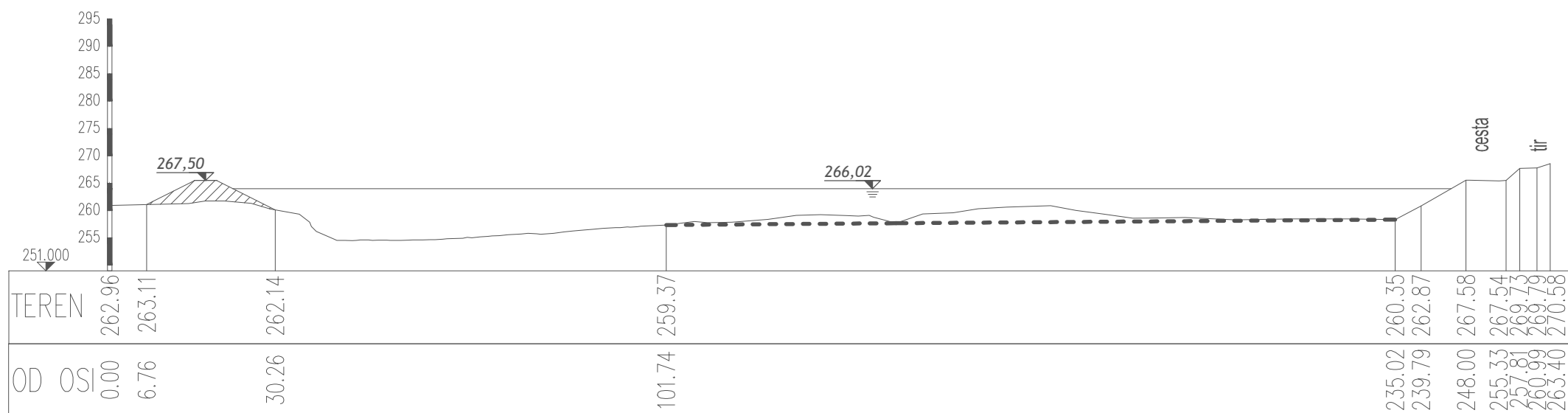





LEGENDA:

-  **Kontura obstoječega terena**
-  **Kontura predvidenega izkopa**
-  **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-40	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:1000	D 9/19

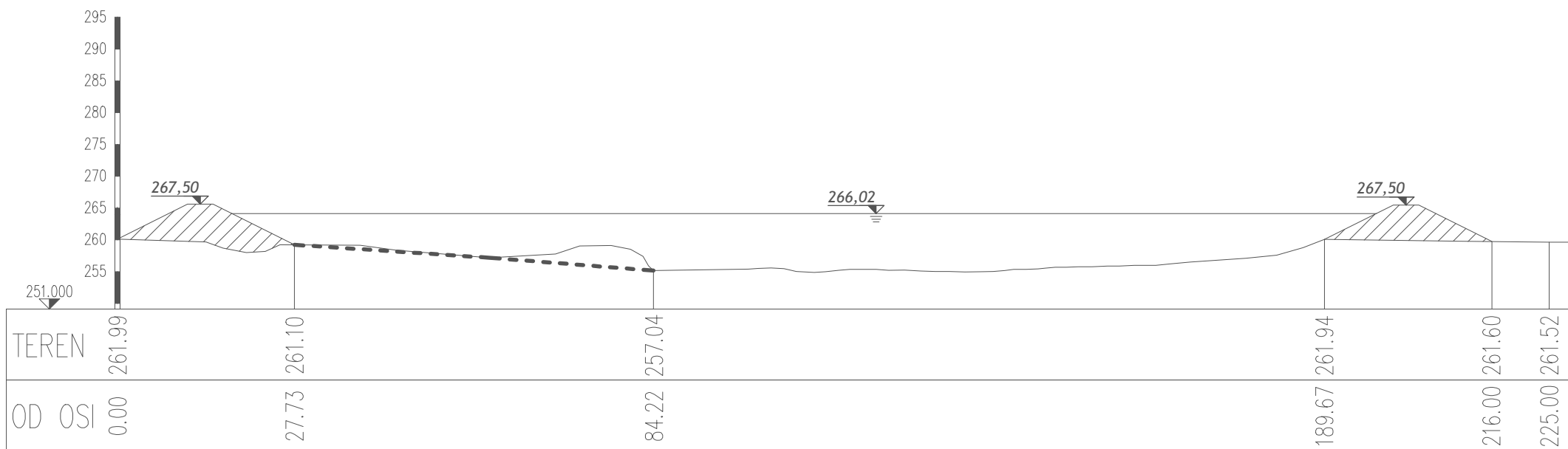
Prečni prerez P-41



- LEGENDA:**
-  **Kontura obstoječega terena**
 -  **Kontura predvidenega izkopa**
 -  **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-41	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:1020	D 10/19

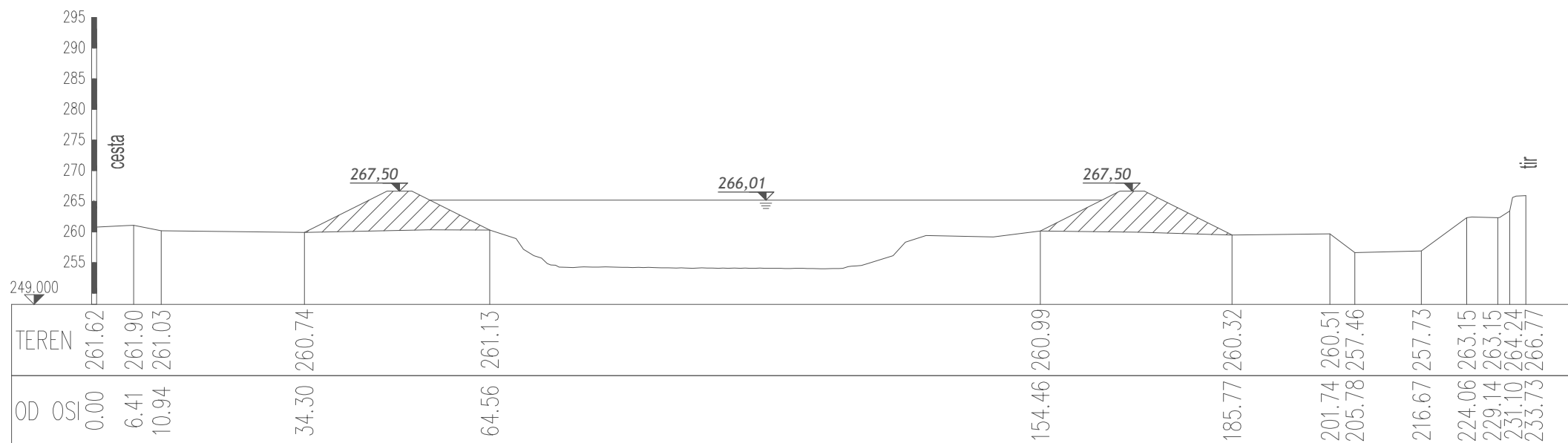
Prečni prerez P-42




- LEGENDA:**
- Kontura obstoječega terena**
 - Kontura predvidenega izkopa**
 - Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-42	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:880	D 11/19

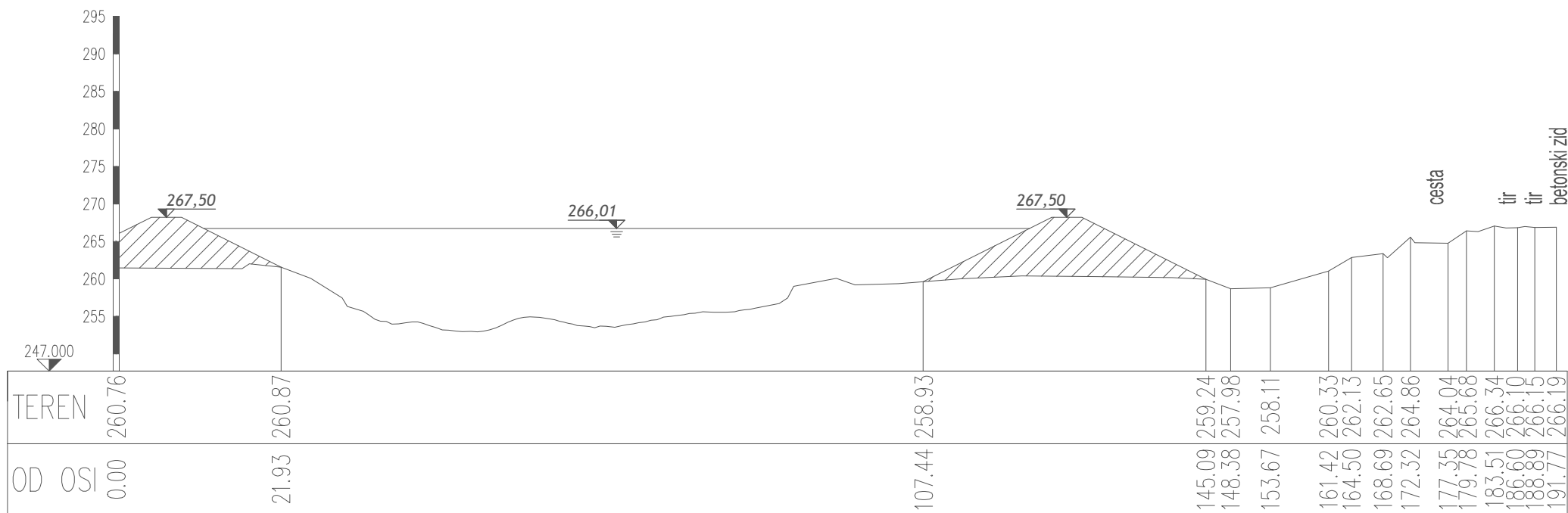
Prečni prerez P-43



LEGENDA:  **Kontura obstoječega terena**
 **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-43	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:920	D 12/19

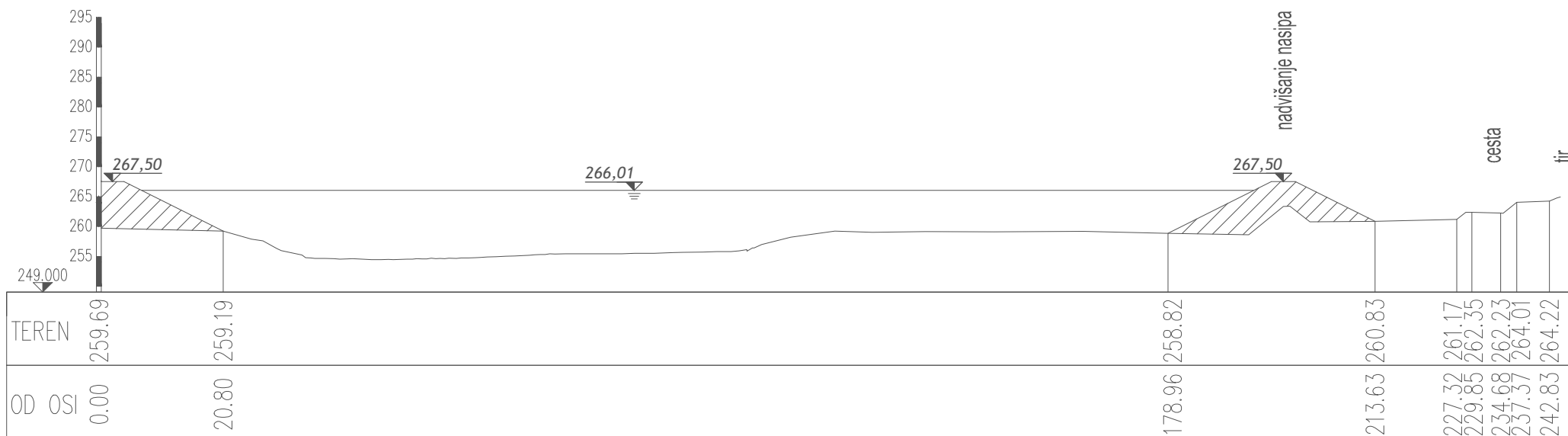
Prečni prerez P-44



LEGENDA:  **Kontura obstoječega terena**
 **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-44	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:760	D 13/19

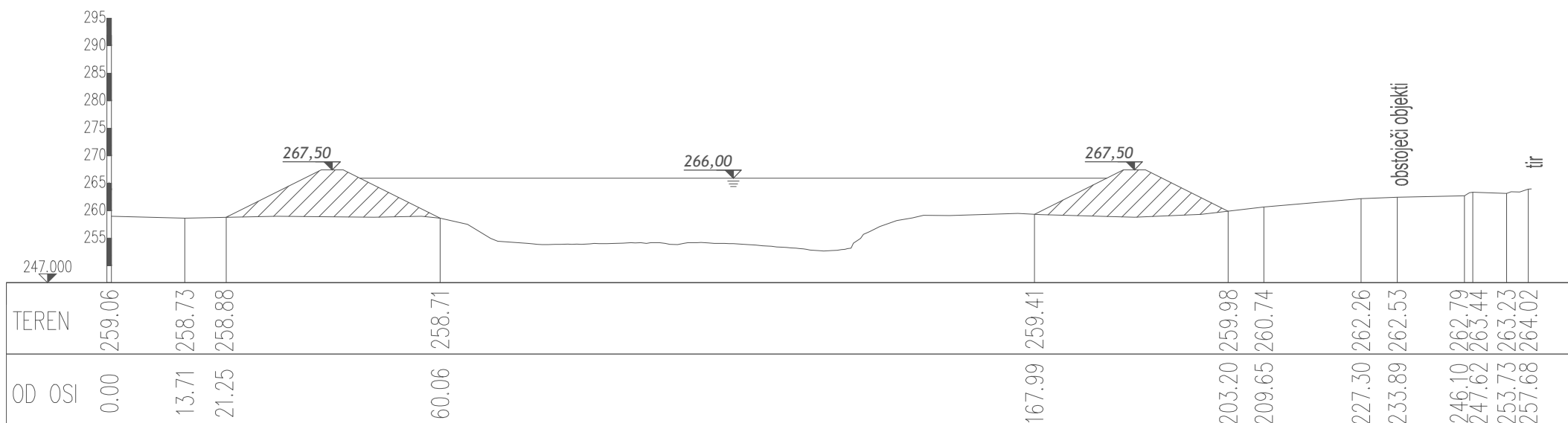
Prečni prerez P-45



LEGENDA:  **Kontura obstoječega terena**
 **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdalal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-45	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:965	D 14/19

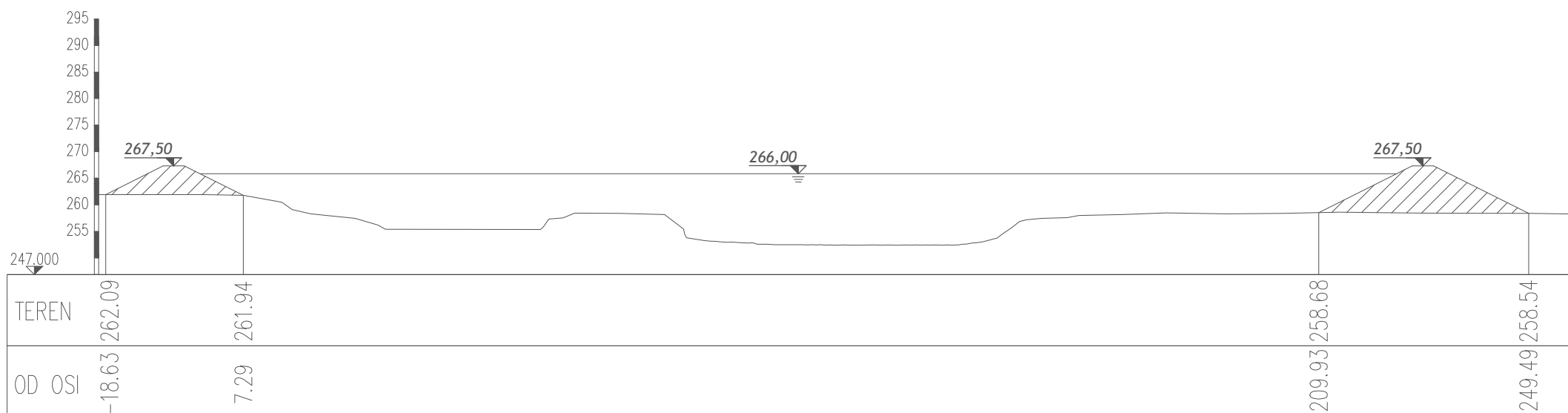
Prečni prerez P-46




LEGENDA:  **Kontura obstoječega terena**
 **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-46	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:1020	D 15/19

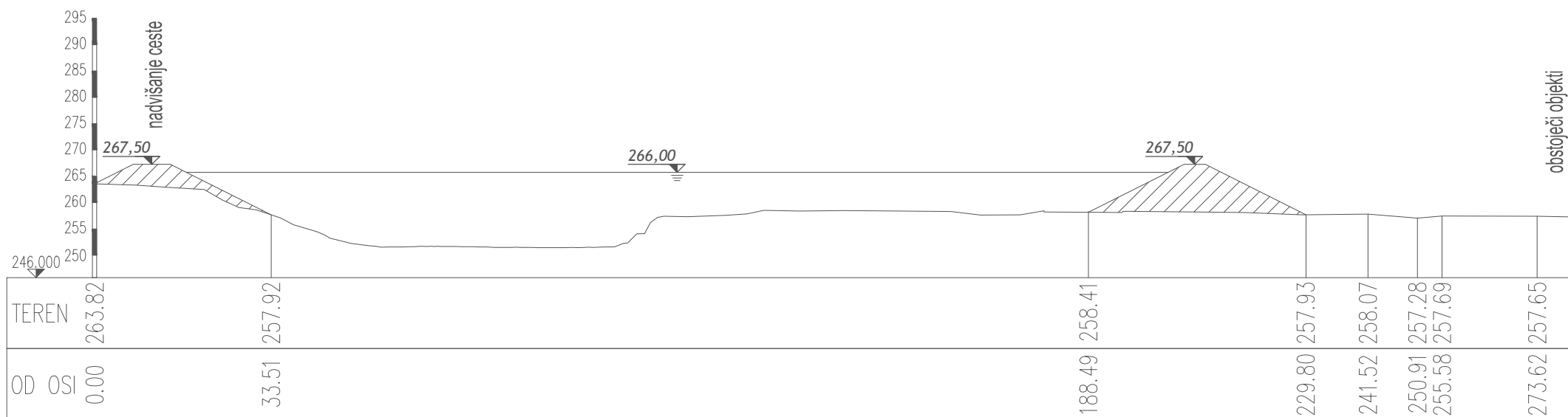
Prečni prerez P-47



LEGENDA:  **Kontura obstoječega terena**
 **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-47	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:1055	D 16/19

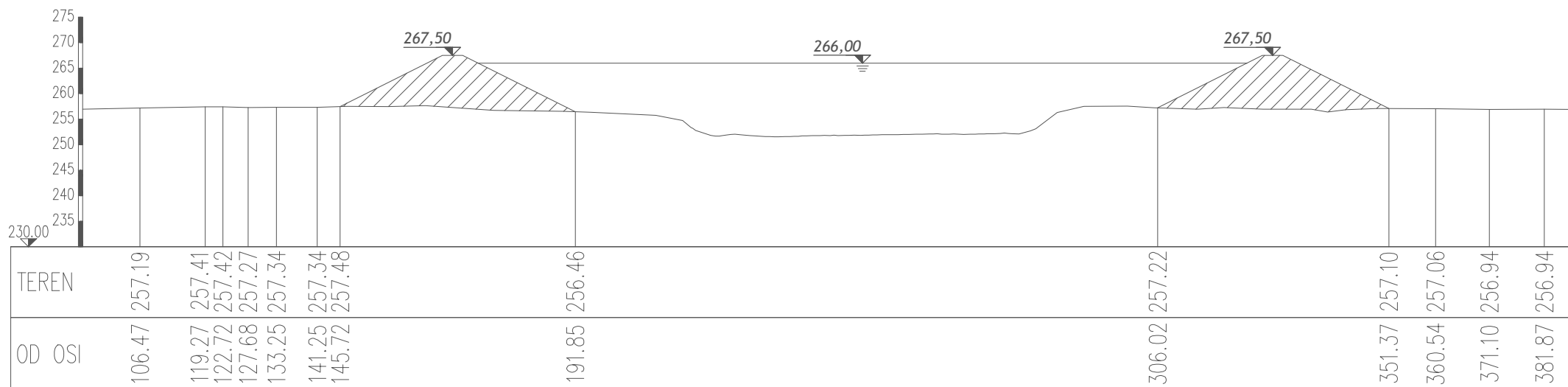
Prečni prerez P-48



LEGENDA:  **Kontura obstoječega terena**
 **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-48	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:1060	D 17/19

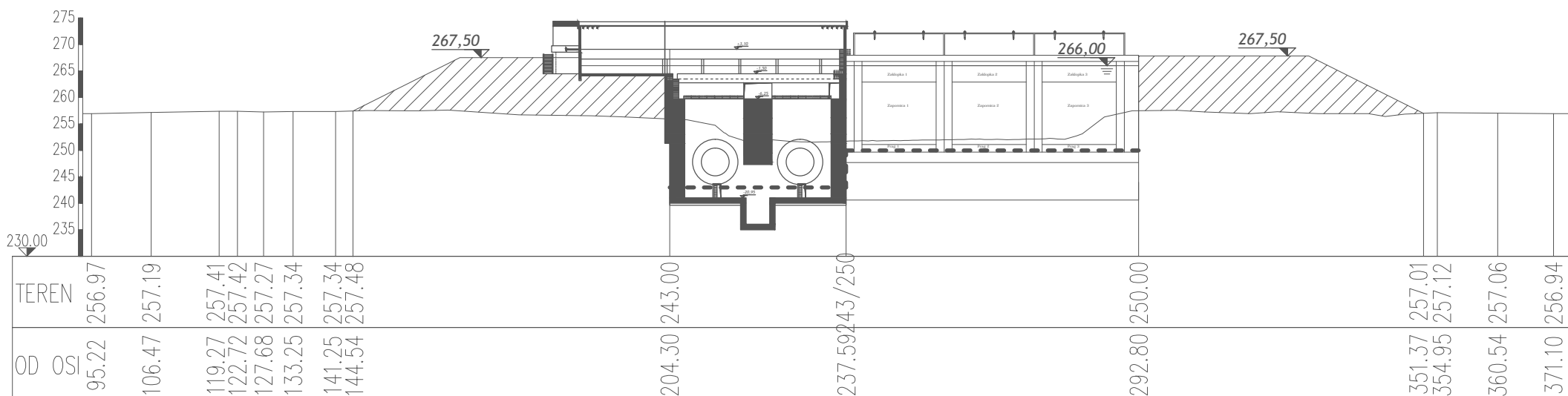
Prečni prerez P-49B



LEGENDA:  **Kontura obstoječega terena**
 **Nasip**

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-49B	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:1090	D 18/19

Prečni prerez P-49

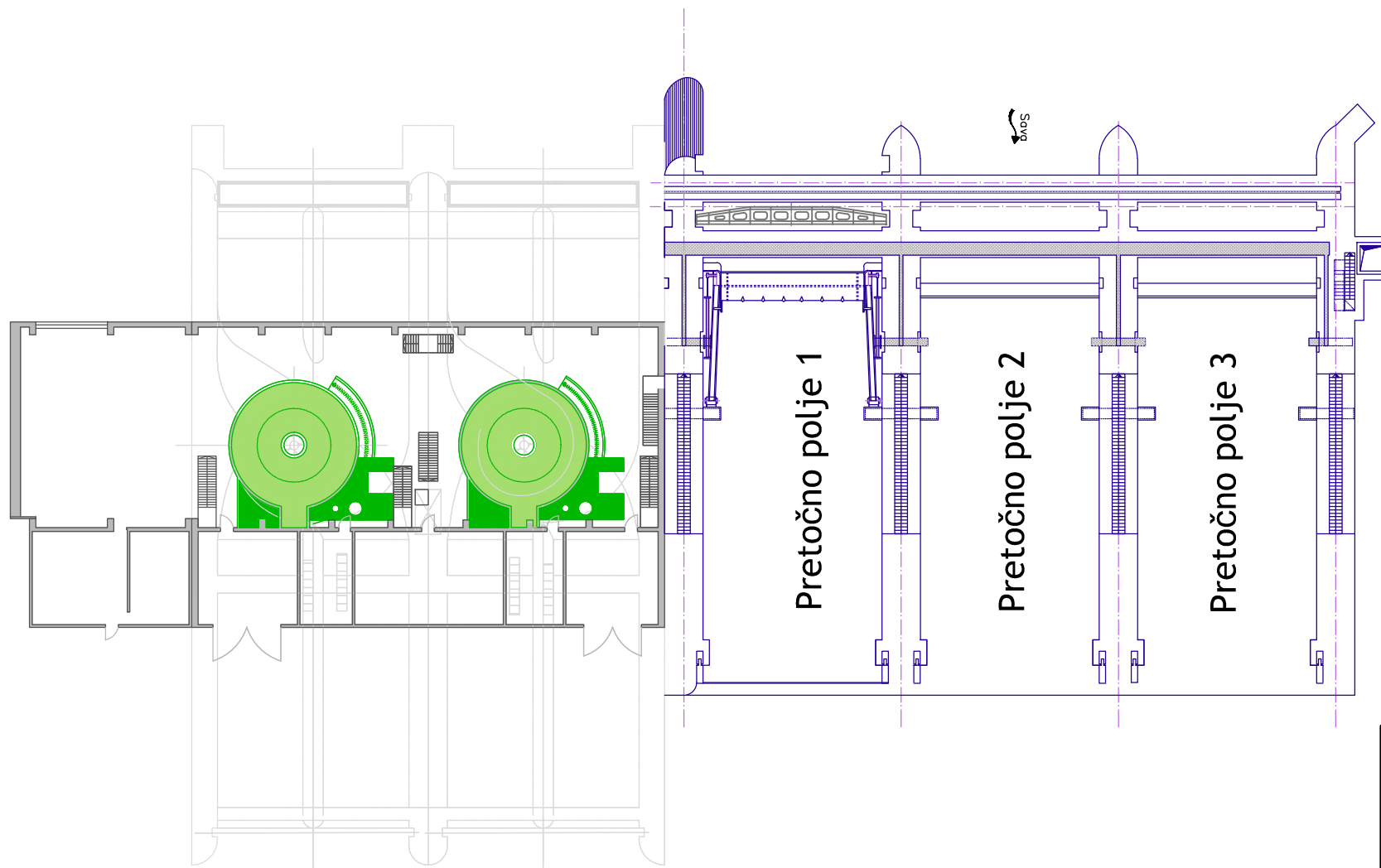


LEGENDA:

- Kontura obstoječega terena**
- Kontura predvidenega izkopa**
- Nasip**

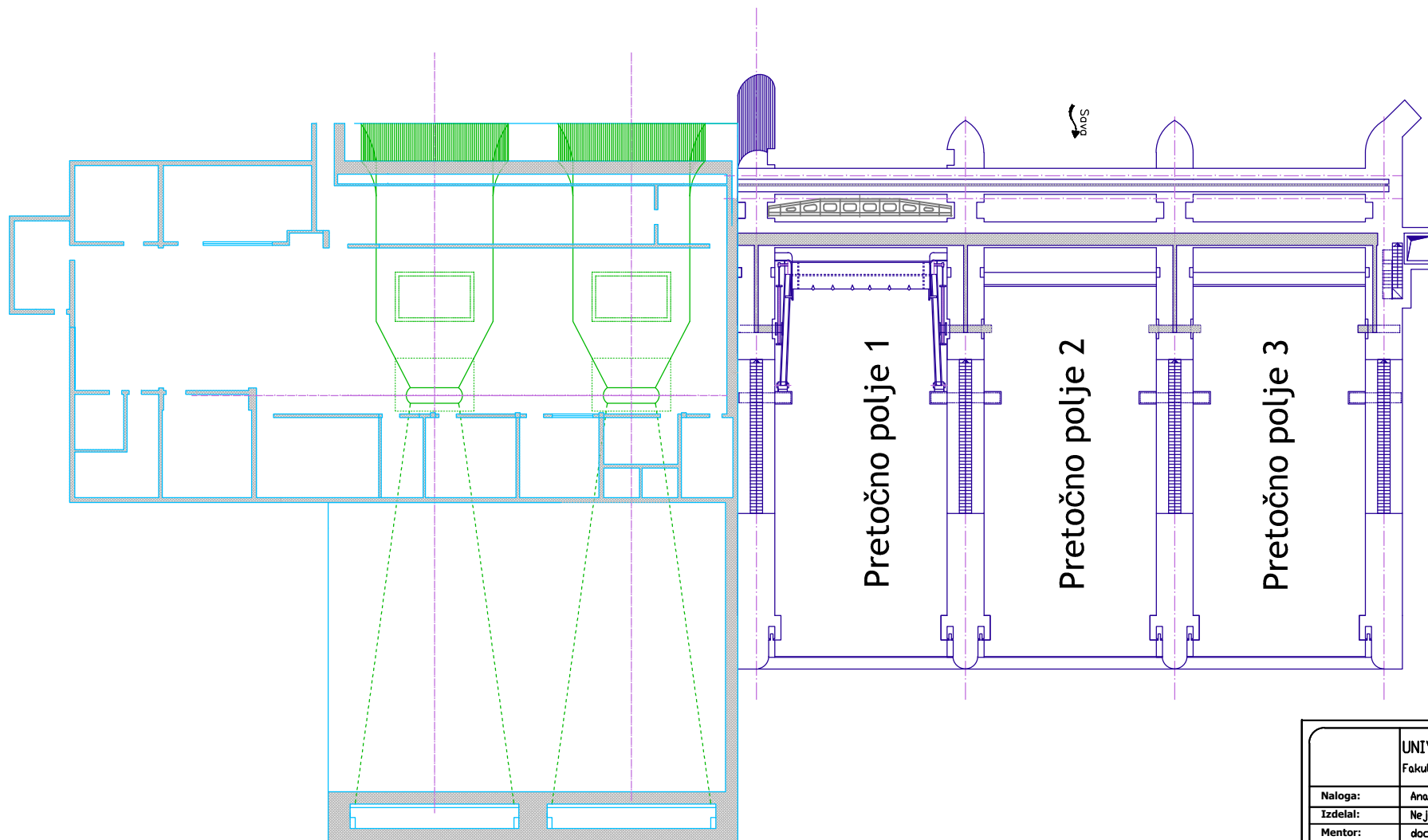
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Prečni prerezi modificirane zasnove 4.5	
Načrt:	Prečni prerez P-49	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:1060	D 19/19

TLORIS MODIFICIRANE HE JEVNICA V PRIMERU VGRADNJE VERTIKALNIH TURBIN



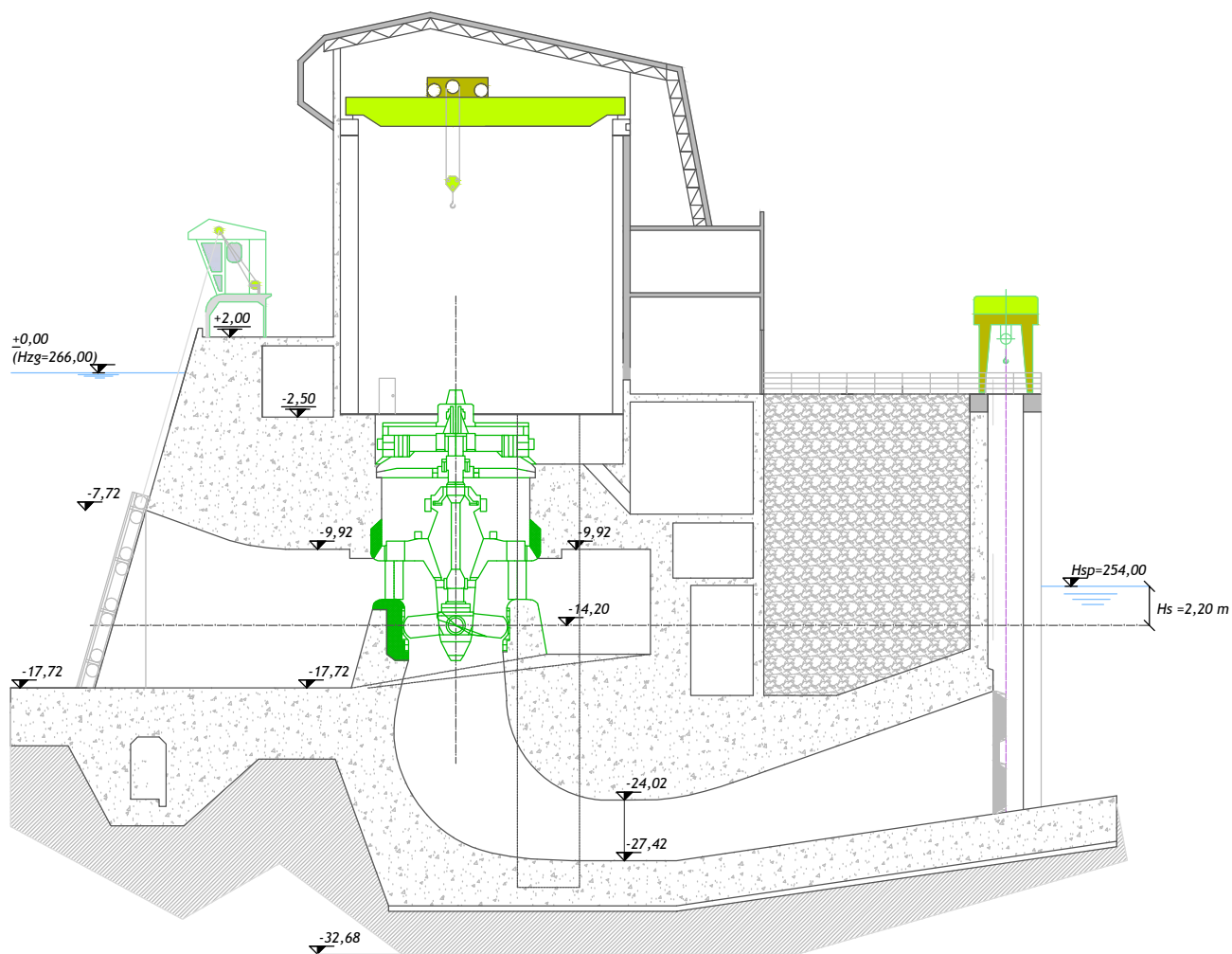
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Tloris modificirane HE Jevnica	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:500	E 1/5

TLORIS MODIFICIRANE HE JEVNICA V PRIMERU VGRADNJE HORIZONTALNIH TURBIN



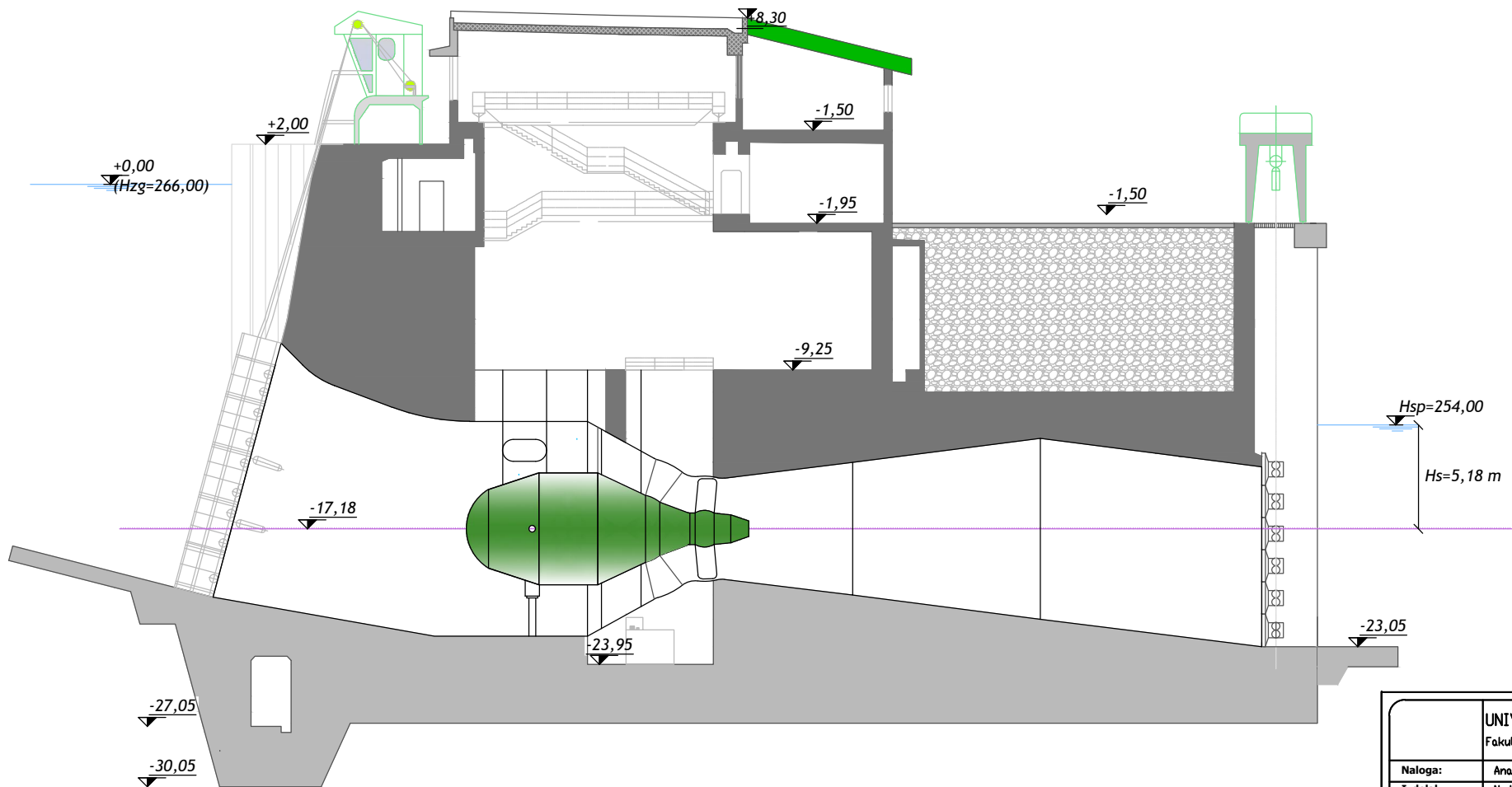
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Tloris modificirane HE Jevnica	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:500	E 2/5

VZDOLŽNI PREREZ STROJNICE MODIFICIRANE HE JEVNICA V PRIMERU VGRADNJE VERTIKALNIH TURBIN



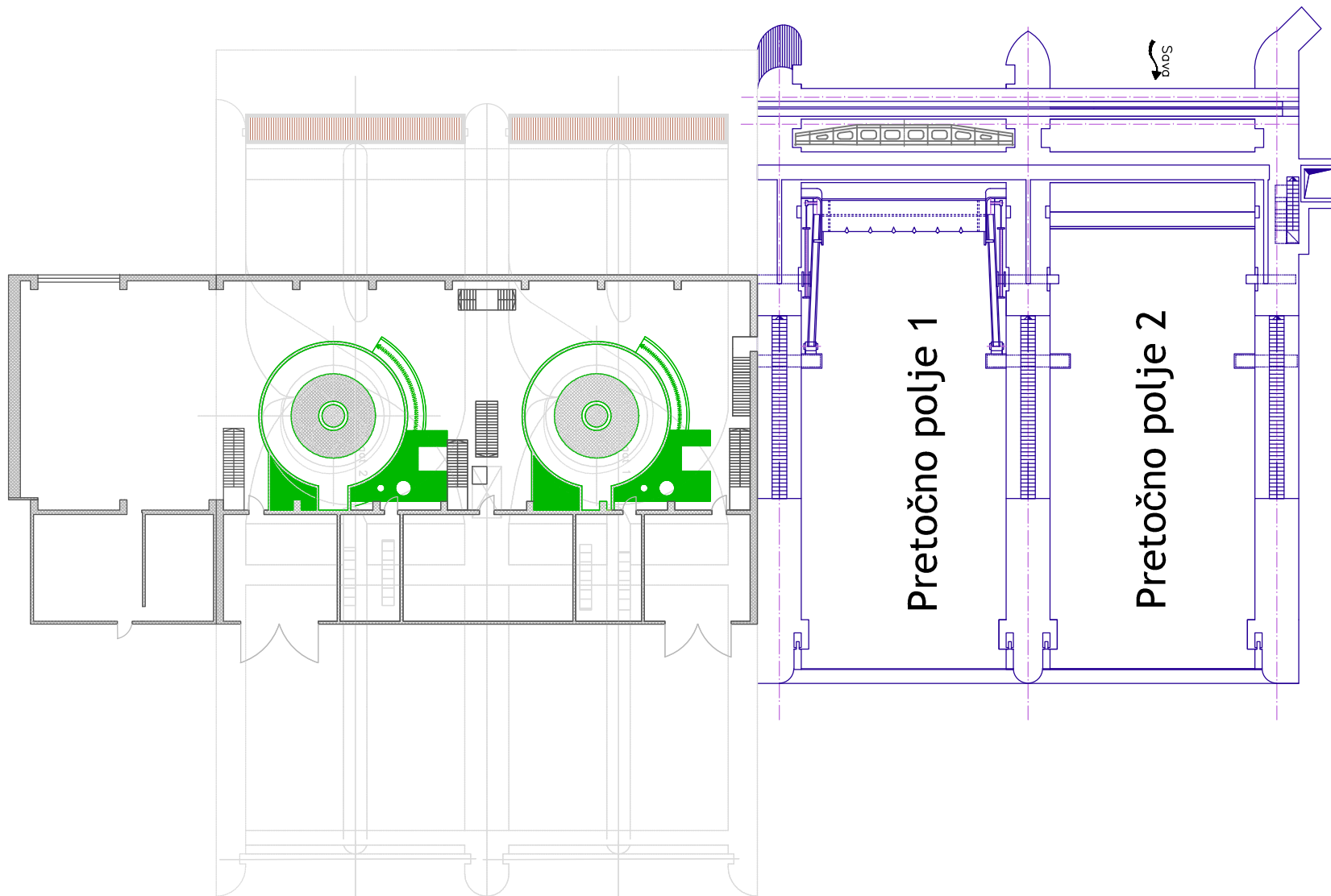
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanovskl	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Prerez strojnice modificirane HE Jevnica	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:400	E 3/5

VZDOLŽNI PREREZ STROJNICE MODIFICIRANE HE JEVNICA V PRIMERU VGRADNJE HORIZONTALNIH TURBIN



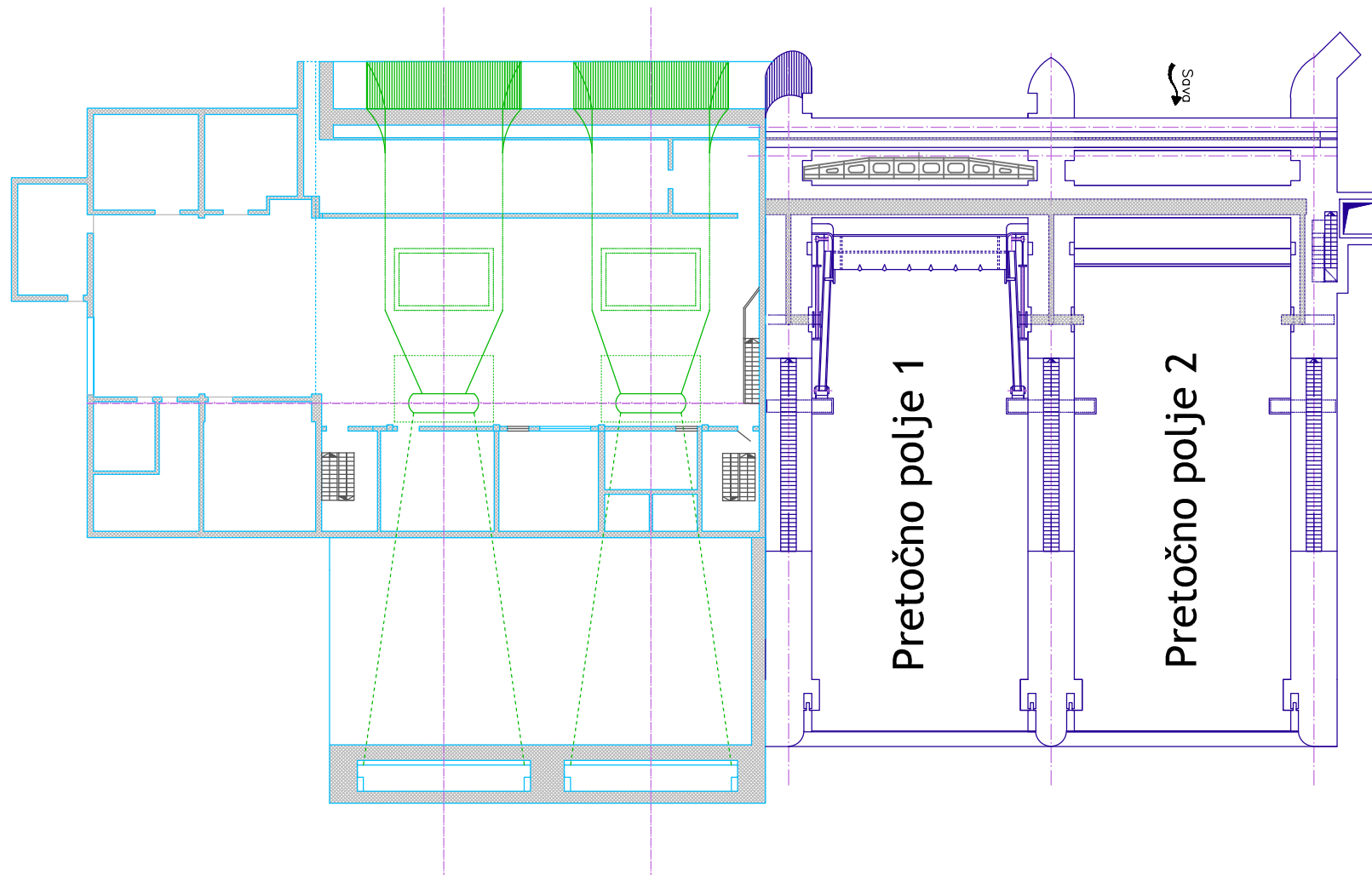
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalag na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Prerez strojnice modificirane HE Jevnica	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:310	E 4/5

TLORIS MODIFICIRANE HE ŠENTJAKOB V PRIMERU VGRADNJE VERTIKALNIH TURBIN



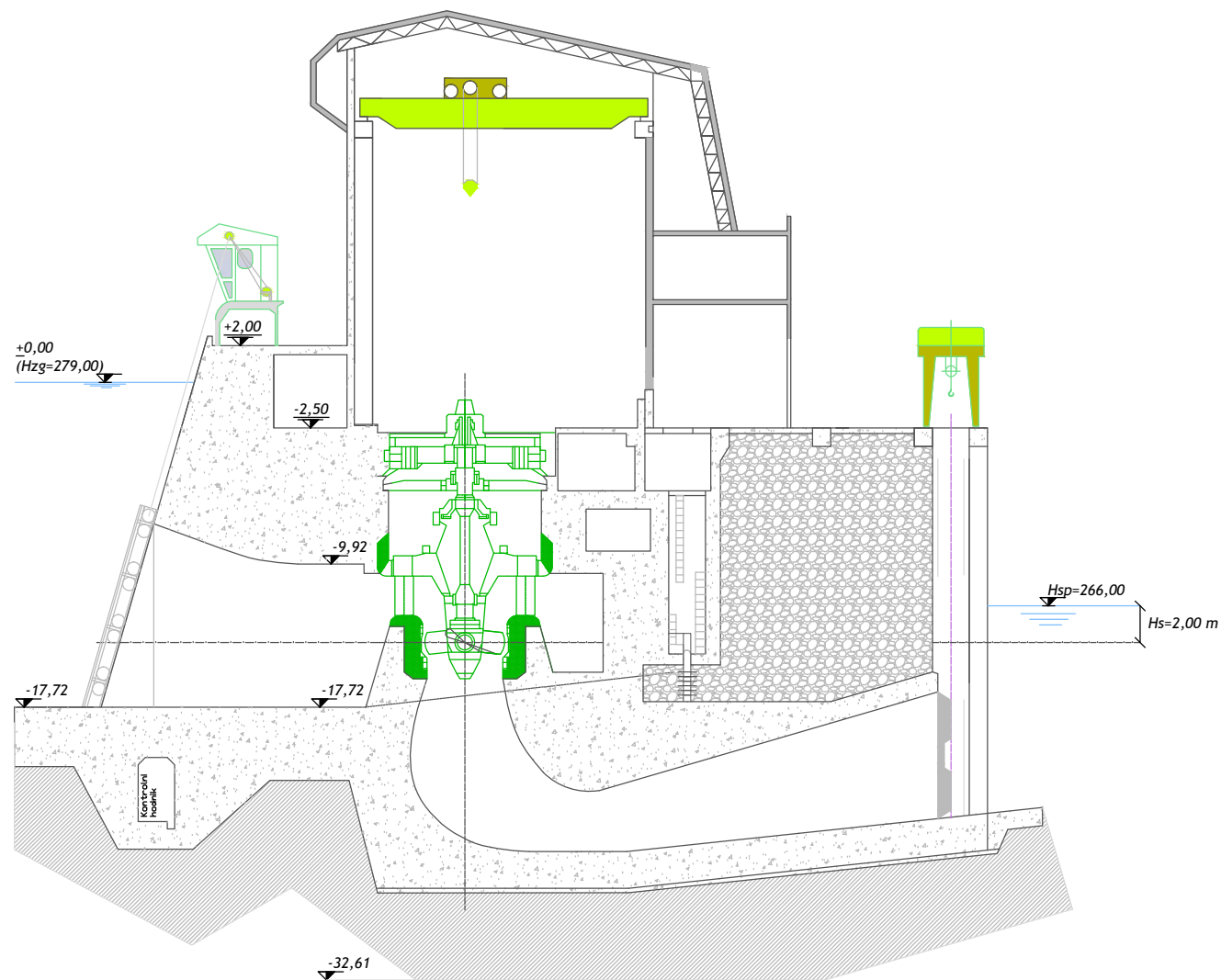
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Tloris modificirane HE Šentjakob	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:420	F 1/5

TLORIS MODIFICIRANE HE ŠENTJAKOB V PRIMERU VGRADNJE HORIZONTALNIH TURBIN



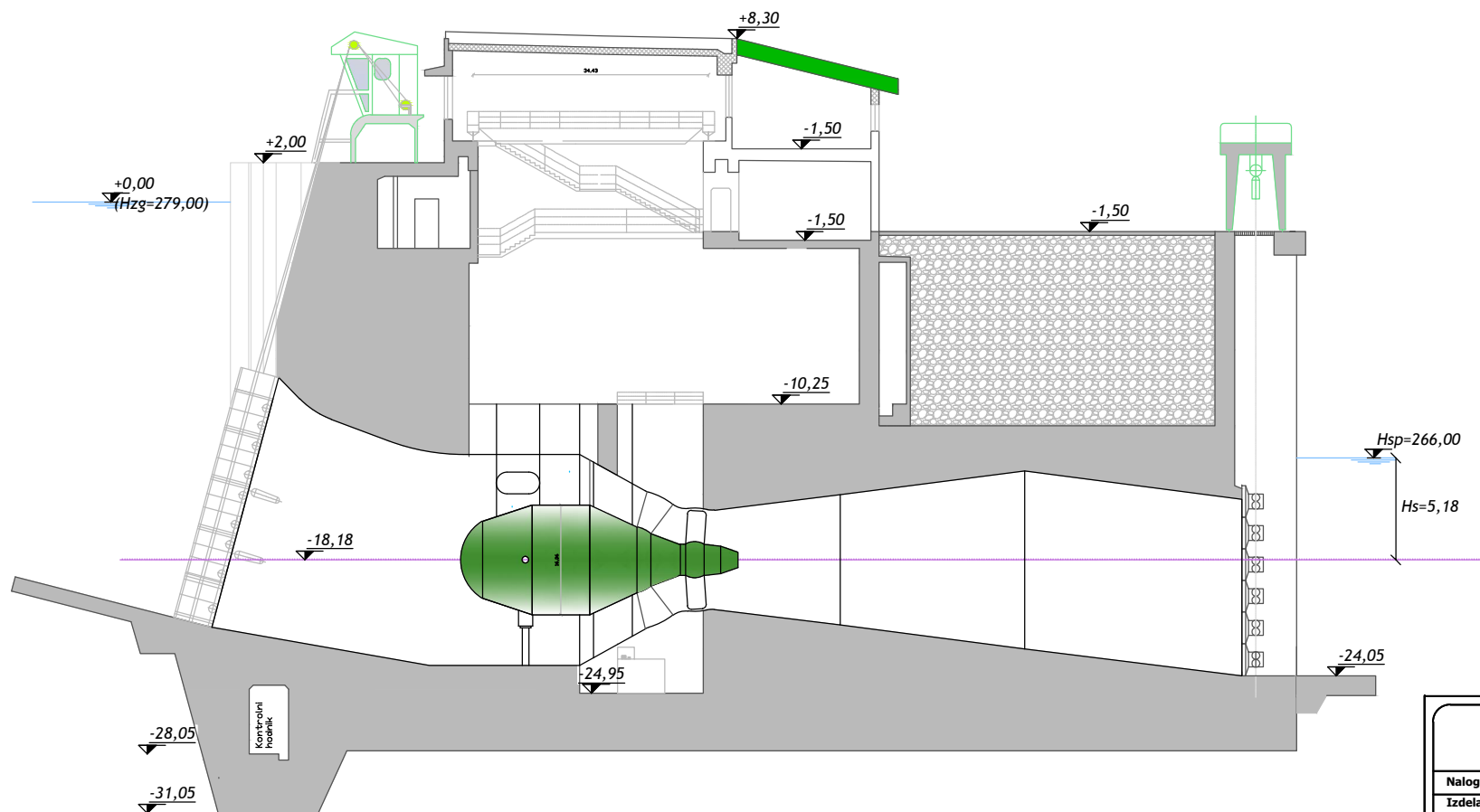
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Tloris modificirane HE Šentjakob	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:420	F 2/5

VZDOLŽNI PREREZ STROJNICE MODIFICIRANE HE ŠENTJAKOB V PRIMERU VGRADNJE VERTIKALNIH TURBIN



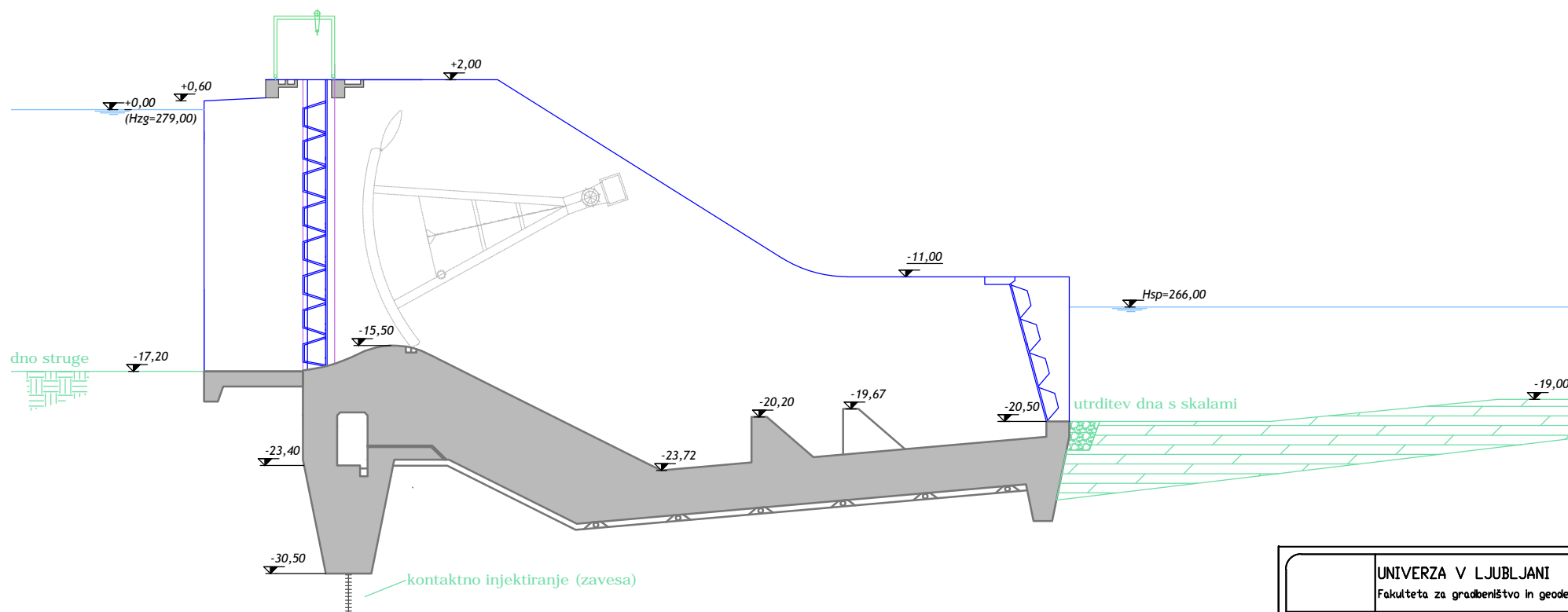
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Prerez strojnice modificirane HE Šentjakob	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:400	F 3/5

VZDOLŽNI PREREZ STROJNICE MODIFICIRANE HE ŠENTJAKOB V PRIMERU VGRADNJE HORIZONTALNIH TURBIN



UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Prerez strojnice modificirane HE Šentjakob	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:350	F 4/5

VZDOLŽNI PREREZ PRETOČNIH POLJ MODIFICIRANE HE ŠENTJAKOB



UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga:	Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi	
Izdelal:	Nejc Benedik	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Projekt:	Modificirana različica 4.5	
Načrt:	Prerez pretočnih polj modificirane HE Šentjakob	
Faza:	Idejna zasnova	
Opombe:		
Datum:	Merilo:	Številka priloge:
15. 7. 2012	1:390	F 5/5