

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij vodarstva in
komunalnega inženirstva

Kandidat:

Matej Sila

Večkriterijska analiza variant gradnje HE Učja

Diplomska naloga št.: 147

Mentor:
prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 2010

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **Matej Sila** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»Večkriterijska analiza variant gradnje HE Učja«

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 27.9.2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE:

Nalogo so si ogledali učitelji študija Vodarstva in komunalnega inženirstva:

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:504.4:556.53:627.8(043.2)
Avtor:	Matej Sila
Mentor:	prof. dr. Matjaž Mikoš
Naslov:	Večkriterijska analiza variant gradnje HE Učja
Obseg in oprema:	94 str., 10 pregl., 20 sl., 6 graf., 2 pril.
Ključne besede:	inženirska hidrotehnika, gradnja hidroelektrarn, večkriterijska analiza, vrednotenje, programska oprema

IZVLEČEK

Izgradnja hidroelektrarn predstavlja velike in trajne posege v okolje, naloga projektantov pa je, da izberejo med vsemi variantami tisto, ki je tako iz okoljskega, ekonomskega in tehničnega vidika najbolj primerna. Slovenija je kot članica EU sprejela dve direktivi, ki imata popolnoma različne cilje. Prva zahteva povečanje deleža obnovljivih virov do 22.1 % do leta 2010 pri spodbujanju proizvodnje električne energije, okvirna direktiva o vodah pa, da izboljšajo ekološko stanje vodnih teles, da bi do leta 2015 dosegle »dobro stanje«, kar pomeni zmanjšanje hidromorfoloških vplivov, povezanih s proizvodnjo hidroenergije. Slovenija ima še velik neizkoriščen hidropotencial. Če želi izpolnjevati cilje nove direktive, je potrebno pravočasno izvajati vse aktivnosti za izvedbo novih projektov, saj je ta razmeroma dolgotrajna. V prvem delu diplomske naloge sem na splošno opisal hidroelektrarne in njihov vpliv na okolje, podrobno predstavil projekte variant načrtovane HE Učja, ki so bili obdelani v idejni zasnovi investitorja, podjetja Soške elektrarne Nova Gorica (SENG) in opisal večkriterijsko analizo. V drugem delu pa sem s pomočjo programa HYPSE, izvedel večkriterijsko analizo vrednotenja osmih variant načrtovane HE Učja, tako s tehničnega, ekološkega in ekonomskega vidika ter na podlagi tega ugotovil, katera varianta HE ima najmanjši vpliv na okolje, oziroma se najbolj izplača. Rezultate sem primerjal z najboljšo ocenjeno varianto, ki jo je načrtovalec dal za investitorja. Na koncu sem še opisno predlagal določene izboljšave v sami idejni zasnovi.

BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:504.4:556.53:627.8(043.2)
Author: Matej Sila
Supervisor: Prof. Ph.D. Matjaž Mikoš, CE
Title: Multicriterial analysis of construction variants of the hydropower plant Učja
Notes: 94 p., 10 tab., 20 fig., 6 ch., 2 ann.
Key words: hydraulic engineering, construction of hydropower plants, multicriterial analysis, evaluation, software

ABSTRACT

The construction of hydropower plants presents large and permanent interventions in the environment. The task of planners is to choose from all the possibilities the one which is from an environmental, economic and technical point of view the most appropriate. Slovenia as a member of the EU has adopted two directives, which have completely different goals. The first directive demands enlargement of renewable sources up to 22.1 % by 2010 by encouraging production of electric energy, while the Water Framework Directive demands improvement of the ecological status of water bodies to achieve a »good condition« by 2015. which. This means reducing hydromorphological impacts associated with hydropower production. Slovenia has a large unexploited hydro potential. If it wants to meet the goals of the new directive, it is necessary to perform all activities in time for the implementation of new projects, since it is relatively time-consuming. In the first part of my thesis, I described hydropower plants in general and their impact on the environment. I have also presented, in detail, the projects of the planned hydropower plant Učja that have been processed in the conceptual design of the investor, the company Soške elektrarne Nova Gorica (SENG) and finally, I have described multicriterial analysis. In the second part of my thesis I conducted a multicriterial analysis of evaluation of eight variants of the planned hydropower plant Učja, from a technical, environmental and economical aspect, using the program HYPSE. On this

basis, I found which variant of the hydropower plant has the lowest impact on the environment or is the most profitable. I compared the results with the estimated best variant, which the designer gave to the investor. In the end I have proposed some improvements to the conceptual design itself.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu za strokovno pomoč, usmerjanje in prijaznost pri nastajanju diplomske naloge ter za dobro sodelovanje skozi celoten čas pisanja.

Ogromna zahvala gre dr. Nataši Smolar-Žvanut, ki je prevzela vlogo strokovnega mentorja in bila v veliko pomoč pri razvrščanju podatkov za program HYPSE.

Iskreno se zahvaljujem ga. Alidi Rejec iz podjetja Soških elektrarn Nova Gorica za posredovanje podatkov in za pomoč pri zbiranju splošnih informacij o gradnji HE Učja, ga. Aniti Makovec za prijaznost in pomoč pri zbiranju podatkov ter podjetju SENG za dovoljenje objave podatkov v diplomu.

Zahvalil bi se tudi g. Roku Fazarincu za začetno usmerjanje pri iskanju teme diplome ter Martinu Pušniku, ki mi je olajšal delo pri uporabi programa HYPSE.

Največja in najbolj iskrena zahvala gre družini, ker mi je omogočila šolanje in me ves čas šolanja spodbujala ter podpirala.

Zahvala gre tudi puncu Evi za spodbudne besede in podporo med pisanjem naloge.

Hvala tudi ostalim, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	HIDROELEKTRARNE IN OKOLJE	3
2.1	POMEN GRADNJE HIDROELEKTRARN ZA ČLOVEKA V SLOVENIJI IN SVETU	3
2.2	OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE	9
2.2.1	<i>RAZVOJ IZRABE HIDROENERGIJE V SLOVENIJI.....</i>	<i>9</i>
2.2.2	<i>DOSEGANJE CILJEV OVE PO EVROPSKIH DIREKTIVAH.....</i>	<i>11</i>
2.3	HIDROELEKTRARNE	13
2.3.1	<i>DELITEV HIDROELEKTRARN</i>	<i>14</i>
2.3.2	<i>PREDNOSTI IN SLABOSTI HE</i>	<i>15</i>
2.3.3	<i>OBSTOJEČI IN PREDVIDENI HIDROENERGETSKI OBJEKTI V SLOVENIJI.....</i>	<i>16</i>
2.4	UMEŠČANJE HE V PROSTOR.....	18
2.4.1	<i>PRILOŽNOSTI, IZZIVI IN UPRAVNI POSTOPKI PRI GRADNJI HE.....</i>	<i>18</i>
2.4.1.1	Zakon o vodah (2002) in vpliv ekološko sprejemljivega pretoka vode.....	19
2.4.1.2	Pridobitev vodne pravice	20
2.4.1.3	Pridobitev koncesijske pogodbe za rabo vode	21
2.4.1.4	Prostorsko planiranje	22
2.4.1.5	Varstvo narave.....	22
2.4.1.6	Natura 2000 in ekološko pomembna območja v Sloveniji.....	23
2.4.2	<i>VPLIVI IN OCENA VPLIVOV HIDROELEKTRARN NA OKOLJE</i>	<i>25</i>
2.4.2.1	Vpliv hidroelektrarn na okolje.....	25
2.4.2.2	Ocena vplivov hidroelektrarn na okolje.....	27
2.4.2.3	Koraki študije vpliva na okolje.....	29
3	NAČRTOVANJE HE UČJA.....	32
3.1	REKA SOČA IN NJEN HIDROENERGETSKI POTENCIAL.....	33
3.2	VLOGA ČHE AVČE KOT PROIZVAJALKE VRŠNE ENERGIJE.....	36
3.2.1	<i>OBRATOVANJE HE OB KONICAH</i>	<i>36</i>
3.2.2	<i>ČRPALNA HIDROELEKTRARNA AVČE.....</i>	<i>37</i>
3.3	HUDOURNIŠKA REKA UČJA	39
3.3.1	<i>OSNOVNE ZNAČILNOSTI HUDOURNIŠKOV</i>	<i>39</i>
3.3.2	<i>REKA UČJA.....</i>	<i>40</i>
3.4	IDEJA O IZGRADNJI HE UČJA	42
3.5	VLOGA HE UČJA V EES IN OPREMA	42
3.6	HIDROLOŠKE PODLAGE	43
3.7	OPREDELITEV VARIANT HE UČJA.....	46
3.7.1	<i>IMENOVANJE VARIANT</i>	<i>46</i>
3.7.2	<i>LOKACIJA PREGRADNEGA OBJEKTA</i>	<i>46</i>
3.7.3	<i>KOTA NORMALNE ZAJEZITVE.....</i>	<i>48</i>
3.7.4	<i>INŠTALIRAN PRETOK (Qi).....</i>	<i>48</i>

3.8	ZASNOVA OBJEKTOV HIDROELEKTRARNE.....	49
3.8.1	<i>PREGRADNI OBJEKT</i>	49
3.8.1.1	Tehnične lastnosti glavne pregrade.....	52
3.8.1.2	Variante akumulacijskih bazenov.....	53
3.8.2	<i>DOVODNI SISTEM</i>	54
3.8.2.1	Dovodni tunel.....	55
3.8.2.2	Vtočni objekt.....	55
3.8.2.3	Vodostan.....	56
3.8.2.4	Tlačni cevovod.....	56
3.8.3	<i>STROJNICA</i>	57
3.8.4	<i>ZADRŽEVALNI BAZEN</i>	58
3.9	VPLIVI HE UČJA NA OKOLJE.....	59
4	VEČKRITERIJSKA ANALIZA	61
4.1	ODLOČANJE.....	61
4.1.1	<i>VEČPARAMETRSKO ODLOČANJE</i>	64
4.2	VREDNOTENJE.....	65
4.2.1	<i>VEČKRITERIJSKI PRISTOP VREDNOTENJA</i>	65
4.2.2	<i>OBJEKTIVNOST IN OSNOVNI PRINCIPI VEČKRITERIJSKEGA VREDNOTENJA</i>	67
5	UPORABA PROGRAMA HYPSE ZA PRIMERJAVO OSMIH VARIANT HE UČJA	69
5.1	KRATEK OPIS PROGRAMSKE OPREME HYPSE.....	69
5.2	MODELIRANJE V PROGRAMU HYPSE.....	70
5.2.1	<i>IZDELAVA EVALVACIJSKE MATRIKE</i>	70
5.2.2	<i>IZBOR INDEKSOV IZRAČUNAVANJA</i>	73
5.2.3	<i>UPRAVLJANJE OBTEŽITVENEGA SISTEMA</i>	74
5.2.4	<i>ELIMINACIJA IN SELEKCIJA VARIANT</i>	74
5.2.5	<i>ANALIZA OBČUTLJIVOSTI</i>	78
5.2.5.1	Analiza občutljivosti z dvema homogenima skupinama.....	79
5.2.5.2	Analiza občutljivosti s tremi homogenimi skupinami.....	82
5.3	PRIMERJAVA REZULTATOV IZ HYPSE S PREDLAGANO VARIANTO HE UČJA.....	85
5.4	PRIMERJAVA REZULTATOV IZ HYPSE Z 10 MHE NA OBMOČJU GORENJSKE.....	87
6	ZAKLJUČEK	91
6.1	PREDLAGANE IZBOLJŠAVE V IDEJNI ZASNOVI.....	92
6.2	SKLEP.....	94
	VIRI	95
	PRILOGE	99

KAZALO PREGLEDNIC

<i>Preglednica 1: Ocenjeno povečanje baznega odtoka ob akumulacijah</i>	<i>6</i>
<i>Preglednica 2: Ocenjeni, tehnični in ekonomsko izvedljivi hidroenergetski potencial v Sloveniji.....</i>	<i>18</i>
<i>Preglednica 3: Velikost povodja F [km^2] za posamezne lokacije pregradnih profilov in pripadajoči redukcijski koeficienti [k]</i>	<i>43</i>
<i>Preglednica 4: Visoke vode za posamezne profile (obdobje 1948-1975).....</i>	<i>44</i>
<i>Preglednica 5: Karakteristike pregradnega profila</i>	<i>52</i>
<i>Preglednica 6: Predlagane dimenzije podslapij za štiri variante pregrade:.....</i>	<i>52</i>
<i>Preglednica 7: Tehnične karakteristike akumulacijskih bazenov.....</i>	<i>53</i>
<i>Preglednica 8: Dolžina dovodnega tunela glede na lokacijo</i>	<i>55</i>
<i>Preglednica 9: Dolžine odsekov tlačnega cevovoda.....</i>	<i>56</i>
<i>Preglednica 10: Matrika ocenjevanja.....</i>	<i>77</i>

KAZALO GRAFIKONOV

<i>Grafikon 1: Analiza gibanja indeksa inštalirane moči, proizvodnje in obratovalnih ur HE v obdobju 1996-2007; (vir: OVE, 2009)</i>	<i>10</i>
<i>Grafikon 2: Izkoriščenost slovenskih rek.....</i>	<i>10</i>
<i>Grafikon 3: Proizvodnja električne energije iz OVE, cilj za leto 2010 po ReNEP in rast proizvodnje električne energije iz OVE ter bruto rabe električne energije v obdobju 2000-2007 (vir: OVE, 2009).....</i>	<i>12</i>
<i>Grafikon 4: Krivulja trajanja pretokov - varianta 1 ($sQs = 2.44 \text{ m}^3/s$, 1954-2004).....</i>	<i>44</i>
<i>Grafikon 5: Krivulja trajanja pretokov - varianta 2 ($sQs = 2.40 \text{ m}^3/s$, 1954-2004).....</i>	<i>45</i>
<i>Grafikon 6: Krivulja trajanja pretokov - varianta 3 ($sQs = 2.36 \text{ m}^3/s$, 1954-2004).....</i>	<i>45</i>

KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Tip zajezitvene akumulacijske HE</i>	15
<i>Slika 2: Prikaz območja reke Učje in možnih lokacij pregrad (Geodetska Uprava Republike Slovenije, 29.7.2010)</i>	32
<i>Slika 3: Satelitski posnetek območja reke Učje (Geodetska Uprava Republike Slovenije, 29.7.2010)</i>	33
<i>Slika 4: Prva polnitev akumulacije, spuščanje rotorja v strojnični jašek ter strojnična zgradba (http://www.hse.si (25.5.2010))</i>	38
<i>Slika 5: Pogled na reko Učjo iz ceste pred italijanskim mejnim preходом Učjeja</i>	41
<i>Slika 6: Kanjon reke Učje (www.slovenia.info)</i>	41
<i>Slika 7: Pregledna situacija variant HE Učja</i>	47
<i>Slika 8: Evalvacijska matrika »Primerjava 8 variant HE Učja«</i>	71
<i>Slika 9: HYPSE izpis izbranih kriterijev</i>	73
<i>Slika 10: Matrika enostavnega diskordančnega indeksa ($d_{i,SD}$)</i>	75
<i>Slika 11: Matrika združenega diskordančnega indeksa ($d_{i,AD}$)</i>	76
<i>Slika 12: Matrika združenega obteženega diskordančnega indeksa ($d_{i,AWD}$)</i>	76
<i>Slika 13: Prikaz podrobnosti posameznih variant pri dveh homogenih skupinah</i>	80
<i>Slika 14: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri dveh homogenih skupinah</i>	81
<i>Slika 15: Prikaz podrobnosti posameznih variant pri dveh homogenih skupinah</i>	83
<i>Slika 16: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri treh homogenih skupinah</i>	84
<i>Slika 17: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri dveh homogenih skupinah</i>	88
<i>Slika 18: Prikaz najboljših in najslabših variant 10 mHE pri dveh homogenih skupinah (Pušnik, 2010)</i>	89
<i>Slika 19: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri treh homogenih skupinah</i>	90
<i>Slika 20: Prikaz najboljših in najslabših variant 10 mHE pri treh homogenih skupinah (Pušnik, 2010)</i>	90

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO	Agencija Republike Slovenije za Okolje
cca	circa: okrog, približno
ČHE	črpalna hidroelektrarna
DEM	Dravske Elektrarne Maribor
EES	Elektroenergetski sistem Slovenije
EU	Evropska unija
HE	hidroelektrarna
HYPSE	programska oprema; Hydro Power Systems Evaluations – Vrednotenje hidroenergetskih sistemov
IREET	Inštitut za Raziskave v Energetiki, Ekologiji in Tehnologiji
mHE	mala hidroelektrarna
m.n.m.	metrov nad morjem
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
OVE	obnovljivi viri energije
SEL	Savske Elektrarne Ljubljana
SENG	Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o.
SURS	Statistični Urad Republike Slovenije
%	odstotek
°C	stopinje Celzija
VPV	večkriterijski pristop vrednotenja
ZV-1	Zakon o vodah

1 UVOD

Sončna energija je vzrok za gibanje vode v naravi, daje energijo vodotokom in valovanju, ki se stoletja koristijo za pridobivanje mehanskega dela. Človek je v preteklosti ugotovil, da je voda neusahljiv vir, za katerega danes uporabljamo izraz obnovljivi vir in da jo je možno izkoriščati za energetske potrebe. Prvotne naprave, kot so mlini, kovačije, žage, so bile postavljene ob vodotokih in so izkoriščale energijo vode. Konec 19. in v začetku 20. stoletja se je odprlo povsem novo obdobje s pretvorbo energije vode v električno energijo. Z razvojem izkoriščanja električne energije so tudi potrebe po njej strmo naraščale. To pa je hkrati pospešilo razvoj in gradnjo hidroelektrarn. V današnjem času se večji del vodne energije uporablja za proizvodnjo elektrike. V Sloveniji proizvedejo vodne elektrarne približno tretjino električne energije, ostalo energijo pa dobimo iz jedrske elektrarne ter elektrarn na fosilna goriva.

Slovenskemu elektroenergetskemu sistemu primanjkuje predvsem vodnih virov, ki so zmožni pokrivati vršne konice izrazito spremenljivih diagramov dnevne potrošnje. Podobno, kot v evropskem sistemu, imamo tudi v Sloveniji največje proizvodne enote (termoelektrarne, nuklearne elektrarne) velikih moči, ki pa nam nudijo le pasovni del diagrama moči. Medtem pa so tisti, ki imajo akumulirano energijo za kritje sprejemljivega oziroma vršnega diagrama, v manjšini. Ni potrebno posebej poudariti, da je zato tudi cena tovrstne energije dosti višja. Ta je odvisna od trenutnega stanja na borzi za trženje električne energije. Najbolj primerne proizvajalke vršne energije so zagotovo vodne, akumulacijske elektrarne.

Hydroenergijo uvrščamo med čiste in obnovljive vire energije, saj njena pretvorba v električno energijo ne onesnažuje okolja in skrbi za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Če je elektrarna skrbno načrtovana, je možno vodno energijo označiti kot obnovljivo in trajno. Prav tako pa je njen izkoristek 90 %, kar je najvišje v primerjavi z drugimi viri energije. Tako je vodna energija trenutno najpomembnejša svetovna in evropska tehnologija za proizvodnjo električne energije s področja obnovljivih virov po instalirani moči in pridobljeni energiji.

Ker izgradnja hidroelektrarn predstavlja velike in trajne posege v okolje, je naloga projektantov, da izberejo med vsemi alternativami tiste, ki so najbolj koristne. Slovenija je sprejela dve direktivi, ki imata popolnoma različne cilje. Direktiva 2001/77/ES od držav članic EU zahteva povečanje deleža obnovljivih virov do 22.1 % do leta 2010 pri spodbujanju proizvodnje električne energije, okvirna direktiva o vodah (2000/60/EC) pa, da izboljšajo ekološko stanje vodnih teles, da bi do leta 2015 dosegle »dobro stanje«, kar pomeni zmanjšanje hidromorfoloških vplivov, povezanih s proizvodnjo hidroenergije.

Na reki Učji je predvidena izgradnja akumulacijske HE. Proizvajala bo izključno vršno električno energijo. Načrtovalec (IBE) je po naročilu investitorja, podjetja Soške elektrarne Nova Gorica (SENG), naredil idejno zasnovo za bodočo HE Učja, kjer je na podlagi treh možnih lokacij pregrade, dveh različnih pretokov in enega morebitnega nadvišanja pregrade, analiziral skupno osem variant, tako iz okoljskega, tehničnega in ekonomskega vidika.

Proizvodnja hidroenergije, ki jo štejemo med obnovljive vire energije, ima določene vplive na hidromorfologijo, fizikalne in kemijske parametre, krajino, vodni in odvodni ekosistem. Najpomembnejši element odločitev za posege v vodotok in oceno možnosti izgradnje hidroelektrarne so strokovne podlage, z oceno zgoraj naštetih vplivov. V praktičnem delu naloge, s pomočjo programske opreme HYPSE (Hydro Power Systems Evaluations – Vrednotenje hidroenergetskih sistemov), ki je namenjena tako projektantom, katerim oprema ponuja orodje za oceno, kako različne odločitve vplivajo na okolje in kateri ukrepi izboljšajo sprejemljivost HE z okoljevarstvenega stališča, kot tudi upravnim organom (za izdajo dovoljenja o gradnji), izvedem večkriterijski način vrednotenja osmih alternativnih projektov načrtovane hidroelektrarne Učja. Z določitvijo različnih razmerij uteži za določene kriterije dobim, katera varianta HE ima najmanjši vpliv na okolje oziroma se najbolj izplača. Dobljene rezultate primerjam z najboljšo ocenjeno alternativo, s strani načrtovalcev ter na koncu še opisno predlagam določene izboljšave v sami idejni zasnovi.

2 HIDROELEKTRARNE IN OKOLJE

Osnutek energetske-podnebnega paketa, ki ga je sprejela evropska komisija, nas je postavila pred dejstvo, da je izvedba okolju prijaznih projektov neizogibna in je potrebno čim hitrejša ukrepanja. Hkrati je treba upoštevati interese vseh udeleženih akterjev in jim čim bolj olajšati izvedbo takih projektov. Vsak proizvodni objekt ima določene negativne učinke, naloga načrtovalcev, investitorjev in upravnih organov je, da izberejo med vsemi alternativami tiste, ki so najkoristnejše, tako s tehničnega, ekološkega in ekonomskega vidika. Hidropotencial Slovenije še ni zadostno izkoriščen. Pravočasno je treba izvajati vse aktivnosti za izvedbo teh projektov, saj je izvedba tovrstnih projektov razmeroma dolgotrajna, čas do izpolnjevanja ciljev nove direktive pa vse krajši.

2.1 POMEN GRADNJE HIDROELEKTRARN ZA ČLOVEKA V SLOVENIJI IN SVETU

Voda predstavlja temeljni vir življenja za organizme. V naravi se nahaja v vseh treh agregatnih stanjih (trdo, tekoče in plinasto) in se neprestano giblje med njimi. Voda je eden izmed najstarejših naravnih virov energije, ki se jih je človek naučil izkoriščati. Kar 21,6 odstotkov vse električne energije na svetu je proizvedeno z izkoriščanjem energije vode, kar jo uvršča med najpomembnejši obnovljivi vir energije.

Hydroenergijo so začeli izkoriščati že pred dvema tisočletjema, v glavnem za direkten pogon mlinov, žag, črpalk in drugih podobnih naprav. Opravljala je fizično delo namesto človeka. Kasneje so ljudje ugotovili, da lahko vodno energijo pretvorijo v električno energijo. Z naraščanjem števila prebivalstva se je povečala tudi potreba po električni energiji in rezultat tega je gradnja vedno večjih hidroelektrarn, ki imajo moči od nekaj 100 do nekaj 1000 MW.

Potrebe človeštva po vodnem viru so bolj naraščajoče, kot je naraščajoča rast števila ljudi, saj se tudi zahteve pri standardu oskrbe z vodo zvišujejo. V prihodnosti lahko pričakujemo, da se bo globalno povpraševanje po vodnem viru povečevalo od 2 do 3 odstotke na leto in ravno v

tem povpraševanju po oskrbi s pitno vodo velja poudariti, da se bo najbolj pokazala razlika med gospodarsko močnejšim delom sveta in tako imenovanim tretjem svetu.

Količina vode na planetu je 1,4 milijarde km³, vendar je samo 2,5 odstotkov te vode sladke, ki je spremenjena v ledene kristale ali se nahaja globoko v podzemlju. Torej je za vse večje potrebe človeštva in ostalih živih bitij na razpolago komaj 1 odstotek vseh sladkovodnih virov, ki se nahajajo v jezerih, rekah in podtalnici tik pod zemeljsko površino.

Če upoštevamo oceno Združenih narodov, da bo v letu 2050 na svetu živel 9,4 milijarde ljudi, bi v stalnem pomanjkanju vode, oziroma na robu pomanjkanja, živel kar 42 odstotkov vsega svetovnega prebivalstva. Po oceni naj bi v deželah, kjer je pomanjkanje vode, živel že skoraj 450 milijonov ljudi. Ocena temelji na izhodišču, da nastopi pomanjkanje vode, če so razpoložljive količine sladke vode na prebivalca na leto manjše od 1000 m³.

Število prebivalcev se je od konca prejšnjega stoletja potrojilo, poraba vode pa se je v istem obdobju povečala za desetkrat. Večina strokovnjakov je mnenja, da se lahko poveča razpoložljiva količina sladke vode z izgradnjo akumulacij za 10 %, kar je glede na dejanske potrebe malo, pa vendar vzpodbudno.

Z ozirom na njihove časovne porazdelitve, lahko površinske vodne vire delimo v dve skupini: bazni odtok in direktni odtok. Bazni odtok je minimalno razpoložljiv skozi letni cikel in direktni površinski odtok je nestalna komponenta, saj je razpoložljiv samo med določenim obdobjem v letu. Bazni odtok prihaja iz podzemne vode in zaradi njene gotovosti je najbolj dragocena komponenta. Eden glavnih ciljev razvoja vodnih virov je povečanje baznega odtoka v prostoru. To je lahko ekonomično zanesljivo izvršeno z začasnim skladiščenjem direktnega površinskega odtoka v akumulacijah, ki jih je naredil človek. Torej je človek v zgodovini gradil jezove za uravnavanje direktnega površinskega odtoka v bazni odtok. Poleg uravnavanja odtoka obstajajo tudi druge koristi, saj je gradnja vodnih zadrževalnikov v današnjem času večinoma večnamenska.

Po svetovni oceni iz leta 1974 (UNESCO, 1978, cit. po Mahmood, K., 1987- Preglednica 1), je prostornina vseh akumulacij z bruto zmogljivostjo 5 km³ in več, znašala 4050 km³. To je

vključevalo projekte, ki so bili v tistem času v izgradnji in so bili domnevno zgrajeni do leta 1986. Drugih 20 odstotkov skladiščenja je bilo ocenjenih, da ležijo v manjših akumulacijah, tako da je bila bruto prostornina svetovnega skladiščenja okoli 4900 km³, kar je bilo približno 13 odstotkov celotnega letnega odtoka.

Najboljša ocena svetovnega skladiščenja v akumulacijah iz leta 2001 (izključujoč naravna jezera, rabljena kot skladiščenje za pridobivanje energije in namakanje) je 6815 km³ (White, 2001).

V sedANJI zvezi je lahko bruto zmogljivost akumulacije na splošno razdeljena v uporabne in neuporabne komponente. Uporabno skladiščenje je prostornina skladiščenja, uporabljena za zadrževanje direktnega površinskega odtoka za kasnejši izpust. Razmerje uporabne in bruto zmogljivosti akumulacij variira v različnih geografskih regijah med 38 do 59 odstotki s svetovnim povprečjem skladiščne obremenitve okoli 50 odstotkov. Uporabna zmogljivost je rabljena skoraj enkrat vsako leto. Uporablajoč konservativne ocene povečanja baznega odtoka, enake 40 odstotkom bruto zmogljivosti, je neto povečanje svetovnega baznega odtoka od akumulacij ocenjena, da bo okoli 16 odstotkov. Glej preglednico 1.

ZačENŠI z letom 1950, je gradnja velikih akumulacij doživela večjo rast v svetu. In dejstvo je, da so vse akumulacije z zmogljivostjo nad 50 km³, bile zgrajene po letu 1950. Med dvema desetletjema 50. in 60. let, se je bruto zmogljivost skladiščenja v svetu povečala blizu 25 krat. (UNESCO, 1978, cit. po Mahmood, K., 1987). V dvoletnem obdobju, med leti 1966-68, je bilo dodano okoli 375 km³ skladiščenja k svetovni vsoti. Nadaljevala se je pospešena gradnja akumulacij po svetu. Vedno več je bilo primernih mest za gradnjo novih akumulacijah, vse do danes, ko jih je večina prej predvidenih in načrtovanih jezov že zgrajena in primernih mest za gradnjo le-teh počasi upada.

Preglednica 1: Ocenjeno povečanje baznega odtoka ob akumulacijah

Geografsko območje	Prostornina letnega odtoka		Bruto zmogljivost akumulacije			Porast baznega odtoka	
	Skupaj (km ³)	Naravni bazni odtok (km ³)	Prostornina (km ³)	% v svetu	% celotnega odtoka	Prostornina (km ³)	% naravnega baznega odtoka
Severna Amerika	5.950	1.900	975	20.0	16.4	390	23.1
Azija	13.190	3.440	1.770	36.3	13.4	710	23.2
Afrika	4.225	1.500	1.280	26.2	30.3	510	38.7
Južna Amerika	10.380	3.740	340	7.0	3.3	140	4.0
Evropa	3.100	1.125	450	9.2	14.5	180	17.8
Avstralija	1.965	465	65	1.3	3.3	30	6.5
Svet	38.810	12.170	4.880	100.0	12.6	1.960	16.1

- Opombe:**
1. Letni odtok in prostornine baznih odtokov po L'vovichu (1979)
 2. Bruto zmogljivost vseh akumulacij v regiji je ocenjeno kot 1.20 kratna zmogljivost akumulacij nad 5 km³
 3. Porast baznega odtoka temelji na 40 odstotni bruto zmogljivosti
 4. Avstralija vključuje Tasmanijo, Novo Gvinejo in Novo Zelandijo
 5. Vse številke so zaokrožene in približne

Slovenija je z vodnimi viri zelo bogata država, imamo pa tudi območja, ki imajo pomanjkanje vode (Goričko, Haloze, slovensko primorje). Gradnja vodnih zadrževalnikov je v svetu večinoma večnamenska, to pomeni, da lahko skladiščeno vodo rabimo za namene vodooskrbe, za proizvodnjo električne energije, namakanje, varstvo pred poplavami, plovbo, turizem in rekreacijo, ribogojstvo in druge namene.

Tudi v prihodnosti bo potrebno graditi vodne zadrževalnike, da bo omogočena normalna vodooskrba, ob upoštevanju globalnih podnebnih sprememb in da bo naraščalo število svetovnega prebivalstva. Na svetu je skupno 39.000 pregrad, od katerih je bilo več kot polovica zgrajenih v zadnjih 35 letih, 70 odstotkov vseh vodnih zadrževalnikov pa je prvotno namenjeno vodooskrbi (pitna voda, tehnološka voda za industrijsko rabo).

Za namakanje je namenjeno tri četrtine celotne potrošnje vode v svetu, kar ga uvršča na prvo mesto porabnikov vode. Zaradi naraščajočega števila prebivalstva je potrebno vsako leto povečati obdelovalne površine z namakanjem za 3 odstotke, kar pomeni, da bo potrebno zagotoviti dodatne vodne vire. Edina možnost za zagotovitev novih virov je gradnja novih vodnih zadrževalnikov, saj so podzemni zadrževalniki večinoma že izkoriščeni (50 odstotkov vse oskrbe predstavlja podtalnica in podzemne akumulacije). Izgradnja novih zadrževalnikov bo prispevala k bogatjenju podtalnice in podzemnih akumulacij ter dovodu vode za namakanje kmetijskih površin.

Poleg vodooskrbe in namakanja je varstvo pred poplavami eden od osnovnih namenov ali pa tudi edini namen gradnje pregrad. Poplave predstavljajo 40 odstotkov vseh naravnih katastrof, kar pomeni, da bo tudi v prihodnosti skrb za zmanjševanje tveganja pri poplavah prioriteta pri gradnji pregrad, saj so se pregrade z retenzijskimi kapacitetami akumulacij izkazale kot učinkovit ukrep za zmanjšanje tveganja nastopa poplavnih voda katastrofalnih razsežnosti.

Hydroenergetika je v svetu pomemben uporabnik vode kot naravnega energetskega vira, saj je 7 odstotkov celotne električne energije proizvedene s hidroenergijo. V Sloveniji je ta delež približno 29 odstotkov (3.600 GWh/leto- z upoštevanjem malih hidroelektrarn). Glede na razpoložljivi svetovni hidropotencial, je ekonomsko izkoristljiva 4 kratna količina sedanje proizvodnje. Vodna energija kot obnovljivi vir energije ima nesporne prednosti pred ostalimi energetskega viri, če upoštevamo dejstvo, da je ob hidroproizvodnji poudarjena tudi večnamenskost objektov in da so, za razliko od termo objektov, pretežno internalizirani vsi okoljski stroški. Delež, ki ga vsakodnevno prispevajo hidroelektrarne v svetu, lahko primerjamo s količino 9 milijonov sodčkov nafte. Izgorevanje take količine nafte bi sprostil okoli 970.000 ton ogljikovega dioksida na leto ob ostalih emisijah škodljivih plinov v ozračje.

Poleg vodooskrbe, namakanja, varstva pred poplavami in hidroenergetike, je v zadnjem času težnja, da se večnamensko izkoristi zadrževalnike tudi za druge rabe in dejavnosti, kot so turizem in rekreacija, ribištvo in ribogojstvo, plovba ipd. Te dejavnosti so sicer manjšega pomena pri ekonomskih odločitvah za investicijo, vendar lahko bistveno prispevajo k sprejemljivosti objekta v prostoru.

Načrtovane energetske zajezitve določene reke povzročijo spremembe naravnega vodnega režima reke in spremembe v prostoru ob reki. Spremembe naravnega vodnega režima se izrazijo v spremenjeni dinamiki pretokov, spremenjenih transportnih in erozijskih zmogljivostih reke, možnih spremembah režima podtalnice v ožjem in širšem območju zajezitve, spremembi biotopa in posledično v spremembi vodne biocenoze in obrežnega habitata. Glede na vse navedene spremembe je povsem jasno, da se z zajezitvijo reke spremenijo tudi pogoji, ki vplivajo na kakovost rečne vode.

Zajezitev rek in s tem nastanek akumulacijskih jezer pomeni poseg v vodno bilanco reke. Namesto naravnega odtoka nastane kontroliran odtok, ki ga definira režim delovanja elektrarne ali verige elektrarn. Zadrževalni časi v akumulacijskih jezerih se gibljejo od nekaj ur do nekaj mesecev. Kinetična energija vode v rekah povzroča erozijo in transport plavin. Ker se hitrost vode v akumulacijskem jezeru bistveno zmanjša, se transport plavin prekine, prod in lebdeče plavine se odlagajo v jezeru, s tem pa se manjša koristni volumen jezera. Odlaganje plavin v jezeru torej zmanjša njegovo sposobnost skladiščenja, omejujoč tako razpoložljivo življenjsko dobo jezera kot korist, ki jo nudi. Ocenjeno je bilo, da akumulacija plavin zmanjša svetovno skladiščenje v akumulacijah po 1% na leto (Mahmood 1987).

Družbena vloga hidroelektrarn je izredno široka. Segajo od njihove osnovne energetske vloge, proizvodnje električne energije, katere poraba še raste, pa vse do njihovega pomena v zagotavljanju sistemskih storitev v EES, kjer so tehnično in gospodarsko najugodnejše. K družbeni vlogi pa spada tudi večnamenska raba vodnih zadrževalnikov v hidroelektrarnah, kamor štejemo vodarske ureditve, vodooskrbo, namakanje, varstvo pred poplavami ter turizem in rekreacijo. Velja pa omeniti tudi splošne družbene vloge hidroelektrarn, saj npr. njihovo vzdrževanje, obratovanje ter zlasti gradnja pomeni velik prispevek k ohranjanju in razširjanju slovenske znanosti ter industrije v številnih panogah, ki so s tem področjem povezane (gradbeništvo, strojogradnja, elektroindustrija).

Proizvodnja električne energije pa je tudi strateška panoga, ki je nenazadnje podpora politični neodvisnosti države (www.sel.si).

2.2 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE

Človek 21. stoletja mora biti pripravljen, da se ponovno uči od narave, da živi z naravo in da skrbno uporablja naravne vire. Dolgoročno gledano, je sonce naš edini netvegani vir energije, narava pa je naš zbiralnik energije, ki jo v energijskem ciklu skrbno uporablja. Obnovljivi viri energije (OVE) vključujejo vse vire energije, ki jih zajemamo iz stalnih naravnih procesov, kot so sončno sevanje, veter, vodni tok v rekah ali potokih (hidroenergija), fotosinteza, s katero rastline gradijo biomaso, plimovanje in zemeljski toplotni tokovi (geotermalna energija).

Večina OVE, razen geotermalne in energije plimovanja, izvira iz sprotnega sončnega sevanja. Nekatere oblike OVE so shranjena sončna energija. Dež in vodni tokovi ter veter so posledica kratkotrajnega shranjevanja sončne toplote v atmosferi. Biomasa se nabira v teku obdobja rasti v enem letu, kot npr. slama; ali več let, v lesni biomasii. Zajemanje OVE ne izčrpa vira.

Nasprotno pa z uporabo fosilnih goriv v kratkem času izčrpamo energijo, ki se je shranjevala tisoče ali milijone let. Zaradi tega se fosilna goriva: premog, nafta, zemeljski plin, šota ne štejejo med OVE, čeprav se lahko obnovijo v zelo dolgem času.

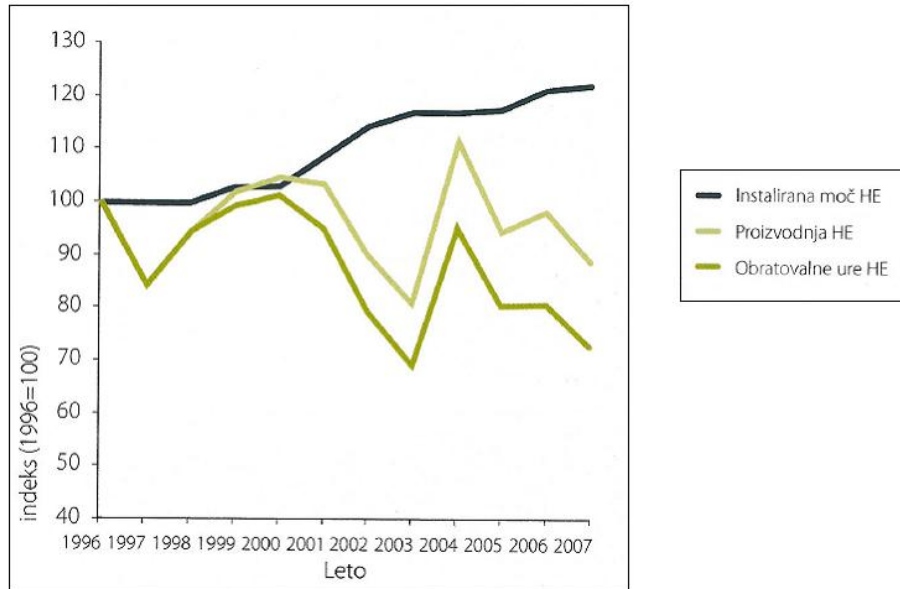
Proizvodnja električne energije iz OVE v večini primerov zahteva ukrepe za zagotavljanje enakih ali prednostnih možnosti kot proizvodnja iz klasičnih virov, kar številne države izvajajo z različnimi sistemi spodbujanja.

V Sloveniji je spodbujanje izvedeno na osnovi energetskega zakona z uredbami in sklepi vlade (www.ove.si).

2.2.1 RAZVOJ IZRABE HIDROENERGIJE V SLOVENIJI

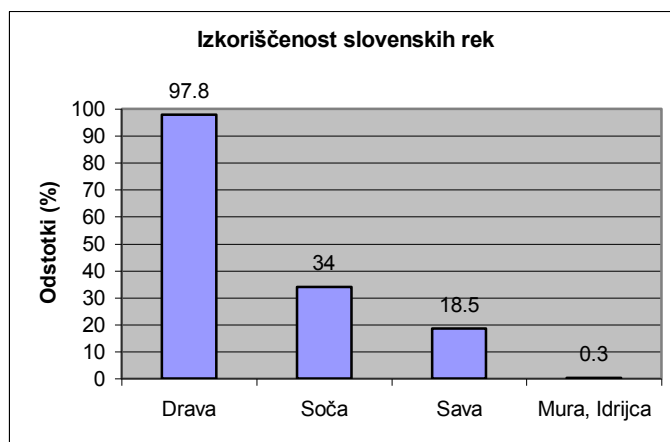
Hidroenergija v Sloveniji prispeva daleč največ k proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov energije, to je 96,7 odstotka leta 2007. Proizvodnja je razdeljena na proizvodnjo velikih hidroelektrarn (moči nad 10 MW), ki prispeva 87 odstotkov proizvodnje iz HE in na proizvodnjo hidroelektrarn moči do 10 MW.

Proizvodnja HE je močno odvisna od vodnatosti rek. Leta 2007 se je proizvodnja električne energije glede na leto 2006 zmanjšala za 9,1 odstotka. Glede na leto 2000 pa je bila proizvodnja električne energije manjša za 14,9 odstotka. Proizvodnja je bila manjša, čeprav se je inštalirana moč HE v letu 2007 povečala glede na leto 2006 za 0,9 odstotka in na leto 2000 za 18 odstotkov (OVE, 2009).



Grafikon 1: Analiza gibanja indeksa inštalirane moči, proizvodnje in obratovalnih ur HE v obdobju 1996-2007; (vir: OVE, 2009)

Izkoriščenost slovenskih rek



Grafikon 2: Izkoriščenost slovenskih rek

Grafikon 2 prikazuje delež izkoriščenosti slovenskih rek. Drava je že skoraj popolnoma izkoriščena (97,8 odstotka), Soča (34 odstotka) in Sava (18,5 odstotka) pa imata še veliko potenciala. Ob spodnji in srednji Savi so planirane izvedbe številnih elektrarn, tako da se bo stopnja izkoriščenosti povečala. Reki Mura in Idrijca sta z 0,3 odstotka izkoriščenosti še najmanj izkoriščen vodni potencial v Sloveniji, ki ga bo treba v prihodnosti še izkoristiti, če bomo želeli doseči postavljene cilje energetske-podnebnega paketa.

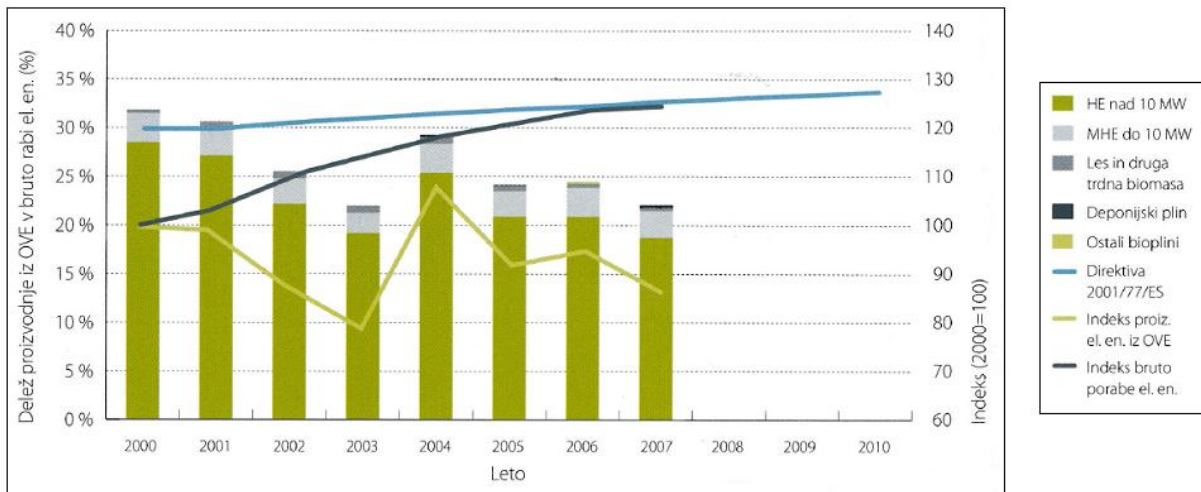
2.2.2 DOSEGANJE CILJEV OVE PO EVROPSKIH DIREKTIVAH

Evropska komisija je v osnutku direktive novega energetske-podnebnega paketa predstavila predloge za obširen in ambiciozen nov svetovni sporazum za spopad s podnebnimi spremembami in način novega financiranja. Novi sporazum je bil sklenjen decembra 2009 v Kopenhavnu z novim dogovorom, ki pa ni pravno zavezujoč. Z njim so obljubili milijarde za pomoč revnim državam v boju proti globalnemu segrevanju, a le malo storili za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (www.evropa.gov.si).

Kopenhavnski cilj je bil omejiti globalno segrevanje na manj kot 2°C nad temperaturami iz predindustrijske dobe, saj obstaja trden znanstveni dokaz, da bodo podnebne spremembe nad to točko veliko nevarnejše. Kopenhavnski sporazum naj bi določil svetovne cilje za zmanjšanje emisij in zagotovil temelj za okrepitev zmogljivosti držav za prilagoditev podnebnim spremembam. EU naj bi razvijala potencialne inovativne vire mednarodnega financiranja, ki bodo temeljili na načelu onesnaževalec plača in njihovi zmogljivosti plačevanja. Z novim energetske-podnebnim paketom se porajajo zahteve po novih proizvodnih kapacitetah, ki bodo pomagale doseči cilje:

- 25-odstotni OVE v končni porabi energije v Sloveniji do 2020 (danes znaša delež približno 16 odstotkov),
- 20-odstotno izboljšanje energetske učinkovitosti do leta 2020,
- 20-odstotno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov do leta 2020,
- 10-odstotni delež biogoriv do leta 2020.

V skladu z direktivo 2001/77/ES so v Sloveniji aktivnosti spodbujanja rabe OVE povezane z zahtevnim ciljem doseganja 12-odstotnega deleža OVE v primarni energiji in pokrivanje 33,6-odstotnega deleža električne energije s proizvodnjo iz OVE do leta 2010 (v letu 2007 je znašal delež za Slovenijo 22,1 odstotka). Za povečanje deleža električne energije iz OVE na 33,6 odstotka do leta 2010 je treba vključiti vse vrste elektrarn na obnovljive vire energije, od velikih hidroelektrarn, do vetrnih in mikrosončnih elektrarn. Skupna letna proizvodnja električne energije iz novih elektrarn na OVE v letu 2010 bo morala biti med 1 in 1,5 TWh, odvisno od proizvodnje v velikih hidroelektrarnah, za kar bo treba zgraditi od 200 do 400 MW novih elektrarn na OVE. Cilji na prvi pogled niso tako visoki, vendar postanejo skoraj nedosegljivi ob upoštevanju hitrega naraščanja porabe električne energije.



Grafikon 3: Proizvodnja električne energije iz OVE, cilj za leto 2010 po ReNEP in rast proizvodnje električne energije iz OVE ter bruto rabe električne energije v obdobju 2000-2007 (vir: OVE, 2009)

Grafikon 3 prikazuje delež električne energije, pridobljen iz obnovljivih virov ter projekcijo deleža do 2010. Delež proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov v bruto porabi je v letu 2005 znašal 23,7 odstotka, kar je za 4,9 odstotka manj kot v letu 2004. Vzrok je v močno zmanjšani proizvodnji hidroelektrarn v primerjavi z letom poprej. To pomeni, da bo doseganje postavljenega cilja, da bi v letu 2010 delež proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov znašal 33,6 odstotka, močno odvisen od hidroloških razmer v tem letu. Ker

se poraba električne energije povečuje hitreje kot njena proizvodnja, se delež električne energije iz OVE po letu 2000 zmanjšuje. Kljub spremenljivi proizvodnji hidroelektrarn je opaziti dolgoročno gibanje- postopno povečevanje proizvodnje električne energije iz OVE, predvsem iz hidroelektrarn, lesne biomase in deponijskega plina (OVE v Sloveniji, 2009).

2.3 HIDROELEKTRARNE

Hidroelektrarne (HE) so objekti, v katerih se potencialna energija vode pretvarja v električno energijo. To izkoriščamo s pomočjo gibanja vode, ki je posledica gravitacije, skozi vodne turbine, ki poganjajo generatorje električne napetosti. Količina pridobljene energije je odvisna tako od količine vode kot od višinske razlike vodnega padca. Pri konstruiranju in obratovanju HE moramo upoštevati podatek o stoletni vodi (katastrofalne vode). Izračun moči HE (P):

$$P = \rho \cdot g \cdot \eta_n \cdot Q \cdot h; (kW)$$

ρ	...	gostota vode (kg/m^3)
g	...	težnostni pospešek (m/s^2)
η_n	...	izkoristek naprav (%)
Q	...	pretok (m^3/s)
h	...	padec (m)

$$\eta_n = \eta_{cev} \cdot \eta_{transf} \cdot \eta_{tur} \cdot \eta_{gen}$$

η_n	...	skupni izkoristek (%)
η_{cev}	...	izkoristek cevovoda (%)
η_{transf}	...	izkoristek transformatorja (%)
η_{tur}	...	izkoristek turbine (%)
η_{gen}	...	izkoristek generatorja (%)

Dejanska moč, ki jo elektrarna doseže, je odvisna še od izkoristkov naprav, pri čemer so odločilni turbina, generator in transformator. O energiji, ki jo HE tekom leta proizvede, odloča trajanje pretoka vode.

V smeri toka vode je HE sestavljena na splošno iz:

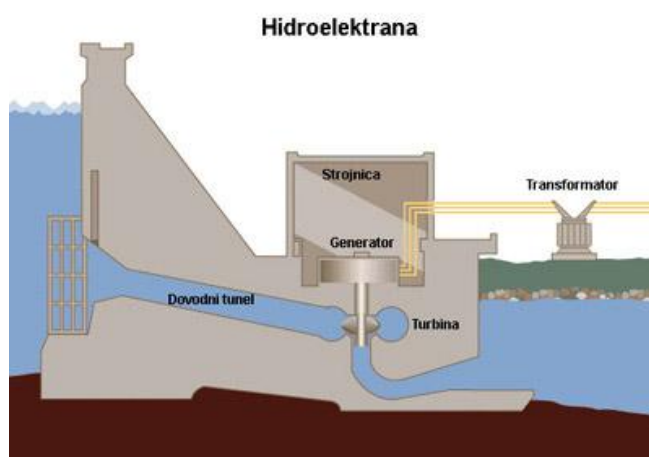
- zajetja,
- dovodnega sistema,
- hidromehanske opreme,
- zgradbe strojnice, v kateri se nahaja agregat, sestavljen iz turbine in generatorja,
- upravljalnega sistema ter povezave z distribucijskim omrežjem in
- odvodnega objekta.

2.3.1 DELITEV HIDROELEKTRARN

Glede na način izkoriščanja vode poznamo tri osnovne vrste hidroelektrarn:

1. Pretočne; Po definiciji pretočne hidroelektrarne nimajo vodne akumulacije oz. se lahko njihova akumulacija izprazni v manj kot dveh urah obratovanja pri nazivni moči. To pomeni, da se skoraj direktno koristi kinetična energija vode za pogon turbine. Dobra stran take hidroelektrarne je enostavnejša gradnja, majhen vpliv na okolje in nima dviganja nivoja podzemnih vod, slaba pa, da je zelo odvisna od trenutnega pretoka vode. To je najpogostejši tip hidroelektrarne v Sloveniji.
2. Akumulacijske; Obstajajo dve izvedbi akumulacijskih hidroelektrarn;
 - zaježitvene se nahajajo pod samim jezom
 - derivacijske pa so veliko nižje od jeza in so priključene preko cevovodov z akumulacijo.Akumulacijske hidroelektrarne so najpogostejši način pridobivanja električne energije iz energije vode. Problemi nastanejo v poletnih mesecih zaradi premajhnega naravnega dotoka glede na obratovanje hidroelektrarne. V tem primeru je potrebno zapreti zapornico za ohranjanje vsaj biološkega minimuma nivoja vode. Velik problem je dvigovanje podzemnih vod.
3. Reverzibilne (črpalne); Reverzibilne hidroelektrarne se koristijo za dnevne konice porabe električne energije. Podobne so derivacijskim z razliko, da je pretok v obe smeri derivacijskega kanala. Ko je potrošnja energije majhna, se voda črpa iz spodnjega jezera v zgornjo akumulacijo. To se običajno dela ponoči, ker je takrat

majhna poraba energije. Podnevi pa proizvaja električno energijo, ko prazni zgornjo akumulacijo. Energetsko to ni najboljša rešitev, je pa boljša, kot če bi naredili še nekaj termoelektrarn za pokrivanje dnevnih konic porabe.



Slika 1: Tip zajezitvene akumulacijske HE

V odvisnosti od višine padca pa delimo HE na:

- HE z majhnim padcem - nizekotlačne (od 2 do 30 m),
- HE s srednjim padcem - srednjekatlačne (od 30 do 100 m) in
- HE z velikim padcem - visokotlačne (100 m in več).

2.3.2 PREDNOSTI IN SLABOSTI HE

Prednosti HE so:

- proizvodnja električne energije ne onesnažuje okolja,
- izkoriščajo obnovljivi vir energije,
- hidroelektrarne imajo dolgo obratovalno dobo do 100 in več let,
- hidroelektrarne so bolj učinkovite pri sledenju hitrih sprememb moči v omrežju kot vse ostale vrste elektrarn, ki uporabljajo neobnovljive in obnovljive vire, izjema so mogoče geotermalne elektrarne,
- stroški vzdrževanja in obratovanja so nizki, nadzor obratovanja je razmeroma enostaven,

- pri obratovanju elektrarne ne nastajajo toplogredni plini kot posledica obratovanja, vendar pa plini lahko nastajajo v zaježitvah,
- olajšan je hiter odziv na spremembe pretoka, učinkovita je izhodna regulacija,
- vodne elektrarne so lahko razvite v sklopu večnamenske uporabe vode in upravljanja z vodnimi viri,
- vodni viri so zelo porazdeljeni in so funkcija področja, topografije in padavin.

Slabosti HE so:

- visoka investicijska vrednost,
- izgradnja lahko predstavlja velik poseg v okolje,
- nihanje proizvodnje glede na razpoložljivost vodnih dotokov po različnih mesecih.

Velikost in tip vodne elektrarne je odvisen od številnih dejavnikov, ki jih lahko po pomembnosti nanizamo po naslednjem vrstnem redu:

- osnovne karakteristike elektrarne narekuje razpoložljiv vodotok z vodnim padcem, povprečnim letnim pretokom, nihanjem pretokov (hudourniški ali izglajeni), najnižji letni pretoki ter pričakovani največji možni pretoki,
- omejitve velikosti in karakteristik pa pogojujejo predvsem že izgrajena naselja, večji objekti cestne in železniške konstrukcije in zelo pomembni ekološki dejavniki (zaščita virov pitne vode, zaščita značilne in dragocene flore in favne ter možnih sprememb glede mikroklimatskih sprememb),
- pri določanju velikosti in karakteristik vodnih elektrarn so ponekod odločilne tudi geološke in tektonske razmere (možni premiki itd.).

2.3.3 OBSTOJEČI IN PREDVIDENI HIDROENERGETSKI OBJEKTI V SLOVENIJI**Obstoječi hidroenergetski objekti v Sloveniji (študija IREET):**

- DEM (HE Dravograd, Vuzenica, Vuhred, Ožbalt, Fala, Mariborski otok, Zlatoličje-2009 zaključek sanacije in izpopolnitev dopolnilne inštalacije 24 MW, Formin) – skupna moč na pragu 599 MW, letna proizvodnja 2.650 GWh.

- SEL (HE Vrhovo, Moste, Mavčiče, Medvode, Boštanj) – skupna moč na pragu 152 MW, letna proizvodnja 350 GWh.
- SENG (HE Doblar, Plave, Solkan, ČHE Avče) – skupna moč na pragu 321 MW, letna proizvodnja 796 GWh.
- 18 malih hidroelektrarn z močjo med 1 in 10 MW upravljajo prej omenjene družbe, nekatere so zasebne.
- Obstaja še 433 hidroelektrarn, katerih inštalirana moč je pod 1 MW (stanje na dan 7.oktober 2008).

Predvideni hidroenergetski objekti v Sloveniji (študija IREET):

- HE na srednji Savi, $P_e = 295,3$ MW, proizvedena energija na leto = 994 GWh.
- Spodnja Sava- HE Boštanj, Blanca, Krško, Brežice, Mokrice: zgrajene do leta 2018, skupna moč na pragu bo 189 MW, letna proizvodnja 716 GWh (Rekonstrukcija (do 2010) in doinštalacija (do 2017) HE Moste).
- Soča in Idrijca:
 - HE Učja, $P_e = 35,8$ MW, proizvedena energija na leto = 31 GWh, začetek obratovanja 2014,
 - HE Kneža, $P_e = 1$ MW, začetek obratovanja 2012,
 - HE Kobarid - HE Kamno, $P_e = 67 + 14,2$ MW, začetek obratovanja 2023, HE Možnica, $P_e = 1$ MW, začetek obratovanja 2016,
 - HE na Idrijci: KUK, Slap, Most, Želin, Reka, začetek obratovanja po 2026.
- Mura: začetek gradnje po načrtu HSE je leto 2010.
- Drava:
 - ČHE Kozjak, $P_e = 440$ MW, začetek obratovanja 2013,
 - do leta 2016 obnova in dograditev HE Formin.
- Male HE – Savinja, Tolminka, Kamniška Bistrica in Meža so reke, ki imajo ocenjeni potencial reda velikosti 3,5 MW in več, upošteva ekološko sprejemljivi pretok.

Preglednica 2: Ocenjeni, tehnični in ekonomsko izvedljivi hidroenergetski potencial v Sloveniji

Ocenjeni hidroenergetski potencial v Sloveniji	19.440 GWh
Tehnični hidroenergetski potencial	9.324 GWh
Ekonomsko izvedljivo pa le 70 odstotkov zgornjega tehničnega potenciala, sedanja uporaba hidropotenciala je le 45 odstotkov	6.526,8 GWh

2.4 UMEŠČANJE HE V PROSTOR

2.4.1 PRILOŽNOSTI, IZZIVI IN UPRAVNI POSTOPKI PRI GRADNJI HE

Glavni razlog, da dogovorjeni cilji glede obnovljive energije niso dosegljivi, je poleg današnjih višjih stroškov za obnovljive vire energije in za tradicionalne vire energije, pomanjkanje skladnega in učinkovitega političnega okvira po vsej EU in stabilne dolgoročne vizije. Izziv politike obnovljivih virov je najti pravo ravnotežje med vzpostavitvijo velikega obsega obnovljive energije danes in čakanjem na jutri, ko bodo raziskave znižale njene stroške. Za izpolnjevanje zahtev (25 odstotkov OVE v končni rabi v letu 2020), bosta potrebna nadaljevanje in pospešitev gradnje velikih hidroelektrarn, saj so med ekonomsko najbolj upravičenimi možnostmi za doseganje tega cilja (OVE, 2009).

Da bo lahko nadomestila zastarele zmogljivosti za proizvodnjo električne energije in zadostila povpraševanju ter ciljem iz energetske-podnebnega paketa, bo EU v naslednjih dvajsetih letih potrebovala precejšnje naložbe. Za pravočasne in trajnostne naložbe je potreben pravilno delujoči trg, ki omogoča ustrezne cenovne signale, spodbude, regulativno stabilnost in dostop do finančnih sredstev. Energetska politika mora torej dati prednost stroškovno učinkovitim možnostim ter temeljiti na ekonomski analizi različnih političnih možnosti in njihovega vpliva na ceno energije. Temelj gospodarstva je zanesljiva energija po dostopnih cenah. Vodna energija je prav eden takih virov, ki te kriterije v glavnem izpolnjuje. Vsaka država, ki ima naravne danosti v vodni energiji, bi morala imeti ta vir za prioriteto.

Rezerv je še veliko, kako bodo ti potenciali izkoriščeni, pa je precej odvisno od vladne politike. Vlada sicer sprejema ustrezno zakonodajo, vendar imajo proizvajalci kar nekaj pripomb, saj spodbujanje gradnje novih ovira obnavljanje starih elektrarn in obratno. Nekaj manj kot šestina proizvodnje elektrike v slovenskih hidroelektrarnah odpade na male hidroelektrarne. Za doseganje boljših rezultatov bi potrebovali poleg spodbud v obliki odkupne cene električne energije, proizvedene v malih hidroelektrarnah, tudi lažje umeščanje novih proizvodnih objektov v prostor. Vlada Republike Slovenije je leta 2009 sprejela dve uredbi, ki bistveno zvišujeta odkupne cene in podpore:

- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz OVE ter
- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni v soproizvodnji toplote in električne energije z visokim izkoristkom.

Z dvigom podpor bomo v Sloveniji dobili stabilnejši sistem podpor, kot smo ga imeli doslej, in povečalo se bo zanimanje investorjev za tovrstne projekte. Cene in podpore bodo določene po načelu pokrivanja proizvodnih stroškov električne energije (OVE, 2009).

2.4.1.1 Zakon o vodah (2002) in vpliv ekološko sprejemljivega pretoka vode

Zakon o vodah definira ekološko sprejemljiv pretok kot tisto količino vode, ki ob dovoljeni rabi ne poslabšuje stanja vode, oziroma ne preprečuje njenega izboljšanja ter ohranja zgradbo in delovanje vodnega in obvodnega ekosistema (ZV-1, 2002).

Pri gradnji hidroelektrarn, kjer pride do zmanjšanja pretoka površinskih voda ali do znižanja njihove gladine ali pa poslabšanje stanja voda, mora biti v vseh letnih obdobjih zagotovljen ekološko sprejemljivi pretok ali gladina površinske vode (ZV-1, 2002).

Ministrstvo za okolje in prostor sprejema metodologijo za določanje ekološko sprejemljivega pretoka vode (Qes), kar zahteva tudi zakon o vodah iz leta 2002. Predlog predpisa uvaja metodo, ki bo veljala za vse lokacije, vendar pa bi se ekološko sprejemljivi pretok določal na posamezno posebno rabo in upošteval razmere na obravnavani lokaciji. Raba površinskih

voda nikakor ne sme škodljivo vplivati na okoljske cilje. Vse predpise o vplivu na okolje obravnava Ministrstvo za okolje in prostor v sodelovanju z javnostjo, tako da ne bi smelo priti do večjih ovir pri izvedbi projektov. Zvezi društev MHE se zdi ta metodologija problematična, prav tako tudi možnost, da bo gradnja novih malih hidroelektrarn ustavljena, mnogim delujočim pa bi se proizvodnja električne energije zmanjšala za 30 do 60 odstotkov. Ekološko sprejemljiv pretok vode naj bi se po novi metodologiji močno povečal, zato pa bi se močno zmanjšala proizvodnja hidroelektrarn.

Po mnenju strokovnjakov so pri gradnji hidroelektrarn najpogostejši zapleti pri pridobivanju koncesije za rabo vode. Lokacije, kjer je koncesijo mogoče dobiti, so bolj izjema kot pravilo. Hkrati je treba v tej fazi projekta uskladiti prostorske akte z vnašanjem spremenjene rabe prostora, za kar je potrebno pozitivno mnenje Zavoda za varstvo narave, Zavoda za ribištvo in Inštituta za vode RS. Postopek od pobude do izdaje koncesije traja 5 do 10 let (OVE, 2009).

2.4.1.2 Pridobitev vodne pravice

V skladu z Zakonom o vodah iz leta 2002 je potrebno vodno pravico pridobiti za vsako rabo vodnega ali morskega dobra, ki presega meje splošne rabe, za rabo naplavin ali podzemnih voda in sicer na podlagi vodnega dovoljenja (125. čl. ZV-1) ali koncesije (136. čl. ZV-1) v skladu z določbami tega zakona.

Za rabo vode za proizvodnjo električne energije Zakon o vodah predvideva pridobitev vodnega dovoljenja, če gre za hidroelektrarno, ki ne bo neposredno priključena na javno električno omrežje oziroma koncesije, če gre za hidroelektrarno, ki bo priključena na javno električno omrežje. Vodno pravico mora, na podlagi 199. čl. ZV-1, pridobiti tudi pravna ali fizična oseba, ki je na dan uveljavitve tega zakona že rabila oziroma izkoriščala vodno ali morsko dobro ali odvzemala naplavine in ni razpolagala z ustreznim aktom o vodni pravici. V ta namen mora omenjena pravna ali fizična oseba v dveh letih od uveljavitve ZV-1 vložiti vlogo za izdajo vodnega dovoljenja ali koncesije (<http://www.arso.gov.si> (18.5.2010)).

Pri odločanju o možnosti pridobitve vodne pravice se v okviru postopka preveri, ali obstajajo prostorske podlage za gradnjo objektov za izvajanje vodne pravice, pridobijo se naravovarstvene smernice Zavoda za varstvo narave v skladu z Zakonom o ohranjanju narave (Ur. L. RS 56/1999) in strokovno mnenje Zavoda za ribištvo v skladu z Zakonom o sladkovodnem ribištvu (Ur. L. RS 61/2006). Preveriti je potrebno, ali so na obravnavanem območju že podeljene vodne pravice in navsezadnje strokovno preveriti varstvena in ogrožena območja ter druge pravne režime po Zakonu o vodah. Po proučitvi vseh pravnih in strokovnih omejitev in režimov, potrebnih za odločanje o podelitvi koncesije, sprejme Vlada RS koncesijski akt in ga objavi v Uradnem listu RS. Na podlagi tega akta izvede ARSO javni razpis in pripravi Vladi predlog za izbor koncesionarja. Predloge odločb o izbiri koncesionarja obravnava Vlada RS, ki odloči o izboru koncesionarja. Po pravnomočnosti odločbe pripravi ARSO koncesijsko pogodbo med koncesionarjem in RS kot koncedentom. V imenu koncedenta sklene pogodbo generalni direktor ARSO, ki ga je Vlada pooblastila za to dejanje.

Zakon o vodah v 7. poglavju ureja tudi prilagoditev vodnih pravic za obstoječo rabo vode in sicer za objekte in naprave, ki so ob uveljavitvi Zakona o vodah imeli pridobljeno pravnomočno vodnogospodarsko dovoljenje, uporabno dovoljenje oziroma odločbo upravnega organa o priglasitvi del (Habič, 2006).

Posebna raba voda se lahko prepove, omeji ali se zanjo določijo posebni pogoji, če bi nameravana raba lahko ogrožala doseganje in ohranjanje ciljev upravljanja voda, ogrožala zdravje ljudi, ogrožala naravno ravnovesje vodnih in obvodnih ekosistemov, omejevala urejanje voda ali bila v nasprotju s predvidenimi ukrepi urejanja voda in škodljivo vplivala ali ogrožala območja, varovana po predpisih o ohranjanju narave (ZV-1, 2002).

2.4.1.3 Pridobitev koncesijske pogodbe za rabo vode

Po mnenju strokovnjakov so pri gradnji hidroelektrarn za proizvodnjo električne energije, najpogostejši zapleti pri pridobivanju koncesije za rabo vode. Lokacije, kjer je koncesijo mogoče dobiti, so bolj izjema kot pravilo. Hkrati je treba v tej fazi projekta uskladiti prostorske akte z vnašanjem spremenjene rabe prostora, za kar je potrebno pozitivno mnenje

Zavoda za varstvo narave, Zavoda za ribištvo in Inštituta za vode RS. Postopek od pobude do izdaje koncesije traja 5 do 10 let (OVE, 2009).

Koncesijo lahko pridobi fizična ali pravna oseba, ki izpolnjuje predpisane pogoje. V imenu koncedenta jo podeljuje vlada, skladno z določbami zakona, za določen čas, vendar ne več kot za 50 let. Na vlogo imetnika se koncesija podaljša, če so izpolnjeni vsi pogoji, ki so ob izteku koncesije predpisani za njeno pridobitev.

2.4.1.4 Prostorsko planiranje

Strojnico hidroelektrarne se gradi na vodnem ali obvodnem svetu, ki je pogosto v lasti države. Vodnega sveta država ne prodaja, zato je skoraj nujno potrebno objekt strojnice odmakniti od same struge, kar pa je tehnično gledano povsem napačno, saj za to potrebujemo dolge iztočne kanale, ki samo podražijo gradnjo in zaradi hidravličnih izgub manjšajo izkoristek elektrarne.

Lokacije zajetja, izpusta in strojnice se najprej izbere po tehnični plati, tam, kjer so za to najboljše naravne in prostorske danosti. Težava nastane, ker je potrebno za gradnjo na teh lokacijah imeti gradbene (zazidljive) parcele, ki pa to niso. Zakon o vodah sicer dovoljuje gradnjo zajemnih in iztočnih objektov na vodnem svetu, same strojnice, kot zgradbe pa naj bi bile izvzete. Zemljišče strojnice je zato potrebno vključiti v občinskih prostorskih planih v zazidalne načrte oz. v predlagane spremembe prostorskih planov. Potem, ko je novi prostorski plan sprejet, je možna pridobitev gradbenega dovoljenja (www.gorenjske-elektrarne.si).

2.4.1.5 Varstvo narave

Naravno ohranjeno okolje je ena od glavnih družbenih vrednot, ki omogoča življenje, zato je z okoljem potrebno skrbno ravnati in ga zaščititi. Največje ogrožanje okolja danes predstavlja globalno segrevanje ozračja, ki je posledica trošenja fosilnih goriv za zagotavljanje energetskih potreb civilizacije.

Alternativa fosilnim gorivom so OVE ter jedrska energija. Jedrska energija je okoljsko zelo obremenjujoča zaradi emisij radioaktivnega sevanja ter zaradi energetske zahtevne priprave goriva. Obnovljivi viri energije so tako danes edini ekološko sprejemljiv vir energije. V bistvu so hidroelektrarne edini vir izmed OVE, ki ima pomemben delež pri slovenski energetske bilanci.

Gradnja HE vnaša precejšnje spremembe v rečni vodni režim. Voda se z zajezitvami umirja, pri visokotlačnih HE gre glavna voda po cevovodu, po strugi pa teče le ekološko sprejemljivi pretok Qes.

Okoljska zaščita je pri nas zelo močna. Z uvedbo območij Natura 2000, ki zajema skoraj vse slovensko naravno ohranjeno okolje, se je zaščita še bolj povečala. Vsa območja vodnega sveta s potoki in rekami so pod različnimi vodovarstvenimi in okoljevarstvenimi zaščitami.

Če je območje vključeno pod naravovarstveno zaščito, je postopek pridobivanja koncesije in gradbenega dovoljenja zelo otežen, saj ta zahteva težnjo k ohranitvi naravnega okolja, kakršna koli gradnja pomeni degradacijo stopnje naravnosti okolja in zato ni sprejemljiva (www.gorenjske-elektrarne.si).

2.4.1.6 Natura 2000 in ekološko pomembna območja v Sloveniji

Pri možnostih postavitve hidroelektrarn sta pomembna dejavnika Natura 2000 in ekološko pomembna območja. Kot vse države članice EU je tudi Slovenija dolžna določiti območja Natura 2000 in jih ustrezno ohranjati. Namen Nature 2000 je ohranjati biotske raznovrstnosti, in sicer tako, da varuje naravne habitate ogroženih rastlinskih in živalski vrst, pomembnih za Evropsko unijo. Izbira načina varovanja območij Natura 2000 je prepuščena oceni vsake države članice (npr. pogodbeno varstvo ali skrbništvo, pogodbe v okviru kmetijsko-okoljskega programa,...). Vlada Republike Slovenije je 29. aprila 2004 določila območja Natura 2000 v Sloveniji z Uredbo o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). Določenih je 286 območij; 260 na podlagi direktive o habitatih in 26 na podlagi direktive o pticah. Območja zajemajo 36 odstotkov površine Slovenije. V zavarovanih območjih

(Triglavskem narodnem parku, regijskih in krajinskih parkih ter rezervatih in naravnih spomenikih) je 25 odstotkov skupne površine območij Natura 2000 (www.natura2000.gov.si).

Pri postavitvi novih proizvodnih energetskega objekta je treba poznati tudi ekološko pomembna območja, ki so po Zakonu o ohranjanju narave območja habitatnega tipa ali večje ekosistemske enote, ki pomembno prispevajo k ohranjanju biotske raznovrstnosti. Ekološko pomembna območja obsegajo:

- območja habitatnih tipov, ki so biotsko izjemno raznovrstni ali dobro ohranjeni, kjer so habitati ogroženih prostoživečih rastlinskih ali živalskih vrst,
- območja habitatnega tipa ali večje ekosistemske enote, ki pomembno prispevajo k ohranjanju naravnega ravnotežja,
- habitati vrst, ki so varovane na podlagi ratificiranih mednarodnih pogodb in predpisov EU,
- selitvene poti živali,
- območja, ki bistveno prispevajo k genski povezanosti populacij prostoživečih rastlinskih ali živalskih vrst.

Ekološko pomembna območja so eno izmed izhodišč za izdelavo naravovarstvenih smernic in so obvezno izhodišče pri urejanju prostora in rabi naravnih dobrin. Za gradnjo objektov na teh območjih, ki niso obenem območje Natura 2000, zavarovano območje ali območje vrednot, ni treba pridobiti naravovarstvenih pogojev in soglasja (OVE, 2009).

Vsaka država članica in energetska družba sama izbere sestavo energetskega virov. Vendar izbira posamezne države članice neizogibno vpliva na zanesljivost oskrbe z energijo pri njenih sosedah in v skupnosti kot celoti in vpliva na konkurenčnost in okolje. Bližina meje povečuje zahtevnost postopkov umestitve hidroelektrarn. Pri gradnji tovrstnih objektov nastane precej vprašanj glede čezmejnih vplivov, način njihovega reševanja pa je precej zapleten.

2.4.2 VPLIVI IN OCENA VPLIVOV HIDROELEKTRARN NA OKOLJE

2.4.2.1 Vpliv hidroelektrarn na okolje

Izgradnja vodnih zadrževalnikov je izjemno obsežen poseg v vodotok z različnimi posledicami na fizikalne, kemijske, hidrološke, klimatske, krajinske, gospodarske in ne nazadnje biološke značilnosti in lastnosti spremenjenega odseka reke ali potoka, kažejo pa se različni vplivi tudi daleč dolvodno. Vodni zadrževalniki imajo na habitatne tipe in na lokalno značilno floro in favno dvojen vpliv. Prvi je neposreden, ki zaradi gradbenih posegov ob postavitvi jezua in utrjevanju rečnih bregov ob celotnem akumulacijskem jezeru, ob dotoku v jezero in iztoku pod jezum ali iz strojnice elektrarne ter seveda poplavljanjem, nepovratno uniči prvotno strugo vodotoka z vsemi habitatnimi in biotskimi značilnostmi.

Pod jezum akumulacije je vodni režim spremenjen v tolikšnem obsegu, da povzroči delne spremembe favne in flore. Za mnoge vodne organizme je kljub izgradnji ribjih stez pregrada na reki ali potoku nepremagljiva ovira in so prekinjene vsakršne migracije. Zaradi tega se spremeni sestava vrst tako nad pregrado kot pod njo. Nekatere vrste celo izginejo. Ribe potrebujejo na različnih razvojnih stopnjah in v različnih obdobjih življenja različne prostore za drst, razvoj in odraščanje zaroda in mladice, rast in za prehranjevanje. Po izgradnji pregrade so ti življenjsko pomembni prostori za ribe različni in ločeni, tako da so v določenih življenjskih obdobjih zanje nedostopni.

Zajezitev reke ima lahko velik vpliv na podtalnico. Zatesnitev dna in brežin akumulacije lokalno prekine izmenjavo vode med reko in podtalnico, zato se nivo podtalnice zniža, kar lahko povzroči propad obrežne vegetacije ob akumulaciji. Na območju nezatesnjene akumulacije se podtalnica napaja, kar je posebej izrazito v začetnem obdobju, ko še ni oblikovan sloj finih sedimentov, ki sčasoma precej zmanjša pronicanje. Zaradi umetnega polnjenja se v okolici akumulacije dvigne nivo podtalnice, kar lahko povzroči zamočvirjenje tal.

Druga oblika vpliva je posredna. Zmanjšanje hitrosti vodnega toka vode se odraža v majhni vsebnosti kisika, ki vstopa v vodo z difuzijskimi procesi. Posebej v poletnem obdobju, v času nizkih pretokov vode, so zaradi manjše prostornine in posledično manjše toplotne kapacitete vodotoka, značilna dnevno-nočna nihanja v temperaturi vode, posebej v majhnih skalnatih vodotokih. V mirujočem akumulacijskem jezeru za pregrado se skoraj v celoti spremeni vrstna sestava vodne favne ali vsaj delež posameznih vrst. K tem spremembam prispeva postopna eutrofizacija vode in skoraj praviloma polucija. Enako se na obrežju jezera, ki je pogosto utrjeno s kamnometi ali kako drugače urejeno, naseli rastlinstvo in razvije vegetacija, značilna za stoječe vode ali močvirna rastišča, ki npr. za gričevnato-alpsko območje Slovenije ni značilna. V plitvih delih jezera se naselijo vodni makrofiti.

V primeru zajezitve rečnega sistema se gorvodno zmanjša hitrost vodnega toka, ki ne more več premeščati sedimentov in plavin, zato se posledično začnejo odlagati iz vodnega toka kot naplavine ali usedline v akumulaciji. S postavitvijo že samo ene večje pregrade, se na vodotoku dolvodno zmanjša prodonosnost, ki se v primeru izgradnje verige pregrad stopnjuje do popolne prekinitve prenašanja proda. Z zadrževanjem vode se zmanjša njena erozijska moč in reka izgublja naraven življenjski ritem, v katerem je bilo spreminjanje oblike, širine in poteka struge ali ustvarjanje prodišč normalen pojav. Prodišča so v rečnem ekosistemu izredno pomemben habitatni tip s številnimi vrstami.

Zaradi zajezitve pride do spremembe globine vode. Večja kot je globina, manj svetlobe lahko prodre do dna in onemogoči fotosintezo. Manjša prirast rastlin pomeni slabše pogoje za razvoj živali in manjši potencial za povečano količino kisika v vodi, kar je povezano tudi z zmanjšanim pretokom vode.

Z izgradnjo zajetja, cevovoda, strojnice, dostopne poti do gradbišča, transformatorske postaje, električnega priključka na javno omrežje, iztoka iz strojnice, sečnje vegetacije zaradi višine vode, ki bo naplavila območje gorvodno od pregrade, močno posežemo v naravno krajino in s tem nepovratno naredimo škodo v naravnem okolju. S stališča varstva naravne dediščine so akumulacijske HE še bolj sporne od pretočnih. Pri akumulacijskih HE je potrebno zgraditi visoko pregrado, ki učinkuje kot tujek v naravnem okolju, predvsem pa je tujek akumulacijsko jezero, katerega gladina zaradi načina obratovanja močno niha.

Kljub dolgotrajnemu zmernemu vplivu človeka na vodotoke, še vedno ugotavljamo pestro sestavo habitatnih tipov tekočih voda in prisotnost mnogih ozko specializiranih in v Sloveniji ali v evropskem prostoru redkih rastlinskih in živalskih vrst. Gradnja hidroelektrarn na večjih in manjših vodotokih močno spremeni vodni režim in z njim povezane fizikalne, kemične in mehanične pojave v strugi in ob njej ter hkrati veliko bolj kot dosedanji posegi, vpliva na živi svet. Deloma so po dokončanju gradnje habitatni tipi v celoti uničeni ali močno spremenjeni, postopno pa se pojavijo nove vrste, ki pogosto, vsaj v lokalnem okviru, niso avtohtone ali jih najdemo izjemoma. S stališča ohranjanja čim bolj neokrnjene narave kot celote, so veliki objekti na rekah, npr. pregrade in jezera za njimi, nesprejemljivi. V primeru, da se določi kot kriterij za odločanje o možnosti posega izbor vrst in habitatnih tipov iz mednarodnih in domačih dokumentov (konvencije, direktive, zakoni), verjetno obstaja potencialna sprejemljivost večjega posega na nekaterih odsekih rek. Ustrezne strokovne podlage za pripravo ocene vplivov bo seveda mogoče pripraviti izključno na osnovi natančnega poznavanja ekosistema tekočih voda in njegovih sestavnih delov, rastlinskih, živalskih vrst in habitatnih tipov. Obstoječe informacije so pomanjkljive, zato bi bilo nujno čim prej pričeti s sistematičnim in celovitim raziskovanjem flore, vegetacije, favne in habitatnih tipov vodotokov in obvodnega prostora ter tako dopolniti manjkajoče podatke. Z dobro organiziranim delom bi bila biološka stroka sposobna v nekaj fazah izdelati podatkovne baze za vodotoke, ki so potencialno uporabni za energetske izrabe. Na tak način bi bile biološko-naravovarstvene strokovne podlage, ki imajo pri oceni vplivov vedno pomembnejšo vlogo, pripravljene pravočasno in bi bilo odločanje o sprejemljivosti posegov korektno in predvsem hitro (www.sel.si).

2.4.2.2 Ocena vplivov hidroelektrarn na okolje

Direktiva Sveta 85/337, z dne 27. junija 1985, o oceni vplivov določenih javnih in zasebnih projektov na okolje, nam daje naslednjo definicijo: »Ocena vpliva na okolje bo na primeren način identificirala, opisala in ocenila neposreden in posreden vpliv projekta na naslednje faktorje (<http://ec.europa.eu/environment/eia/full-legal-text/85337.htm> (29.07.2010)):

- ljudi, živali in rastline,
- zemljo, vodo in podnebje,

- interakcijo med zgornjimi faktorji,
- materialnim premoženjem in kulturno dediščino.«

Ocena vpliva na okolje je postopek, ki podpira odločitve, saj študije vpliva ne morejo biti reducirane na enostavne opise, ampak jih mora oceniti predlagatelj projekta ter pristojnim organom priskrbeti vse potrebne elemente, da se bodo lahko za projekt odločili. Zato mora študija vsebovati znanstveno razložene vse vplive »projekta« na okolje. Ta pristop povzroči dva pomembna problema: transparentnost korakov, ki so pripeljali do odločitve in ponovitev celotnega procesa odločitve.

Kot proces odločitve je ocena vpliva na okolje pomembna takrat, kadar obstaja več alternativ, med katerimi se odločamo: potrebno je upoštevati različne projektne in vzorčne alternative, med katerimi je tudi »ničelna alternativa«, potrebno je analizirati relevantne vplive.

Glede na trenutek procesa odločitve lahko ima ocena vpliva na okolje različne stopnje podrobnosti:

- v uvodni fazi je lahko ocena narejena na podlagi idejnega osnutka,
- v vmesni fazi je potrebna bolj natančna študija izvedljivosti,
- v zadnjem koraku je potrebno upoštevati končni načrt za izvedbo.

Na splošno bi morala biti ocena vpliva na okolje izvedena, kakor hitro je v postopku odločitve to mogoče; po drugi strani je očitno, da so informacije, upoštevane v končnem načrtu za izvedbo, zelo podrobne, alternative načrta so pogosto reducirane na olajševalne ukrepe, medtem ko je v idejnem osnutku ter študiji izvedljivosti možno več svobode, saj lahko še vedno proučujemo tako tehnološke alternative kot različne lege.

Ocena vpliva na okolje mora biti izvedena tako, da jo lahko kadarkoli ponovimo ter zato tudi, kolikor je le mogoče, transparentna: to je zelo pomembna zahteva, ki se vidi v jasnosti podatkov in metodah pristopa, sprejetih tako s strani predlagatelja projekta kot pristojnih organov. Obe strani se morata strinjati s splošno metodologijo, saj lahko tako dosežemo, da vsaka stran sledi definiranim in natančnim korakom ter se, kolikor je le mogoče, izogne arbitrarnim vrednotenjem (Pušnik, 2010).

2.4.2.3 Koraki študije vpliva na okolje

Vsako študijo vpliva na okolje lahko razdelimo v naslednje korake (EC, Guide to the Environmental Approach and Assessment, 2000):

1. Opis projekta, okolja ter različic načrta

Opis je prvi korak v študiji vpliva na okolje. Cilj je opisati, kaj želite storiti, zakaj, kdaj, kje, zakaj na tem območju in ne kje drugje. Kakorkoli že, vse, kar se opisuje, mora biti materialna, fizična, merljiva karakteristika, saj bo osnova za sledeče korake. Po drugi strani so v tem koraku vedno prisotna nekatera *apriorna* vrednotenja: ni jih možno izločiti ter pogojujejo opis.

Na splošno lahko vpliv opišemo s pomočjo naslednjih elementov:

- a) Vir je načrtovana intervencija (fizično dobro definirana dela, človeške aktivnosti, planiranje itd.), ki lahko povzroči pomembne vplive na okolje.
- b) Elementarna dejanja so elementi intervencije, ki povzročajo interference na bližnjem okolju; morajo biti določeni za različna obdobja v življenju elektrarne (izgradnja, delovanje, možne okvare, razgradnja).
- c) Neposredna interferenca je neposredna sprememba, ki jo je mogoče opisati s faktorji okolja, ki jih proizvaja načrtovana intervencija in so upoštevani v začetni fazi (emisije hrupa ali onesnaževalcev vode).
- d) Okoliški cilji so elementi – kot je zajetje pitne vode, stavba za prebivanje, območje, kjer živi določena živalska vrsta – opisani s pomočjo komponent okolja, ki jih lahko dosežemo in modificiramo s preobratom, ki ga povzroči načrtovana intervencija.

2. Določitev ter ocena vplivov projekta na okolje

Glavno področje analize vplivov je primerjava okolja pred in po realizaciji dela. Z drugimi besedami, ta faza povezuje projektne dejavnosti z njihovimi vplivi na okolje. Za določitev področja je potrebno projekt razdeliti na osnovna dejanja, ne samo zaradi jasnosti same raziskave, pač pa še posebej zaradi tega, ker lahko le s podrobnimi detajli v opisu preprečimo splošne, kvalitativne in naključne informacije. Razdelitev na osnovna dejanja pa pripelje do problema, kako izvesti sintezo vseh informacij v fazi ocenitve. Med fazo analize se sprva

soočimo s problemom popisa pomembnih vplivov, ki jih povzroči projekt ter okoliški cilji. Veliko pomoč nam lahko nudi vnaprej pripravljen seznam tako dejanj kot vplivov. V specifičnem primeru ocene vpliva HE na okolje smo izbrali pristop s pomočjo prej omenjenega seznama.

Ko so relevantni vplivi za določeno situacijo determinirani, sledi naslednji korak – ocenitev vplivov. Ocena vpliva mora biti kolikor je le mogoče kvantitativna. To je najpomembnejši vidik celotnega postopka. Vplivi so zelo pogosto definirani s kvalitativnimi kriteriji, ki so arbitrarni in nemerljivi, tako da je že pred samo ocenitvijo prisotna nesprejemljiva stopnja nezanesljivosti. Nadalje morajo biti vplivi definirani s kriteriji, ki so lahko merljivi ali pa kompatibilni s stopnjo projektnih podrobnosti ter možnostjo pridobitve odgovorov glede okoliške sprejemljivosti projekta s strani pristojnih organov. Zato je še posebej za HE priporočljivo, da se ocena vpliva na okolje nanaša na abiotske indekse, ki so lažje merljivi kot biotski in iz katerih biotski tudi izhajajo.

3. Ocena vpliva na okolje, ki jo izvede predlagatelj projekta

V koraku ocenitve prehajamo iz določitve in ocenitve vplivov, kjer je vsak merjen z ustrezno kvantiteto, v ocenitev pomembnosti odstopanja, ki smo ga predvideli za specifično komponento okolja.

V tej fazi moramo definirati kriterij na osnovi, na kateri je vpliv na preučevano okolje bolj ali manj pomemben. Da bi bil prehod iz prejšnjega koraka na korak ocenitve, kolikor je le mogoče, nearbitraren, je nujno, da so kriteriji čim bolj jasni.

Faza ocenitve je zelo občutljiva: vse elemente je potrebno vnaprej določiti, da bi pristojni organi lahko sprejeli končno odločitev o projektu. V tej fazi morajo predlagatelj projekta in pristojni organi delovati skupaj ter natančno definirati svoje dolžnosti in naloge. Predlagatelj projekta mora vnaprej določiti okoliško oceno, da bi lahko pristojni organi preverili zanesljivost izdelane ocene ter tehtnost izdelave analize občutljivosti. Zelo pomembno je, da predlagatelj raziskave ne ustavi v fazi opisa projekta in v fazi ocenitve vplivov ter prepusti izvedbo ocene pristojnim organom: bolje je, da predlagatelj izmeri globalne vplive projekta glede na metodologijo, ki dopušča pristojnim, da izdelajo lastno avtonomno oceno.

Ocena vpliva na okolje mora:

- jasno določiti kriterije, ki so predvideni za osnovo ocenitve pomembnosti vpliva (*definicija lestvice*),
- določiti pomembnost okoliških virov, oskrbovanje in upravičevanje privzetega sistema tehtnosti (*definicija uteži*).

Eno izmed glavnih področij ocene vplivov na okolje je določitev metodologije, s katero se strinjata tako predlagatelj projekta kot pristojni organi in ki predstavlja skupno osnovo za razpravo ter vrednotenje. Uporabljena metoda mora dopustiti možnost preverjanja, kako smo do končne ocene prišli in kako se končna ocena razlikuje, kadar se razlikuje tudi tehtnost posameznih vplivov (Guide to the environmental approach and impact assesment). V Sloveniji je za posege v okolje, na področju gradnje HE, potrebno izdelati presojo vplivov na okolje, če je akumulacija HE večja od 10.000 m³ in za HE z močjo 1.000 ali več kW (Uredba o vrstah posegov v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje, UR. L. RS 78/2006).

Izgradnja in delovanje HE predstavlja velik dejavnik pri odločanju same gradnje HE, saj je vpliv na okolje velik. Proizvodnja električne energije, tudi tiste iz obnovljivih virov, kamor spadajo hidroelektrarne, je vedno nek kompromis (iz ekonomskega, tehnološkega in okoljskega vidika) (Pušnik, 2010).

3 NAČRTOVANJE HE UČJA

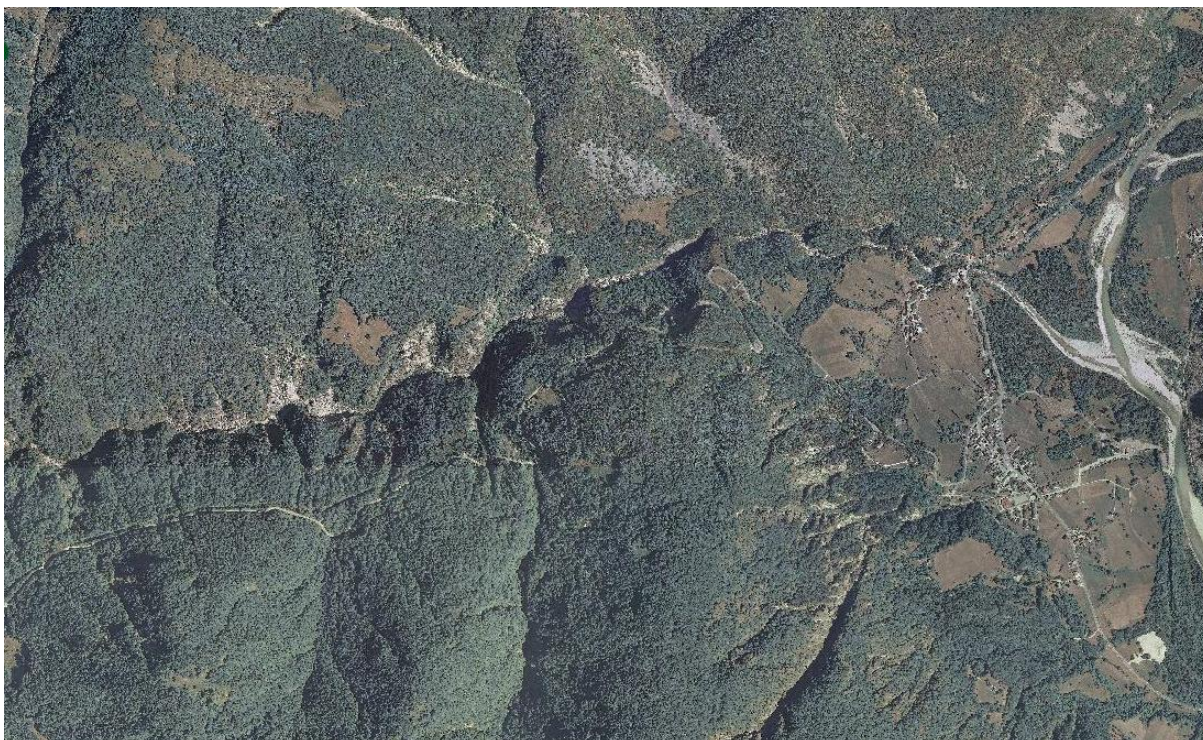
V podjetju Soške elektrarne Nova Gorica d. o. o. (SENG) je osnovna dejavnost proizvodnja modre energije – električne energije iz obnovljivega vira v hidroelektrarnah na povodju Soče. Soča in njeni pritoki danes poganjajo 5 velikih, 21 malih hidroelektrarn s skupno močjo 161 MW in leta 2009 zgrajeno črpalno hidroelektrarno Avče instalirane moči 178 MW, ki bo letno proizvedla 426 GWh vršne energije.

Pri družbi SENG načrtujejo leta 2012 tudi začetek gradnje akumulacijske hidroelektrarne Učja. Bodoča elektrarna bo izkoriščala vodni potencial tamkajšnje reke Učje in bo proizvedla 31 GWh vršne energije.

V nadaljevanju bom prikazal hidroenergetski potencial in stanje proizvodnje električne energije reke Soče, opisal reko Učjo in osnovne značilnosti hudournikov ter povzel načrtovanje HE Učja iz Idejne zasnove SENG-a.



Slika 2: Prikaz območja reke Učje in možnih lokacij pregrad (Geodetska Uprava Republike Slovenije, 29.7.2010)



Slika 3: Satelitski posnetek območja reke Učje (Geodetska Uprava Republike Slovenije, 29.7.2010)

3.1 REKA SOČA IN NJEN HIDROENERGETSKI POTENCIAL

Soča je najvzhodnejša alpska reka, ki izvira izpod zahodnih Julijskih Alp, v bližini vasi Trenta, na nadmorski višini 916 m in se izliva pri mestu Gradež, na italijanski strani, v Jadransko morje. Po slovenskem ozemlju teče okrog 92 km, državno mejo pa prestopi v bližini Solkana. Na vzhodni strani meji povodje Soče na vodno območje reke Save, na severozahodni strani na območje Drave, na zahodu pa na pritoke Soče, ki se stekajo v Sočo na italijanskem ozemlju. Južna stran Soče pa meji na Kras. Površina tega povodja znaša 2333,3 km², kar zavzema 11,5 % Slovenije. Dolžina vseh vodotokov na povodju Soče meri 2874,1 km, kar predstavlja 9,8 % dolžine vseh dolžin vodotokov v Sloveniji.

Večino svojega padca doseže reka prav do prehoda na ozemlje sosednje države, kjer ji po nižinskem predelu ostane še okrog 50 km do izliva v morje.

Svojo izvorno vodo dopolnjuje z večjimi pritoki Koritnice, Lepene, Učje, Tolminke in Idrijce. Vključno z matičnim izvirom pa je večina navedenih vodotokov hudourniškega značaja. Prav to zaznamuje reko Sočo z izrazito velikim nihanjem vodnih pretokov. Ti se pri hidroelektrarni Solkan redno gibljejo od skromnih 10 do 2000 m³/s. V obdobju izgradnje te elektrarne je znašal povprečni letni pretok na mestu objekta 96 m³/s.

Želje po izrabi vodnih potencialov, ki jih nudijo veliki padci na kratkih razdaljah, so bile porojene že pred prvo svetovno vojno. Tedaj so načrtovali niz manjših hidroelektrarn z močjo do največ 10 MW. Tovrstna gradnja bi tedanji skromni porabi popolnoma ustrezala.

Med obema vojnoma je italijanska družba Societa Adriatica di Eletricita (SADE) pristopila k temeljitejšim študijam za kompleksno izrabo potenciala reke Soče. Rezultat tega so bili načrti za izgradnjo velikih akumulacij, ki bi se vrstili vse od Bovca do Solkana.

Načrti so obsegali izgradnjo naslednjih objektov:

- Hidroelektrarna Trnovo z jezom ob sotočju slapa Boke v Sočo ter elektrarno pri vasi Trnovo. V to akumulacijo bi bila po rovu speljana tudi zajezena reka Učja. Akumulacija z okrog 30×10⁶ m³ vode bi hkrati predstavljala čelno elektrarno, ki bi uravnavala režim dolvodnih elektrarn. Instalirana moč te elektrarne bi bila najmanj 60 MW.
- Hidroelektrarna Kobarid z zaježitvijo pri Napoleonovem mostu ter elektrarno neposredno pod jezom. Instalirana moč bi tedaj znašala 60 MW.
- Hidroelektrarna Kamno z jezom pri sedanjem mostu pri vasi Kamno. To bi bila manjša elektrarna z namenom izravnave močnega nihanja iz hidroelektrarne Kobarid.

Od tu naprej sta bili zgrajeni hidroelektrarni Doblar in Plave tik pred drugo svetovno vojno ter hidroelektrarna Solkan, zgrajena v drugi polovici osemdesetih let prejšnjega stoletja.

Poleg navedenih so bile v devetdesetih letih z dodatnima rovoma povečani instalirani moči hidroelektrarn Doblar in Plave. Ideje o temeljitejši izrabi reke Soče v energetske namene so bile prisotne tudi v času bivše Jugoslavije. Zaradi vse močnejšega pritiska k ohranitvi

gornjega toka reke Soče v neokrnjenem stanju, je bila po drugi svetovni vojni realizirana samo izgradnja HE Solkan.

Ob izgradnji HE Solkan z instaliranim pretokom $180 \text{ m}^3/\text{s}$, sta starejši HE Doblar in HE Plave s pretokoma 100 oziroma $75 \text{ m}^3/\text{s}$ predstavljali v obratovanju verige ozka grla. Zato je podjetje SENG v 90. letih prejšnjega stoletja pristopilo k izgradnji dograditve obeh HE. Projekt je obsegal izgradnjo vzporednih rovov in novih vtokov v starih akumulacijah ter izgradnjo novih strojnic zraven obstoječih. Z dodatno instaliranim pretokoma po $105 \text{ m}^3/\text{s}$ je bilo pri HE Doblar pridobljenih 40 MW, pri HE Plave pa še 20 MW.

Ob analizi energetskega potenciala reke Soče ne smemo zanemariti nekaterih pritokov, kjer že vrsto let obratujejo tudi manjše hidroelektrarne. Med njimi je daleč najpomembnejša HE Zadlaščica na istoimenskem pritoku reke Tolminke. Z dvema agregatoma po 4 MW je elektrarna že preseгла letno proizvodnjo 30.000 kWh električne energije.

Vse večja potreba po dragoceni vršni energiji, ki bi zmogla pokrivati variabilni diagram dnevne potrošnje, je narekovala projektiranje in v tem času tudi realizacijo izgradnje prečrpovalne enote Avče - Kanalski vrh. Objekt s prečrpavanjem vode iz akumulacije Ajba, v bazenu na Kanalskem vrhu, ustvarja zalogo potencialne energije, ki jo v času potrebe z agregatom moči 178 MW pri Avčah, pretvarja v električno energijo.

Slika razpoložljivega vodnega potenciala reke Soče ne bi bila popolna, če ne bi omenili njenih pritokov. Posebej velja omeniti gradnjo HE na reki Učji, ki jo bodo predvidoma začeli graditi v letu 2012 in naj bi bila zgrajena tri leta kasneje. S 34 MW moči agregata bo proizvajala 31 GWh električne vršne energije. HE Učja predstavlja večji del te diplomske naloge in jo bom podrobneje opisal v nadaljevanju.

V drugi polovici prejšnjega stoletja je podjetje Soške Elektrarne veliko vložilo v študije večje zaježitve na sotočju reke Trebuše z Idrjico ter elektrarne z močjo okrog 100 MW. Kakršnokoli realizacijo je do nadaljnega zaustavil okoljski in naselitveni faktor.

Če napravimo grobi povzetek vsega, je od celotnega potenciala reke Soče s pritoki, z obstoječimi hidroelektrarnami in skupno instalirano močjo okrog 140 MW, izrabljena le slaba polovica. Slaba stran obstoječe verige elektrarn na Soči je predvsem v premajhnih kapacitetah akumulacij, ki ne morejo zadržati visokih hudourniških voda. Zato bo vsaka dodatna akumulacija nad Mostom na Soči hkrati soprispevala k večji letni proizvodnji obstoječih hidroelektrarn.

3.2 VLOGA ČHE AVČE KOT PROIZVAJALKE VRŠNE ENERGIJE

3.2.1 OBRATOVANJE HE OB KONICAH

Kadar so potrebe po električni energiji velike (v času obratovanja večjih obratov, tovarn), je njena cena višja v primerjavi s ceno, po kateri jo lahko prodamo v nočnih urah, ko so potrebe po električni energiji majhne. Pri odločanju, kakšno turbino bomo uporabili za našo HE, se je potrebno zato odločiti tudi za način obratovanja. V primeru pretočnega obratovanja teče voda na turbino cel dan, za kar dobimo plačano električno energijo deloma po nizki ceni, deloma pa po visoki. Če pa je v okviru izgradnje HE predvidena akumulacija, kot je na primer pri ČHE Avče in HE učja, proizvajamo večje količine električne energije samo takrat, ko je njena cena najvišja, v obdobju z nizko ceno, pa se akumulacija polni. Seveda je potrebno za tak način obratovanja inštalirati dražjo turbino z večjim pretokom, zgraditi akumulacijo in avtomatizirati zapornični sistem na vtoku v HE. Vse to znatno poveča stroške gradnje. Šele natančnejša ekonomska analiza pove, kateri način obratovanja je bolj ustrezen.

Potrebni volumen akumulacije lahko izračunamo po naslednji enačbi:

$$V = 3600 \cdot t_v \cdot [Q_v - (Q_r - Q_{\min})], \text{ pri čemer je}$$

- t_v število ur v dnevu predvidenih za obratovanje HE (pri dražji tarifi)
- Q_v pretok skozi turbine pri obratovanju po dražji tarifi
- Q_r pretok reke
- Q_{\min} minimalni zahtevani pretok po reki, t.i. biološki minimum

Pri tem je seveda potrebno upoštevati dejstvo, da primanjkljaj vodnega volumna (razlika med količino dotoka v akumulacijo in odtoka skozi turbine) ne sme biti večji od količine vode, ki se akumulira v času mirovanja turbine.

$$t_v \cdot [Q_v - (Q_r - Q_{\min})] < t_n \cdot (Q_r - Q_{\min}) \text{ oz.}$$

$$Q_v \leq (Q_r - Q_{\min}) \cdot \frac{t_n - t_v}{t_v}$$

t_n število ur v dnevu predvidenih za polnjenje akumulacije HE

Sedaj lahko tudi izračunamo, s kolikšnim pretokom še lahko razpolagamo med samim polnjenjem akumulacije:

$$Q_n = \frac{24 \cdot (Q_r - Q_{\min}) - t_v \cdot Q_v}{t_n} > Q_{T\min}$$

$Q_{T\min}$ minimalni pretok, pri katerem turbina še obratuje [m³/s]

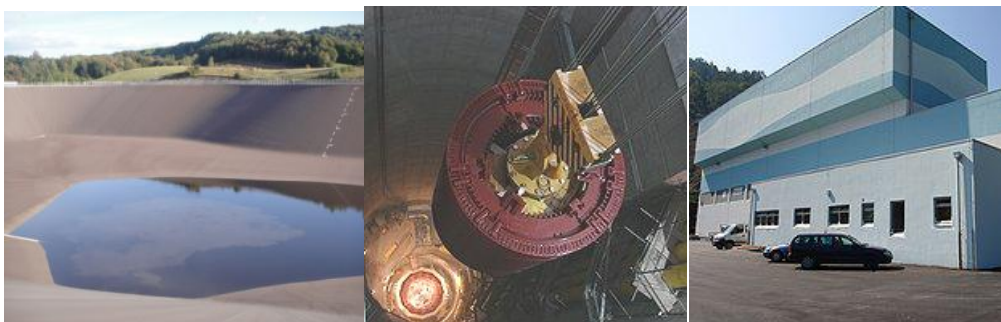
3.2.2 ČRPALNA HIDROELEKTRARNA AVČE

Kot bo proizvajala načrtovana HE Učja, proizvaja tudi prva slovenska črpalna hidroelektrarna Avče vršno električno energijo. SENG so to ČHE zgradile junija 2009 in s 1. aprilom 2010 je začela s komercialnim obratovanjem.

Slovenski elektroenergetski sistem se je ob osamosvojitvi Slovenije moral soočiti z neugodno strukturo proizvodnih zmogljivosti in tudi z neoptimalnim delovanjem. Slovenija ni imela akumulacijskih hidroelektrarn za bolj ekonomično pokrivanje potreb po vršni električni energiji, zato je preobremenjevala termoelektrarne, v sistemu pa se je pojavljalo tudi veliko

nočnih viškov energije. Z razvojem gospodarstva se je v zadnjih letih povečevala tudi razlika med cenami električne energije v času dnevnih konic in v času nizke porabe.

Želja po bolj ekonomičnem obratovanju elektroenergetskega sistema je SENG gnala k iskanju novih rešitev. Navdušil je koncept delovanja črpalne hidroelektrarne, ki je trenutno edini možen način skladiščenja električne energije za čas najvišje porabe (www.energetika.net).



Slika 4: Prva polnitev akumulacije, spuščanje rotorja v strojnični jašek ter strojnična zgradba (<http://www.hse.si> (25.5.2010)).

ČHE Avče bo večji potrošnik električne energije kot jo bo proizvedel, a elektrike ni mogoče skladiščiti na noben drugi način, kot s črpalnimi hidroelektrarnami, zato je proizvodnja v času, ko je poraba visoka, za stabilno preskrbo Slovenije še toliko pomembnejša.

Črpalna hidroelektrarna namreč v času nizkih cen električne energije (ponoči, konec tedna) črpa vodo iz reke Soče v akumulacijski bazen na 600 metrov visokem Kanalskem vrhu, za kar bo letno porabila 553 GWh električne energije, v času visokih cen električne energije (konice ob delavnikih) pa tako akumulirano vodo porabi za proizvodnjo električne energije (426,36 GWh letno). Izkoristek elektrarne je 0,77 (77%), inštalirana moč na pragu ČHE pa 178 MW.

Hidroenergija predstavlja enega najpomembnejših potencialov za upoštevanje podnebno-energetskih sprememb, zato so načrti prihodnjih let usmerjeni v koriščenje vodnih potencialov. Slovenija je s svojo energetske strategijo do leta 2020 uskladila s smernicami EU in med drugim sprejela zavezo, da bo do omenjenega leta zagotovila 20 odstotkov električne energije iz obnovljivih virov in dosegla samozadostnost v energetske oskrbi. Gradnja ČHE Avče je eden od korakov k večji energetske neodvisnosti.

Poleg tega, da prispeva k povečanju proizvodnje vršne energije, je vloga ČHE Avče pomembna tudi za regionalni in urbani razvoj območja. Prav tako kot ČHE Avče, bo tudi izgradnja akumulacijske HE Učja ogromno prispevala k povečanju proizvodnje vršne energije, v času dnevnih konic, ko so cene električne energije najvišje.

3.3 HUDOURNIŠKA REKA UČJA

3.3.1 OSNOVNE ZNAČILNOSTI HUDOURNIKOV

Tipsko razvrščanje posameznih hudournikov sloni na njihovih najvidnejših orografskih značilnostih in velja tako za aridna kot za humidna območja. Razlikujemo dve osnovni vrsti hudournikov:

- visokogorske hudournike
- hudournike sredogorja in gričevja.

Hkrati razlikujemo hudournike tudi glede na poreklo erozijskega drobirja, ki ga odplavljajo iz višinskih predelov v nižine. Ločimo:

- spiravce: hudourniki, ki plavijo pretežno preperine
- podrivače: v njih prevladujejo plavine, ki nastanejo zaradi pretežno erozijskega delovanja hudournika oziroma kopanja lastnega dna, rušenja bregov in pobočij.

Visokogorski hudourniki in hudourniki sredogorja ter gričevja se med seboj razlikujejo. Prvi imajo v zgornjem toku strm padec, vzdolž srednjega in spodnjega toka pa je padec relativno majhen. V zgornjem toku, na zelo strmih pobočjih, imajo ti hudourniki povečini usade, v srednjem in spodnjem toku pa udore bregov. Zanje je značilna relativno mnogo večja in stalna količina pretočne vode.

Dinamika hudournika je odvisna od naklona in oblike struge, od količine in globine vode v strugi ter od količine plavin. Vsi ti naštetih faktorji vplivajo na velikost vlečne sile, hitrost vode in s tem posledično tudi na moč erozije, ki jo povzroča voda. Čim večji je naklon struge, večja

je vlečna sila in hitrost vode ter moč erozijskih procesov. V odsekih, kjer je struga širša in hrapava ter nekoliko položnejša, se velikost vlečne sile in hitrost vode zmanjšuje. Hitrost vode in moč vlečne sile se zmanjšuje tudi z večanjem količine plavin, vendar le do neke meje. Pri ekstremni nasičenosti vode s plavinami lahko ob posebnih pogojih nastane drobirski tok, vlečna sila se močno poveča in postane rušilna. Drobirski tok dobi namreč lastnosti, podobne trdni snovi, saj je v njem precej večji delež plavin kot vode in se obnaša drugače kot tekočina. V takem primeru govorimo o masovnem transportu plavin.

Na količino in globino vode v strugi hudournika vplivajo padavine, taljenje snega in ledu. V suhem obdobju oziroma v obdobju krajših in ne intenzivnih padavin, ima struga hudournika nizko oziroma srednje stanje vode. V strugi je vzpostavljeno ravnovesje med vlečno silo vode in odporom plavin proti premikanju. V obdobju močnejših nalivov voda v hudourniku močno naraste in s tem pride do porušitve prej omenjenega ravnovesja. Poveča se vlečna sila ter intenziteta erozijskih procesov. Posledica tega je velika količina plavin, ki s svojim odlaganjem lahko povzroči večjo škodo na objektih, obdelovalnih površinah ali celo ogrozi človeško življenje (Mikoš, 2008).

Območje, kjer bo zgrajena HE Učja, spada med erozijska območja. To so zemljišča, ki so stalno ali občasno pod vplivom površinske, globinske ali bočne erozije vode. (Zakon o vodah, 2002).

3.3.2 REKA UČJA

Učja je hudourniška reka, ki izvira v Italiji, kjer je večji del vodozbirnega področja, katerega velikost znaša približno 49,4 km² in se pri vasi Žaga izliva kot desni pritok v reko Sočo.

Razdalja od slovensko - italijanske meje do izliva v reko Sočo je okrog 5 km, približna bruto višinska razlika, ki je na razpolago, pa je 215 m. Zanj je značilen velik padeč na kratkem toku reke. Njena dolina je ozka in globoko zarezana v dolomit. Vodozbirno področje je zelo slabo poraščeno, v splošnem popolnoma golo in ne nudi padavinam nikakršnega zadrževanja. Prav tako kot reka Soča ima Učja hudourniški značaj, kar pomeni velika nihanja pretoka. To dokazuje veliko razmerje med najvišjim zabeleženim pretokom ($vQ_v = 282 \text{ m}^3/\text{s}$) in srednjim pretokom obdobja ($sQ_s = 3.45 \text{ m}^3/\text{s}$ v obdobju 1954-2004). Za Učjo so značilni visoki spomladanski in

jesenski pretoki (april, maj, oktober, november). Minimalni pretok obdobja je $nQ_n = 0.23$ m^3/s .



Slika 5: Pogled na reko Učjo iz ceste pred italijanskim mejnim prehodom Učeja



Slika 6: Kanjon reke Učje (www.slovenia.info)

3.4 IDEJA O IZGRADNJI HE UČJA

Ideja o izgradnji HE Učja sega v obdobje proti koncu 80-ih let, ko se je na zahtevo SENG izdelala idejna zasnova (IBE 1987) ter nekoliko kasneje (v začetku 90-ih) še nekatere spremljajoče študije in raziskave. Dela na pripravi nadaljnjih faz dokumentacije HE Učje so kasneje zastala predvsem zaradi investitorjevih prioritet, ki so bile sredi 90-ih let usmerjene v doinstalacijo že obstoječih hidroelektrarn na Soči (HE Doblar II in HE Plave II). Aktivnosti v zvezi z načrtovanjem HE na Učji so ponovno zaživele v letu 2006, ko se je investitor odločil nadaljevati s projektantskimi aktivnostmi. Predmetna idejna zasnova naj bi skupaj s spremljajočo študijo vključevanja HE Učja v EES (elektroenergetski sistem Slovenije) dala odgovore o tehničnih možnostih izgradnje objektov HE, kot tudi vpogled v velikost načrtovane investicije in njene ekonomske koristi (Notranje gradivo SENG).

3.5 VLOGA HE UČJA V EES IN OPREMA

HE Učja bo akumulacijska HE z akumulacijskim bazenom za dnevno ali tedensko izravnavo in z izrazito vršnim načinom obratovanja. Že dejstvo pogojuje veliko število zagonov in zaustavitev in s tem povezano opremo popolne avtomatizacije.

HE bo po svojem karakterju morala biti sposobna, da na trgu nudi tudi systemske storitve:

- zagotavljanja sekundarne regulacije moči,
- zagotavljanja regulacije napetosti (jalova moč),
- zagotavljanja terciarne regulacije moči in možnost hitrega zagona,
- "black start" v primeru izpada zunanje omrežne napetosti in vzpostavitve omrežja,
- možnosti otočnega obratovanja.

Tem zahtevam bodo prilagojeni sami električni stroji in ostala oprema, predvsem pa avtomatika, zaščita, turbinski in napetostni regulator, lastna poraba ter sistemi informatike.

3.6 HIDROLOŠKE PODLAGE

Vodotok Učja ima veliko razmerje med najvišjim zabeleženim pretokom ($vQ_v = 282 \text{ m}^3/\text{s}$) in srednjim pretokom ($sQ_s = 3.45 \text{ m}^3/\text{s}$) obravnavanega obdobja med leti 1954-2004, kar dokazuje, da ima hudourniški značaj. Za Učjo so značilni visoki spomladanski in jesenski pretoki (april, maj, oktober, november), minimalni pretok obdobja pa je $nQ_n = 0.23 \text{ m}^3/\text{s}$.

SENG je na ARSO pridobil dnevne pretoke HE Učja (v.p. Žaga), ki obravnavajo 50-letno obdobje od 1954 do 2004, ki so jih v obliki krivulje trajanja privzeli kot osnovo za energetske analize. Krivulje trajanja pretokov so ustrezno znižali in sicer proporcionalno glede na velikost pripadajočega povodja posameznih variant, kar je prikazano v preglednici 3.

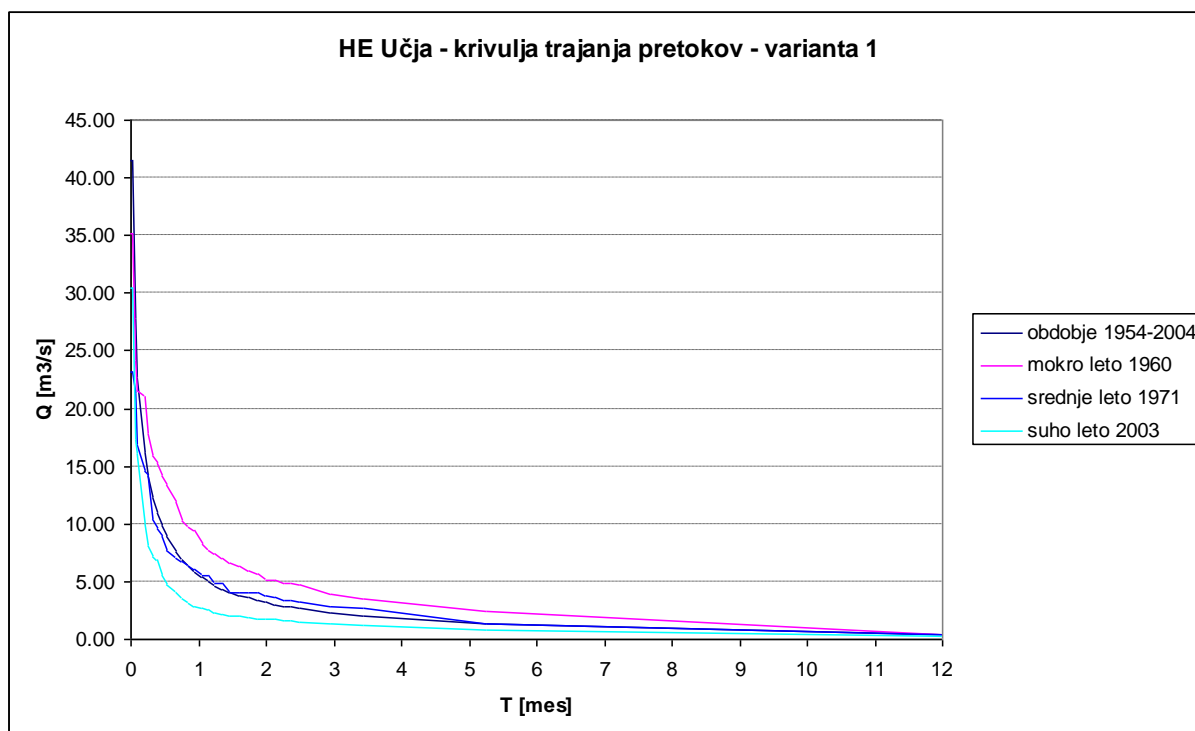
Preglednica 3: Velikost povodja $F [\text{km}^2]$ za posamezne lokacije pregradnih profilov in pripadajoči redukcijski koeficienti $[k]$

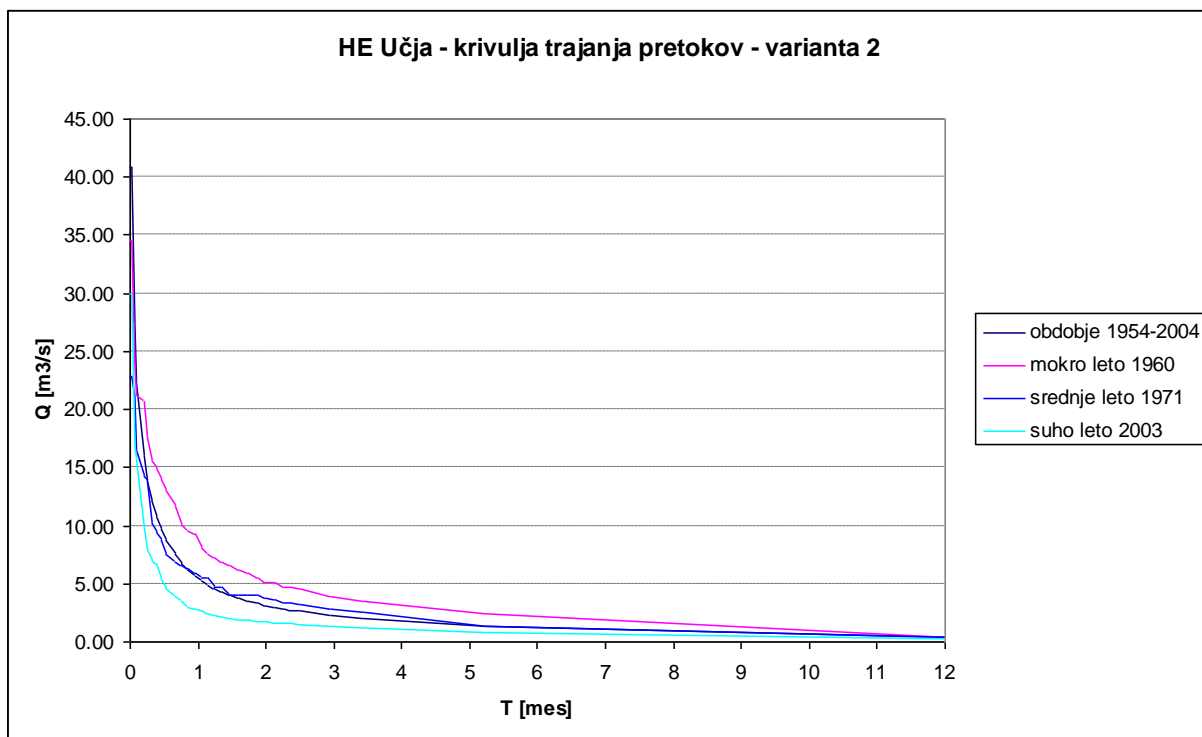
	F (km ²)	k
Varianta 1	34.67	0.702
Varianta 2	34.12	0.691
Varianta 3	33.56	0.679

Analizo visokih vod je SENG povzel iz Hidrološke študije Učje (Vodnogospodarski inštitut, 1982) z ustrezno redukcijo proporcionalno glede na velikost povodja podobno kot pri krivulji trajanja pretokov. Rezultati so prikazani v preglednici 4.

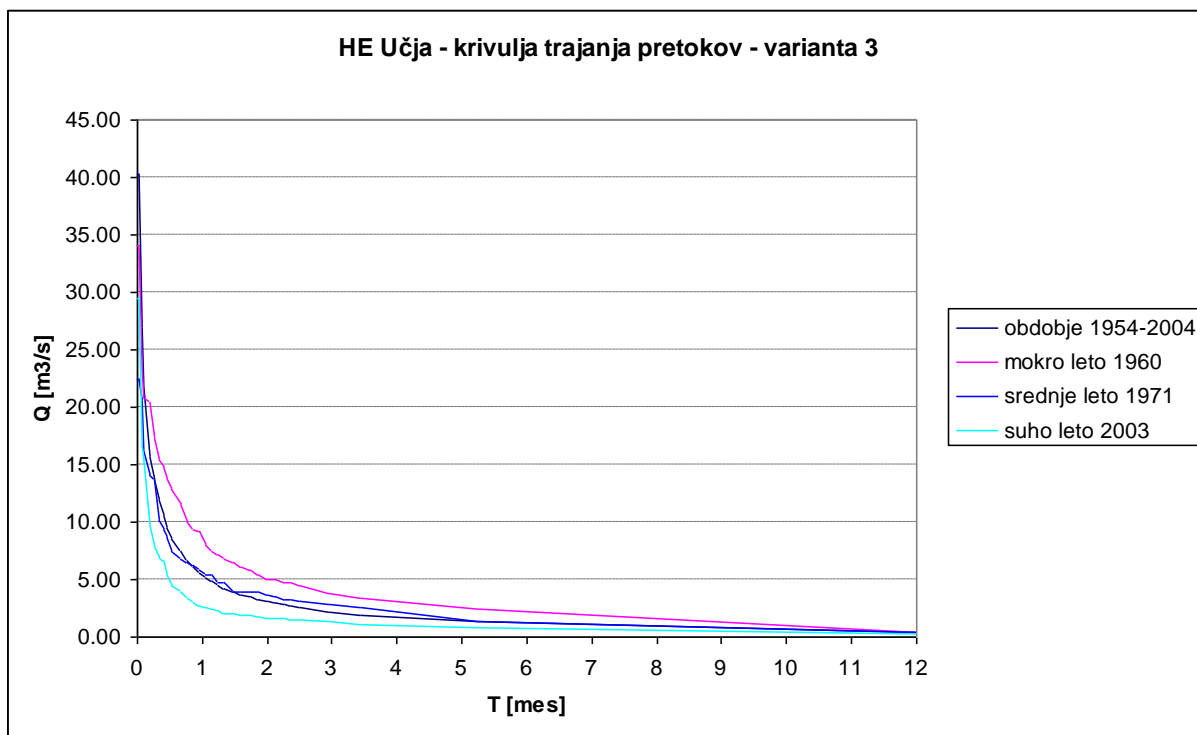
Preglednica 4: Visoke vode za posamezne profile (obdobje 1948-1975)

Visoke vode - Varianta 1		Visoke vode - Varianta 2		Visoke vode - Varianta 3	
Korekcijski faktor	0.702	Korekcijski faktor	0.691	Korekcijski faktor	0.679
Povratna doba	Q (m ³ /s)	Povratna doba	Q (m ³ /s)	Povratna doba	Q (m ³ /s)
2	83.86	2	82.53	2	81.17
5	118.18	5	116.3	5	114.39
10	141.83	10	139.58	10	137.28
20	167.73	20	165.06	20	162.35
25	172.64	25	169.89	25	167.1
50	196.22	50	193.1	50	189.92
100	220.36	100	216.86	100	213.29
200	245.27	200	241.37	200	237.41
500	279.45	500	275.01	500	270.49
1000	306.4	1000	301.53	1000	296.57
2000	334.4	2000	329.08	2000	323.67
5000	373.14	5000	367.21	5000	361.17
10000	403.73	10000	397.32	10000	390.78

Grafikon 4: Krivulja trajanja pretokov - varianta 1 ($sQ_s = 2.44 \text{ m}^3/\text{s}$, 1954-2004)



Grafikon 5: Krivulja trajanja pretokov - varianta 2 ($sQ_s = 2.40 \text{ m}^3/\text{s}$, 1954-2004)



Grafikon 6: Krivulja trajanja pretokov - varianta 3 ($sQ_s = 2.36 \text{ m}^3/\text{s}$, 1954-2004)

3.7 OPREDELITEV VARIANT HE UČJA

V predmetni dokumentaciji je načrtovan akumulacijsko-derivacijski sistem HE Učja, obravnavan variantno z namenom optimizacije le-tega, na osnovi vzporedne študije (Študija za določitev inštalacije in velikosti akumulacije HE Učja). Ta povzema tehnične karakteristike kot tudi investicijske ocene posameznih variant in ugotavlja njihov pozitivni učinek na verigo HE na Soči kot tudi na EES.

Na osnovi predhodnih projektov in nekaterih kasnejših analiz so bili v predmetni dokumentaciji obravnavani naslednji glavni parametri:

- Lokacija pregradnega objekta, ki med drugim pogojuje velikost akumulacije,
- Kota normalne zajezitve,
- Inštalirani pretok.

3.7.1 IMENOVANJE VARIANT

Osnovno imenovanje oz. številčenje posameznih variant je vezano na lokacijo pregradnega objekta (dolvodna lokacija = varianta 1, najbolj gorvodna lokacija = varianta 3 (3')).

Osnovno številčenje variant pripada inštaliranemu pretoku 15 m³/s (varianta 1, varianta 2, Itd.), medtem ko so za inštaliran pretok 20 m³/s k osnovnemu števcu dodali črko a. (varianta 1a, varianta 2a, ... itd.).

Varianto z višjo koto zajezitve t.j. 570 m n.m. smo obravnavali samo za najbolj gorvodno lokacijo pregradnega objekta in jo poimenovali varianta 3a oz. 3'a.

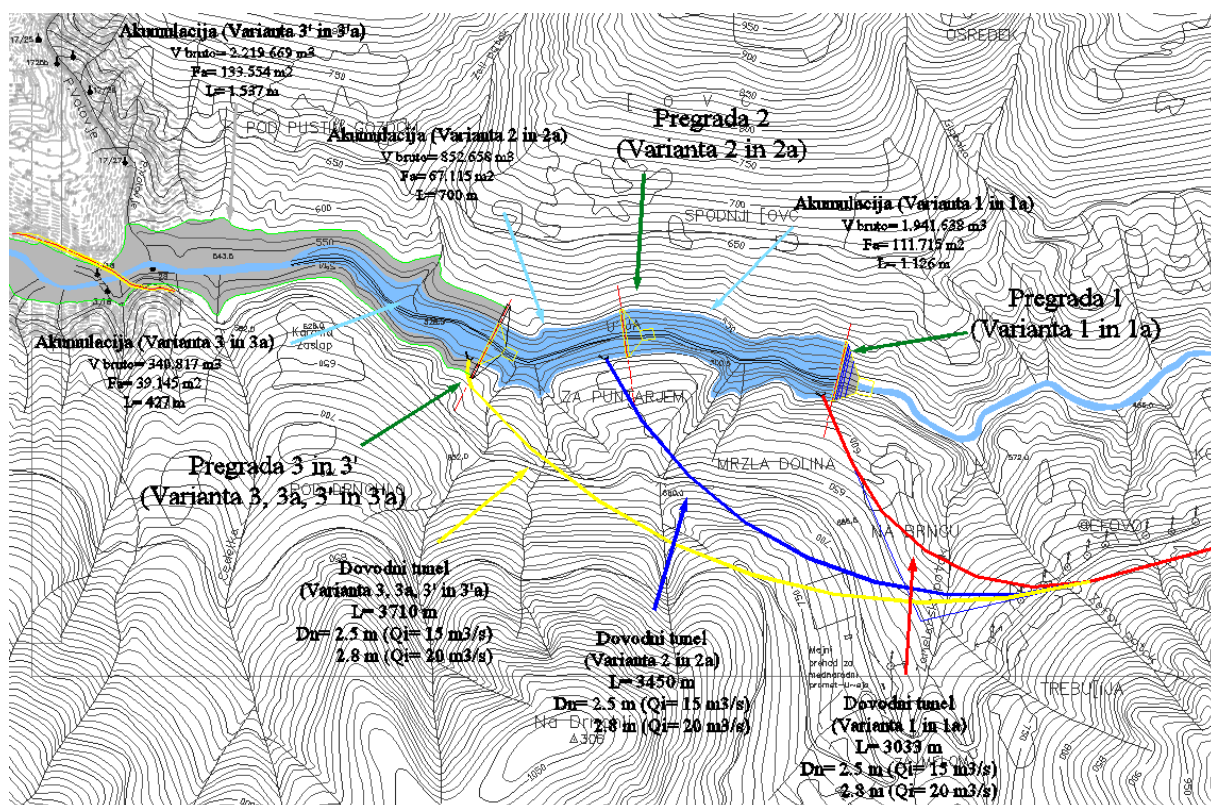
3.7.2 LOKACIJA PREGRADNEGA OBJEKTA

Nekatere pretekle preliminarne analize so pokazale, da bi se v odnosu na rešitve iz prvotne idejne zasnove (IBE 1987) bilo smotrno s pregradnim profilom pomakniti gorvodno. Ta sprememba lokacije pregradnega objekta sicer posledično podaljšuje dovodni sistem, hkrati pa zaradi velikega padca rečne struge, ki na tem delu znaša tudi do 5 %, zmanjšuje volumen

akumulacije. Predvideli so tri potencialne pregradne profile v srednjem toku Učje z naslednjimi stacionažami:

- Varianta 1 stac. 4+392
- Varianta 2 stac. 4+818
- Varianta 3 stac. 5+096

Stacionaža pregradnih profilov je računana od ustja Učje (ustje Učje – stac. km 0 + 000). Najbolj dolvodna lokacija pregradnega profila (Varianta 1) je predvidena cca 230 m gorvodno od izliva Žefovega potoka. Iz zgornjih stacionaž lahko izračunamo, da je pregradni objekt Variante 2 od Variante 1 oddaljen za 426 m, Variante 3 od Variante 2 pa za 278 m. Razdalja med najbolj dolvodno varianto pregradnega objekta (Varianta 1) in najbolj gorvodno varianto (Varianta 3) je torej 704 m. Vse tri lokacije pregrad so prikazane na Sliki 7.



Slika 7: Pregledna situacija variant HE Učja

3.7.3 KOTA NORMALNE ZAJEZITVE

Kota normalne zajezitve je za vse tri variante lokacije pregrade izbrana na nivoju 545.0 m n.m. (zajezitev se zaključi nekoliko dolvodno od mostu preko Učje), tako da se izkoristi celoten bruto potencial na slovenski strani vodotoka, ki znaša cca. 209 m t.j. med kotama 545 in cca. 336 m n.m. Na zahtevo investitorja smo zgornjo koto zajezitve še nekoliko nadvišali in sicer na nivo 570 m n.m. Slednjo možnost smo obravnavali samo za primer lokacije pregradnega profila 3 in varianto poimenovali »varianta 3'«. Na tem nivoju sta neposredno prizadeta most preko Učje in mejna karavla na italijanski strani.

3.7.4 INŠTALIRAN PRETOK (Q_i)

Ker je HE Učja načrtovana kot vršna hidroelektrarna, so temu ustrezno analizirali dve velikosti inštaliranega pretoka 15 in 20 m³/s. Obe vrednosti sta bili v predhodnih analizah z vidika vključevanja HE v EES sistemu pozitivno ocenjeni, zato so jih v predmetni zasnovi privzeli kot merodajne.

Z vpeljavo opisanih spremenljivk (lokacija pregrade, kota zajezitve in inštaliran pretok) HE Učjo obravnavamo načeloma z osmimi variantami, pri čemer je potrebno poudariti, da na dimenzije dovodnega sistema vpliva v največji meri inštaliran pretok, medtem ko na izbiro elektrostrojne opreme pa poleg pretoka vpliva tudi padec.

Variante so glede na inštaliran pretok poimenovali tako, da pretoku 15 m³/s pripada osnovno številčenje, ki se v osnovi nanaša na lokacijo pregradnega objekta (varianta 1, varianta 2, Itd.), medtem ko so za inštaliran pretok 20 m³/s k osnovnemu števcu dodali črko a. (varianta 1a, varianta 2a, ... itd.).

3.8 ZASNOVA OBJEKTOV HIDROELEKTRARNE

V EES je težnja po čim bolj kakovostni vršni energiji. To lahko zagotovijo akumulacijske hidroelektrarne, ki se zaradi svoje zasnove t.j. predvsem ustreznega akumulacijskega prostora hitro vključijo v sistem in prilagajajo njegovim potrebam.

Pri načrtovanju HE Učja so izhajali prav iz tega dejstva, zato so predvideli akumulacijsko hidroelektrarno, ki bi imela možnost popolne dnevne do tedenske ali celo nekaj večje izravnave naravnih dotokov. Hidroelektrarna bi bila derivacijskega tipa z dovodnim sistemom dolžine od 4 – 4.5 km (odvisno od lokacije pregradnega profila). Pregradni objekt je predviden v srednjem toku reke Učje in zajezuje dolino do takšne višine, da se v osnovni rešitvi izkorišča ves razpoložljivi energetski potencial na slovenski strani.

V predmetni zasnovi so na željo investitorja (SENG) preučili tudi možnost povečanega energetskega potenciala z nadvišanjem kote zajezitve z vplivom na prekomejno področje. To možnost smo obravnavali na najbolj gorvodni lokaciji pregradnega profila.

HE Učja je zasnovana kot akumulacijsko-derivacijska hidroelektrarna, ki jo sestavljajo naslednji glavni pogonski objekti:

- Pregradni objekt z objekti za evakuacijo visokih vod,
- Vtočni objekt v dovodni tunel,
- Dovodni tunel,
- Vodostan,
- Zasunski objekt,
- Tlačni cevovod,
- Strojnica,
- Kompenzacijski (zadrževalni) bazen.

3.8.1 PREGRADNI OBJEKT

Pri projektni rešitvi HE Učja iz leta 1987 (IBE), je bila obravnavana ločna pregrada v ozkem profilu nekoliko dolvodno od Žefarjevega potoka. Profil je bil tudi geološko raziskan.

Rezultati v študiji porušitve pregrade (FAGG, 1990), ki je bila izvedena kot ena izmed naslednjih elaboratov vezanih na osnovni projekt so pokazali, da bi nastali poplavni val ob hipni porušitvi, prizadel kar nekaj objektov v dolvodni vasi Žaga ob ustju Učje. To je vzbudilo odpor lokalnih prebivalcev do projektne rešitve, nasploh pa do tipa pregradnega objekta, ki naj bi bil po mnenju javnosti vprašljiv. Pri tem je potrebno omeniti, da so predpostavke o hipni porušitvi v študiji zgolj teoretične, v praksi pa skoraj nemogoče. Ločni tip konstrukcije velja ob dobri hribinski osnovi in pravilni izvedbi za povsem varen objekt.

Kasnejša razmišljanja v zvezi z načrtovanjem HE Učja so šla zato v drugo smer, saj takratna lokalna javnost ni podprla prvotne projektne rešitve, temveč je zagovarjala nasuti tip pregradne konstrukcije. V povezavi z vprašanjem porušitve pregrade kot tudi iz ekonomskih vidikov, se je pri nadaljnjih projektih rešitvah razmišljalo tudi o manjših akumulacijah in s tem v zvezi o nižji koti zaježitve.

Nasuta pregrada ima, ne glede na to, da na prvi pogled zaradi svoje obsežnosti (masivnosti) vzbuja občutek velike stabilnosti in neranljivosti, tudi svoje slabe strani. Sama stabilnost je močno odvisna od kvalitetne izdelave predvsem tesnilnega jedra in obojestranskih filternih plasti. Netesnost jedra lahko posledično privede do progresivne erozije nizvodnega dela in v končni fazi do rušenja (v primeru HE Učja bi bilo potrebno računati z asfaltnim jedrom, ker ni podatkov o nahajališčih gline v bližini). Nasuta pregrada je občutljiva na eventualno prelivanje, kar pomeni, da morajo biti prelivni objekti popolnoma varni. Vsi spremljajoči objekti glavne pregrade, kot so prelivni objekt, talni izpust, morajo biti temeljeni na raščeni tleh in ne v telesu nasute pregrade (možne vibracije). Pregrada je zaradi manjših naklonov brežin v dnu precej široka, kar zahteva dolge obtočne tunele. Pri centralnem načinu tesnjenja nasute pregrade je možno gorvodno zaščitno pregrado vključiti v telo glavne pregrade, kar lahko štejemo kot prednost pred drugimi tipi pregrad. Enako lahko trdimo tudi za okoljski izgled takšnega objekta (ozelenitev nizvodne strani pregrade).

Pregradni profili, ki jih obravnavamo v predmetni zasnovi, so zaradi morfologije neugodni, kar še posebej velja za dolvodni profil (varianta 1). Izvedba nasute pregrade zahteva v primerjavi z ostalimi tipi velike količine materiala, ki naj bi jih po možnosti zagotovili iz lokalnih virov. Znotraj predvidenih akumulacij je odpiranje kamnoloma vprašljivo tako z

vidika stabilnosti brežin, kot z okoljskega vidika, medtem ko potencialni zunanji viri nahajališč materiala še niso raziskani. V primeru variante 1 bi morali zagotoviti cca. 300.000 m³ materiala.

Glede na ugotovitve opravljenih inženirsko – geoloških raziskav za potrebe tega projekta sekajo obravnavano območje številni prelomi, od katerih je najmočnejši Idrijski prelom, ki je dokazano še aktiven, poleg tega so bili v zadnjih 30. letih v širši okolici trije močni potresi. Lokaciji 1 in 3 se nahajata na območju prelomnih con Humskega oz. Drnohlskega preloma.

V predmetni zasnovi so se tudi na osnovi teh dejstev in nekaterih prednosti, ki jih navajajo v nadaljevanju, v primerjavi z omenjeno nasuto pregrado, osredotočili na težnostni betonski tip pregrade. Ločni tip pregradne konstrukcije lahko še zmeraj nastopa kot opcija v nadaljnjih fazah projektiranja, ko bodo poznane detajlne geološko-geomehanske razmere na izbrani lokaciji.

Prednosti težnostne betonske pregrade v primerjavi z nasuto:

- Manjši volumen pregrade (v primeru variante 1 cca. 70.000 m³),
- Telo pregrade se v srednjem delu izkoristi kot prelivni objekt (oblikovanje nizvodnega dela pregrade v obliki drče z nadaljevanjem v podslapje),
- Krajši obtočni tunel in posledično manjši premer tunela,
- Zaradi hudourniškega karakterja vodotoka in nevarnosti eventualnega plavljenja gradbene jame ni takšne škode, kot v primeru gradnje nasute pregrade, zato je varnost proti prelivanju lahko nižja kot pri nasuti pregradi, to pa pomeni tudi manjšečasne objekte (uzvodna in nizvodna pregrada, obtočni tunel),
- Talni izpust se nahaja v okviru pregrade in lahko služi tudi kot prodni izpust,
- Pregrada je manj občutljiva na eventualno pronicanje kot nasuta (možne naknadne korekcije-injektiranje),
- Pregrada ni občutljiva na eventualno prelivanje preko krone (katastrofalno visoke vode),
- Možnost koriščenja rečnega materiala (soški prod za proizvodnjo betonov).

3.8.1.1 Tehnične lastnosti glavne pregrade

Glavna pregrada je zasnovana kot težnostna betonska konstrukcija. Gorvodno lice pregrade je vertikalno, dolvodno pa leži v naklonu 1:0.8. Osrednji del pregrade je predviden za prevajanje visoke vode. Fiksen preliv sestavljajo štiri prelivna polja širine 10 m, medsebojno ločena s stebri, ki so istočasno tudi podporniki mostne konstrukcije. Ta je zasnovana kot monolitna ab plošča v kombinaciji z nosilci ob straneh, ki služijo kot zaščitna ograja. Širina mostne konstrukcije je 5.5 m. Prelivna krona se na dolvodnem delu pregrade nadaljuje v prelivno drčo, kot neke vrste kanaleta, ki je 2 m vtopljen glede na ravnino dolvodnega lica pregrade. Drča se v dolvodni smeri postopno konusno zožuje s širine 43 m na kroni na širino podslapja v dnu. Gorvodno lice pregrade je v širini krone nekoliko pomaknjeno gorvodno zaradi boljših natočnih razmer.

Preglednica 5: Karakteristike pregradnega profila

	Var. 1, 1a	Var. 2, 2a	Var. 3, 3a	Var. 3', 3'a
kota dna struge v pregr. profilu (m n.m.)	459	510	520	520
kota krone pregrade (m n.m.)	548	548	548	573
kota preliva (m n.m.)	545	545	545	570
višina pregrade (m)	53	38	28	53

Podslapje je nadaljevanje spodnjega dela drče v enaki širini in je zasnovano kot ab skleda poglobljena v rečno dno do hribinske podlage. Podslapje ima nalogo disipacije kinetične energije za kar pripomore še ustrezno globoka vodna blazina (tolmun). Podslapje v kombinaciji z drčo bo vsekakor potrebno verificirati na fizičnem hidravličnem modelu.

Preglednica 6: Predlagane dimenzije podslapij za štiri variante pregrade:

	širina podslapja (m)	dolžina podslapja (m)	globina podslapja (m)
Lokacija 1	30	25	3.0
Lokacija 2	20	25	3.5
Lokacija 3	20	20	2.0
Lokacija 3'	20	30	3.5

Temeljenje pregrade je predvideno na hribinski podlagi, tako da bo potrebno na bokih odstraniti ves preperinski (deluvialni) sloj, v strugi pa rečni nanos ali po potrebi še zgornji del hribine vse do zdrave osnove.

Kontrolna oz. injekcijska galerija poteka v dnu pregradne konstrukcije in je namenjena kontroli vzgonskih pritiskov na temeljno ploskev pregrade, kot tudi morebitno potrebnemu dodatnemu injektiranju. Galerija preseka 2.2 x 3 m sledi prečnemu profilu, tako da se višinske premostitve izvedejo s posameznimi stopniščnimi ramami in vmesnimi podesti. Galerija se na obeh straneh zaključi z vertikalnim jaškom in izhodom na krono pregrade.

Lokacija pregradnega objekta med drugim pogojuje velikost akumulacije. V nadaljevanju so opisane variante akumulacijskih bazenov.

3.8.1.2 Variante akumulacijskih bazenov

Načrtovani akumulacijski bazeni posameznih variant se nahajajo v srednjem toku reke Učje. Najbolj dolvodna lokacija pregradnega profila (varianta 1) je predvidena cca 230 m gorvodno od izliva Žefovega potoka. Pregradni objekt Variante 2 je od Variante 1 oddaljen za 426 m, Variante 3 od Variante 2 pa za 278 m. Razdalja med pregradnim objektom 1 in 3 je torej 704 m.

Preglednica 7: Tehnične karakteristike akumulacijskih bazenov

	Var. 1, 1a	Var. 2, 2a	Var. 3, 3a	Var. 3', 3'a
bruto volumen akumulacije (m³)	1,941,638	852,658	340,817	2,219,669
neto volumen akumulacije (m³)	1,456,403	644,588	253,529	1,773,410
max. denivelacija (m)	20	15	10	20
površina akumulacije (m²)	111,715	67,115	39,145	133,554
dolžina akumulacije (m)	1126	700	427	1,537

Akumulacijski bazeni v variantah 1-3 ustvarjajo zaježno gladino do nivoja 545.0 m n.m, v varianti 3' pa do kote 570.0 m n.m. Ker je težnja, da se akumulacijski prostori z energetskega

vidika čim boje izrabijo (tedenska izravnava pretokov), bodo prisotna nihanja od 10 - 20 m v odvisnosti od velikosti akumulacije. Vsa nestabilna pobočja bo potrebno primerno utrditi (prodne pregrade). V območju akumulacije bo potrebna tudi odstranitev vegetacije.

Na osnovi geološke prospekcije je bilo ugotovljeno, da se na območju izliva Zalega potoka v Učjo, nahaja širše območje pobočnega grušča, katerega debelino pa zaenkrat ni bilo možno določiti. Glede na predvidena večja nihanja gladin v akumulaciji smo vsled varnosti na strmejšem delu predvideli zavarovanje brežin s skalometom na dolžini cca 200 m.

3.8.2 DOVODNI SISTEM

Dovodni sistem vsake derivacijske HE spada običajno med najobsežnejše objekte HE tudi v investicijskem pogledu, saj predstavlja več kot 50 % stroškov vseh gradbenih del, če upoštevamo še stroške jeklenega cevovoda, pa je ta delež še znatno višji. Vsak dovodni sistem zaradi svoje dolžine predstavlja tudi velik del hidravličnih izgub, ki se v končni fazi odražajo na proizvodnji električne energije. Izgube v sistemu so občutljive na spremembo prečnega preseka tunela, kot tudi na spremembo hrapavosti.

Dovodni sistem HE Učja je zasnovan v skupni dolžini od 4 - 4.5 km (odvisno od variante pregrade) in poteka v celoti po (v) desnem bregu Učje. Sestavljajo ga - dovodni tunel z vtočnim objektom, vodostan, zasunska (zapornična) komora ter tlačni cevovod.

Vodostan je razdeljen na tri objekte in sicer vodostanski jašek ter spodnjo in zgornjo vodostansko komoro. Zasunski objekt se izvede na zaključku dovodnega tunela v odprtem izkopu. Od tu do strojnice sledi jeklen tlačni cevovod dolžine ca 808 m. Trasa cevovoda se prilagaja morfologiji terena tako da v zgornji polovici poteka v odprtem izkopu, v spodnji polovici trase pa je cevovod vkopan zaradi bližine vasi Žaga.

3.8.2.1 Dovodni tunel

Dovodni tunel je poleg pregrade najobsežnejši objekt hidroelektrarne. Poteka v enakomernem vzdolžnem naklonu cca 0.6 % od vtočnega objekta do zapornične komore na dolžini od 3 - 3.7 km, glede na lokacijo pregrade. Dolžine dovodnega tunela glede na lokacijo so v sledeči preglednici:

Preglednica 8: Dolžina dovodnega tunela glede na lokacijo

	Var. 1, 1a	Var. 2, 2a	Var. 3, 3a, 3', 3` a
dolžina dovodnega tunela (m)	3033	3450	3710

V izračunu optimalnega premera dovodnega sistema oz. njegovega dela se običajno obravnava dve vrsti stroškov (ki se nanašajo na 1 m' objekta), in sicer stroški izvedbe konstrukcije, ki naraščajo z večanjem premera objekta; na drugi strani pa se istočasno pojavljajo energetske izgube, ki z naraščanjem premera tunela padajo. Seštevek obeh stroškov ima pri določenem premeru svojo minimalno vrednost. Premer, ki ustreza minimalni vrednosti, imenujemo optimalni premer (D_{opt}).

Načrtovalci so predvideli konstanten prerez na celotni trasi in premer optimizirali za vsak inštalirani pretok posebej. Pri inštaliranem pretoku $Q_i = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša optimalna vrednost notranjega premera 2.8 m, pri $Q_i = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ pa 2.5 m.

3.8.2.2 Vtočni objekt

Vtočni objekt se nahaja na desnem bregu nekoliko gorvodno od pregradnega profila. Vtočna odprtina je višinsko prilagojena maksimalni denivelaciji akumulacijskega bazena, ki je različna glede na obravnavano varianto.

Objekt je podobno zasnovan kakor ga že poznamo iz HE Doblar II. Gre za odprt usek v desnem bregu, tako da je čelna ploskev nagnjena za 75 stopinj proti horizontali zaradi možnosti čiščenja vtočnih rešetk. Vtočna odprtina, opremljena s finimi rešetkami, je dimenzij od 20 - 25 m² (glede na inštaliran pretok). V dolvodni smeri se postopno zožuje na presek

zapornične odprtine 2.8 x 2.8 m ($Q_i = 20 \text{ m}^3/\text{s}$) oz. 2.5 x 2.5 m. ($Q_i = 15 \text{ m}^3/\text{s}$) V zaporničnem profilu je predviden vertikalni šaht z razširitvijo v zgornjem delu za potrebe revizije zapornice. Za zapornico je predviden tudi šaht (cca 1.0 x 1.0 m) za vstop v dovodni tunel v času revizije.

Plato nad vtokom je na nivoju krone pregrade t.j. na koti 545.0 oz. 573.0 m n.m, kjer je rezerviran prostor za čistilni stroj finih rešetek. V okviru čistilnega stroja se nahaja tudi dvižna naprava za manipulacijo pomožnih tablastih zapornic.

3.8.2.3 Vodostan

Vodostan je eden od bistvenih objektov dovodnega sistema derivacijske hidroelektrarne, saj določa njegovo vzdolžno obliko. Lahko ga imenujemo tudi kompenzator vodnega tlaka v prehodnih režimih obratovanja, kar pomeni, da v primeru zapiranja pretoka ne dovoljuje previsokih tlakov v dovodnem tunelu, v primeru hitrega odpiranja pa preprečuje nastanek podtlaka v zgornjem delu cevovoda, kar bi lahko posledično pripeljalo do hidravličnega loma in porušitve.

3.8.2.4 Tlačni cevovod

Ker gre pri tlačnem cevovodu za premostitev velike višinske razlike, kot tudi za večje nadtlake v primeru vodnega udara, je sprememba tlačnih razmer v dolvodni smeri lahko precejšnja. Zato je smiselno, da se cevovod razdeli na posamezne odseke. Vsak odsek se zase optimizira glede na tlačne razmere in hidravlične izgube. Dimenzije cevovoda posameznega odseka se nanašajo na optimalne vrednosti dolvodnega konca. V primeru HE Učja je cevovod razdeljen na tri odseke, pri čemer predstavlja *odsek 1* gorvodni odsek, *odsek 3* pa dolvodni odsek (strojnica).

Preglednica 9: Dolžine odsekov tlačnega cevovoda

Varianta	L [m]
Odsek 1	295
Odsek 2	284
Odsek 3	229

Izvedena je optimizacija za vsak inštaliran pretok posebej. Optimalne vrednosti premera cevovoda za posamezen odsek znašajo:

$$Q_i = 20 \text{ m}^3/\text{s} - D1 = 2.5 \text{ m}, D2 = 2.4 \text{ m}, D3 = 2.3 \text{ m}$$

$$Q_i = 15 \text{ m}^3/\text{s} - D1 = 2.3 \text{ m}, D2 = 2.2 \text{ m}, D3 = 2.1 \text{ m}$$

Trasa tlačnega cevovoda poteka tlorisno v enotni liniji od zapornične komore do strojnice, medtem ko je os cevovoda lomljena samo v vertikalni ravnini s sedmimi fiksnimi točkami. Trasa cevovoda se prilagaja morfologiji terena z vzdolžno linijsko izravnavo, tako da poteka v zgornji polovici v manjšem ali večjem useku, v spodnji polovici trase (v bližini naselja Žaga, kjer sekamo več lokalnih dostopnih cest) pa so predvideli vkopan cevovod.

3.8.3 STROJNICA

Strojnica je locirana na spodnji soški terasi ob ustju reke Učje v neposredni bližini regionalne ceste Bovec-Kobarid. Dostop do objekta je predviden z južne smeri, tako da bo od križišča na regionalni cesti potrebno izdelati cca. 300 m dostopne ceste. V strojnici bo nameščen en agregat.

Strojnica je klasične izvedbe v odprtem izkopu. V grobem je razdeljena na dva dela:

- Spodnji del objekta je masivne izvedbe, v kateri se nahaja vsa težka elektrostrojna oprema: Francisova turbina (turbinski trakt: spirala, sifon, turbinski stožec, tekač), generator in predturbinski zasun. V tem spodnjem delu se nahaja tudi drenažni jašek.
- Zgornji del objekta predstavlja armiranobetonska konstrukcija lažje izvedbe z osrednjo dvorano t.j. generatorsko etažo in priključnim montažnim platojem. V okviru zgornjega dela objekta so tudi nekateri pomožni prostori (garderobe, pisarne, delavnice, itd.)

Analizirani sta bili izvedbi z enim kot tudi z dvema agregatoma za obe velikosti inštalacije. Ekonomska analiza v študiji daje prednost enoagregatni izvedbi strojnice.

3.8.4 ZADRŽEVALNI BAZEN

Zaradi hitrega prehoda iz stanja mirovanja do polne inštalirane vrednosti ($0 - 15 \text{ m}^3/\text{s}$; $0 - 20 \text{ m}^3/\text{s}$), je dolvodno od strojnice HE predviden zadrževalni bazen, katerega naloga je zmanjšati pozitivni gradient ($\Delta Q/\Delta T$) porasta pretoka ob zagonu elektrarne. Ta prehaja iz faze mirovanja do polne inštalirane vrednosti 20 ali $15 \text{ m}^3/\text{s}$ v zelo kratkem času. Ker bo HE Učja izključno vršna hidroelektrarna, bo večino časa v letu obratovala v vršno brez pasovnega pretoka (t.j. pretok, ki je garantiran 24 ur dnevno).

Bazen bo orientiran vzdolž desnega brega ustja Učje do izliva v Sočo. Dno bazena je predvideno na koti 334.0 m.n.m. Na obeh straneh je potrebno nadvišanje z nasipom do kote 338.5 m n.m., kar v povprečju znaša cca 2.5 m nad sedanjim terenom. Za izvedbo nasipov bo uporabljen material od izkopa. Naklon brežin je 1:2. Notranja stran brežine bo obložena s skalometom, zunanja stran nasipov pa bo zatravljena. Kota krone nasipa je na varni višini glede na stoletno visoko vodo, ki je bila hidravlično preverjena za širše področje sotočja.

Na koncu zadrževalnega bazena, ki je koncipiran kot neke vrste vzporedna struga z matično strugo Učje, je predviden iztočni objekt, ki ga sestavljata fiksni preliv širine 20 m s krono na koti 337.0 m n.m. in temeljni izpust preseka 2 m^2 , ki bo opremljen s tablasto zapornico na hidravličnem pogon. Obratovanje zapornice bo uravnano (sinhronizirano) z obratovanjem elektrarne.

Analizirano je bilo tudi hidravlično dogajanje v zadrževalnem bazenu, pri različnih širinah vršne konice pri navedenih podatkih iztočnega objekta (širina preliva 20 m in temeljni izpust preseka 2 m^2) ter pri podatku, da je površina vodne gladine v mirovanju na koti 335.0 m n.m. enaka 10.500 m^2 . Ne glede na širino vršne konice je čas zadrževanja v bazenu enak in traja cca 1 uro. Pri tem so upoštevali, da je odpiranje zapornice temeljnega izpusta časovno linearno in traja 28 min od 0 do polnega preseka. Največji dvig gladine znaša 337.3 m n.m., pri tem pa se zadrži cca 27.000 m^3 .

3.9 VPLIVI HE UČJA NA OKOLJE

Med gradnjo HE Učja lahko pride do mikroklimatske spremembe pri gradbenih posegih, in sicer zaradi spremembe reliefa z nasipi in izkopi ter zaradi odstranitve vegetacijskega pokrova. Največji obseg odstranitve pokrova na območju akumulacije zahtevata Varianti 1 in 3', pri katerih pride do največje odstranitve vegetacijskega pokrova. Manjši poseg v vegetacijski pokrov je pri Varianti 2 oziroma 3. Med obratovanjem HE Učja bo akumulacijsko jezero vplivalo le na mikroklimo neposredne bližine jezera ob samem bregu. Vplivi so različni. Zmanjšanje razpona med najvišjimi in najnižjimi dnevnimi in letnimi temperaturami zraka. Zaradi zmanjšane hrapavosti tal, se lahko po oceni hitrost vetra poveča za nekaj desetink m/s. Lokalna cirkulacija pa bo ostala nespremenjena. Jezero lahko tudi občutno vpliva na dvig relativne vlage v zraku. Ob pojavu povečanja relativne vlažnosti se lahko pojavi tudi megla. Spremembe mikroklimе v dolini Učje bodo majhne in opazne samo v neposredni okolici jezera. Na mikroklimatske razmere na lokaciji bo vplivalo tudi oblikovanje stalne deponije izkopnega materiala. Ob ustreznem oblikovanju deponije bodo spremembe minimalne.

Površinske vode med gradnjo bodo zaradi izkopavanja pogosto motne. Največji vpliv na vodotok med gradnjo bo nastal pri variantah 3' in 1. Med obratovanjem HE Učja bo spremenjen rečni režim na spodnjem toku, v odvisnosti od obratovanja. Spremenil se bo vzorec sezonskih pretokov, kar bo kvečjemu pomenilo izravnavo pretoka skozi celo leto. Pretok Učje bo v vlažnih obdobjih manjši, pri sušnih pa večji. Poleg sezonskih sprememb pretokov lahko pričakujemo tudi spremembe v tedenskem pretoku, saj bo HE obratovala po tedenski izravnalni shemi.

V akumulacijskem jezeru bo prišlo do zmanjšane rečne hitrosti, kar bo povzročilo sedimentacijo. V rečni strugi na zgornjem koncu akumulacije se bodo usedali grobi sedimenti. V srednjem delu jezera pa je pričakovana sedimentacija finih delcev. Akumulacija bo služila koristno za zadrževanje visokovodnih konic, ki najbolj vplivajo na pretok plavin. Zajezitev reke ima lahko velik vpliv na podtalnico. Zatesnitev dna in brežin lahko lokalno prekine izmenjavo vode s podtalnico in obratno na področjih, kjer v jezeru ni zatesnitve, se izmenjava poveča. Nivo podtalnice se lahko v drugem primeru poveča.

Vodno rastlinstvo in živalstvo bo zaradi poglobljanja in izkopavanja materiala iz struge prizadeto in povečana bo motnost vodotoka... Na kopensko in obrežno rastlinstvo bo negativno vplivalo odstranjevanje površinskega pokrova, nasipavanje, zasipavanje in prašenje. Spremembe v temperaturi vode ter nihanja bodo negativno vplivala na živalstvo in rastlinstvo v reki.

4 VEČKRITERIJSKA ANALIZA

4.1 ODLOČANJE

Nekatere odločitve so lahko zelo zapletene in njihove napake zelo drage, druge pa zelo lahke in ne povzročijo velikih težav. Odločanje je torej miselni proces, pri katerem se odločevalec ali odločitvena skupina, ob določenih pogojih okolja, odloča o eni od možnih alternativ, ki jih vrednoti glede na zanj pomembne kriterije. S sprejeto odločitvijo želi čim bolj zadovoljiti cilje, ki si jih je zastavil sam ali mu jih postavlja okolica (Zornada et al., 2000).

Odločanje je torej proces, v katerem je potrebno izmed več variant (alternativ, enačic, možnosti) izbrati tisto, ki najbolj ustreza postavljenim ciljem in zahtevam. Poleg izbora najboljše variante, jih želimo včasih tudi rangirati od najboljše do najslabše. Pri tem so variante objekti, akcije, scenariji ali posledice enakega ali primerljivega tipa. Odločanje je običajno del splošnega reševanja problemov in nastopa kot pomembna mentalna aktivnost na praktično vseh področjih človekovega delovanja. Težavnost odločitvenih problemov je zelo raznolika, od enostavnih osebnih odločitev, ki so običajno rutinske in se jih večinoma niti ne zavedamo, vse do težkih problemov skupinskega odločanja, naprimer pri vodenju, upravljanju in planiranju v podjetjih, kadrovskega odločanja, medicinski diagnostiki in vrsti drugih področij. Najpomembnejši problemi, ki nastopajo pri težkih odločitvenih problemih, izvirajo iz:

- velikega števila dejavnikov, ki vplivajo na odločitev,
- številnih oziroma slabo definiranih ali poznanih variant,
- zahtevnega in pogosto nepopolnega poznavanja odločitvenega problema in ciljev odločitve,
- obstoja več skupin odločevalcev z nasprotujočimi si cilji in
- omejenega časa in drugih virov za izvedbo odločilnega procesa.

S problemi odločanja se ukvarja vrsta znanstvenih področij in disciplin. Posebej pomembno je vprašanje, kako pomagati odločevalcu, da bi na sistematičen, organiziran in čim lažji način prišel do kvalitetne odločitve. V ta namen je bilo razvitih mnogo metod in računalniških

programov za podporo odločanja (angl. Decision Support Systems (DSS)). Poznamo metode večparametrskega odločanja (angl. Multi-Attribute Decision Making (MADM)), katere so po eni strani dobro teoretično osnovane v okviru odločitvene teorije in teorije koristnosti, po drugi strani pa se uspešno uporabljajo v praksi pri podpori zahtevnih odločitvenih problemov (Jereb et al., 2003).

V odločitvenem procesu znanje sistematično zbiramo in urejamo. V tem procesu naj bi pridobili dovolj informacij za primerno odločitev, zmanjšali možnost, da bi kaj bistvenega spregledali ter se zavedali tveganj in posledic odločitve.

Odločitvena analiza predlaga sistematičen pristop k reševanju odločitvenih problemov. Odločitveni proces razdeli na posamezne faze, v okviru katerih potekajo naslednje aktivnosti:

- strukturiranje in razgradnja odločitvenega problema na manjše in lažje obvladljive podprobleme;
- analiza dostopne informacije o odločitvenem primeru, podatkov o alternativah ter analiza negotovosti in tveganja ob upoštevanju preferenc odločevalca;
- uporaba vseh teh informacij za optimalno ali vsaj čim boljše doseganje ciljev (Bohanec, 2006).

Te faze so:

1. faza: identifikacija problema

V tej fazi pridemo do spoznanja, da je nastopil odločitveni problem, ki ga je treba reševati na sistematičen in organiziran način. Skušamo ga definirati ter opredeliti cilje in zahteve.

Oblikujemo odločitveno skupino, katere jedro predstavljajo odločevalci: to so tisti, ki se morajo v končni fazi odločiti in so odgovorni za odločitev. Pri zahtevnejših problemih je priporočljivo v delo skupine vključiti tudi (Jereb et al., 2003): eksperte, ki imajo poglobljeno znanje o dani problematiki in lahko svetujejo pri oblikovanju odločitvenega modela; odločitvenega analitika – metodologa, ki kot moderator vpliva na učinkovitost in usklajenost dela skupine ter skrbi za ustrezno metodološko in računalniško podporo odločanja; predstavnike tistih, ki jih odločitev zadeva.

V okviru definicije problema opredelimo predmet odločanja, cilje, ki jih želimo doseči z odločitvijo, kakšnim zahtevam mora ustrezati izbrana varianta in težavnost problema. Pri izbiri metode določimo način, kako se bomo lotili problema, in kakšne, oziroma katere pripomočke bomo pri tem uporabili (Pušnik, 2010).

2. faza: identifikacija alternativ

V tej fazi se vprašamo, med katerimi alternativami, variantami ali različicami lahko izbiramo. Navadno želimo spoznati in definirati čim več alternativ, saj to pogosto pomeni večje možnosti in večjo gotovost, da bomo izpolnili cilje.

Včasih lahko fazo identifikacije alternativ preložimo in jo izvedemo šele po fazi modeliranja. To pride še posebej v poštev takrat, kadar razvijamo večparametrške odločitvene modele, ki so načeloma neodvisni od posameznih alternativ (Bohanec, 2006).

3. faza: razgradnja problema in modeliranje

Ta faza je najbolj značilna za odločitveno analizo. V njej odločevalec ponavadi skupaj z odločitvenim analitikom in drugimi strokovnjaki zgradi enega ali več modelov. Z modeli potem ovrednoti alternative, jih primerja med sabo, oceni tveganja in opravi različne druge izračune, pomembne za oceno posledic odločitve. V splošnem gre za matematične in grafične modele, s katerimi lahko opišemo in opredelimo najpomembnejše komponente odločitvenega problema. Komponente so:

- *Struktura odločitvenega problema.* Možnost razgradnje problema na manjše in po možnosti lažje obvladljive odločitvene podprobleme, povezanost oziroma odvisnost teh problemov med seboj.
- *Kriteriji.* V modelu opredelimo kriterije, ki jih je treba upoštevati pri vrednotenju in izbiri alternativ. Posebej je pomembno, da pri tem ne spregledamo kriterijev, ki bistveno vplivajo na odločitev (načelo polnosti). Pri oblikovanju modela poskušamo izpolniti tudi neke druge zahteve, kot so celovitost, neredundantnost in operativnost (merljivost) kriterijev.
- *Preference.* V tesni povezavi s kriteriji so preference, se pravi izraženo subjektivno mnenje odločevalca o tem, katere alternative so bolj zaželeno od drugih, oziroma kateri kriteriji so pomembni in kako se med seboj kombinirajo pri vrednotenju alternativ.

- *Negotovost*. V modelih opisujemo tudi negotovost oziroma tveganje, do katerega lahko pride pri naši odločitvi (Bohanec, 2006).

4. faza: vrednotenje, analiza in zbiranje alternativ

V tej fazi uporabimo modele za to, da vrednotimo alternative. Za vrednotenje in primerjavo alternativnih projektov se uporablja večkriterijska analiza, pri čemer upošteva različna mnenja oziroma kriterije.

Za vsako alternativo tako pridobimo neko oceno kvalitete ali koristnost glede na zastavljene cilje odločitvenega problema. Ob tem ponavadi ocenimo tudi tveganje pri izbiri alternative. Na osnovi teh izračunov lahko alternative uredimo od najboljše do najslabše ter med njimi izberemo najboljšo; to je praviloma alternativa z najvišjo koristnostjo in še sprejemljivim tveganjem (Bohanec, 2006).

5. faza: realizacija odločitve

Faza realizacije odločitve ni več del, pač pa rezultat odločitvenega procesa. Alternativa je bila izbrana in sedaj gre le še za to, da jo realiziramo, udejanjimo, uresničimo (Bohanec, 2006).

4.1.1 VEČPARAMETRSKO ODLOČANJE

Večparametrsko odločanje temelji na razgradnji odločitvenega problema na manjše probleme. Variante razgradimo na posamezne parametre (kriterije ali attribute) in jih ločeno ocenimo glede na vsak parameter. Končno oceno variante dobimo s postopkom združevanja. Tako izpeljana vrednost je potem osnova za izbor najustreznejše variante.

Vrednotenje variant pri večparametrskem odločanju poteka na osnovi večparametrskega odločitvenega modela, ki je v splošnem sestavljen iz treh komponent (Jereb et al. , 2003):

- parametri X_i ; spremenljivke, ki ponazarjajo podprobleme odločitvenega problema, to je tiste dejavnike, ki opredeljujejo kakovost variant; parametri so med seboj hierarhično odvisni;

- funkcija koristnosti F je predpis, po katerem se vrednosti posameznih parametrov združujejo v spremenljivko Y , ki je bodisi končna koristnost ali koristnost podrejenih parametrov;
- koristnost Y ponazarja končno oceno ali koristnost variante; je rezultat združevanja vrednosti parametrov od spodaj navzgor v skladu z modelom.

Variante opišemo po osnovnih parametrih z vrednostmi a_n . Na osnovi teh vrednosti funkcija koristnosti določi končno oceno vsake variante. Varianta, ki dobi najvišjo oceno, je praviloma najboljša (Jereb et al. , 2003).

Pri tem nam lahko zelo pomagajo računalniška orodja, ki so prirejena tako, da nam omogočajo natančnejšo analizo in sistematičnost ocenjevanja ter s tem kakovostnejšo in bolj utemeljeno odločitev.

Pri odločanju so torej računalniška orodja, ki podpirajo odločitveni proces, nepogrešljiva, saj odločevalcu pomagajo pri opredelitvi parametrov, oblikovanju funkcij koristnosti in zajemanju podatkov o alternativah. Vrednotenje alternativ dodatno podpirajo z vrsto koristnih pripomočkov za analizo dobljenih rezultatov (Jereb et al. , 2003).

4.2 VREDNOTENJE

4.2.1 VEČKRITERIJSKI PRISTOP VREDNOTENJA

Beseda vrednotenje se nanaša na konkretiziranje – resnična, dejanska vrednost – določene situacije in ocenitev – presoja vrednosti – te konkretne situacije. Nasprotno od postopkov klasične analize stroškov in koristi, ki temeljijo na analitičnem pristopu, temeljijo postopki vrednotenja na cenilnem pristopu.

Ekonomska učinkovitost je bila dolgo časa osnovni princip vseh vrst problemov strateškega načrtovanja. S tem dejstvom je določen osnovni namen analize stroškov in koristi. S to metodo so v osnovna monetarna merila prevajali različne kriterije vrednotenja. Vendar pa takšen pristop predpostavlja enodimenzionalen problem, kot je sistem, ki temelji na enojni funkciji koristi in predstavlja poglede vseh posameznikov, vključenih v proces odločanja. Kadar so monetarne metode uporabljene kot samostojne metode, so podvržene kritiki, saj: uporabljajo miselne vzorce; lahko prikrivajo pomembno presojo vrednosti ali pa preprosto vsebujejo neresnične in včasih umetne stopnje natančnosti. To še posebej zadeva vidike, kot so: narava, okolje, varnost, estetika, itd. In – ključno – nasprotujoče alternative so končno ovrednotene in izbrane izključno na temelju monetarnih in finančnih vidikov.

Novejše tehnike vrednotenja si prizadevajo preseči omejitve tega enodimenzionalnega pristopa, pri katerem je edina enota merjenja monetarna in katerega osnovni namen je maksimirati razliko med prihodki in stroški. Zato je bilo predlaganih kar nekaj večdimenzionalnih metod vrednotenja. Najbolj razširjeno uporabo so našli v okoljskem sektorju, obstajajo pa tudi poskusi uporabe teh metod na mnogih drugih odločitvenih področjih, kjer vzajemno delujeta tehnični in okoljski sektor.

Sledi opis osnovne klasifikacijske sheme različnih shem vrednotenja. Prva razmejitev vsebuje razliko med:

- ex ante evaluation (predhodno vrednotenje): osredotoča se na del postopka načrtovanja, ki se usmerja na pripravo predloga načrta (npr. regijski ali lokalni načrt); je »vnaprej gledljive« narave (kaj bi se lahko zgodilo po izvršitvi tega projekta);
- ex post evaluation (naknadno vrednotenje): vrednoti prejšnje dejavnosti in/ali situacije, ki so sledile posamezni odločitvi; je tipične “nazaj gledljive” narave (kaj se je zgodilo po izvršitvi tega projekta).

Nadaljnja razmejitev deli *predhodno vrednotenje* na:

- a priori evaluation (vnaprejšnje vrednotenje): kjer odločitvene možnosti, ki so še v postopku premisleka, niso eksplicitno znane (npr. če nekdo poskuša izvesti optimalni načrt s sredstvi objektivnih funkcij in pritiskov);

- a posteriori evaluation (izkustveno vrednotenje): ko so vse alternative in njihovi učinki dobro znani že na začetku procesa vrednotenja.

Končna razmejitev deli *izkustveno vrednotenje* na:

- implicit evaluation (implicitno vrednotenje): prizadevajo si za sistematično eksplicitno analizo odločitvenih možnosti, s čimer se aktivnosti osredotočajo na odgovornost končnega rezultata;

- explicit evaluation (eksplicitno vrednotenje): osredotoča se na soglasnost misli, s čimer se pozornost usmeri na sodelovanje – in pogajanje med – vsemi sodelujočimi udeleženci (Pušnik, 2010).

4.2.2 OBJEKTIVNOST IN OSNOVNI PRINCIPI VEČKRITERIJSKEGA VREDNOTENJA

Večkriterijski pristop vrednotenja (VPV) omogoča tistemu, ki sprejema odločitve, da v luči mnogih kriterijev in konfliktnih prioritet razišče veliko različnih alternativ (projektov). Bistvo VPV je gradnja t.i. 2-dimenzionalne matrike »vpliva«, kjer ena dimenzija izraža različne alternative (recimo projekte), druga dimenzija pa kriterije, s katerimi te alternative vrednotimo.

Zato se imenuje »Projektna matrika kriterija x«. Razvite so bile različne VPV tehnike, glede na to, kako so informacije v matriki nakopičene. Pristop, ki je predlagan tukaj, se imenuje »metoda za doseg cilja«, ki vsebuje tehniko seštevanja obremenitev, kjer – vsaj v svoji osnovni obliki – številčne obremenitve niso dodane le različnim objektivnostim, ampak vsem vključenim skupinam. Eden izmed najosnovnejših vidikov VPV je metoda, ki definira relativno pomembnost enega kriterija z upoštevanjem drugega. Skupna značilnost vseh VPV tehnik je, da začnejo pri velikem številu eksplicitno formuliranih kriterijev (ali standardov ocenjevanja). Posledično niso merjeni v eni sami enoti (kot je analiza stroškov in koristi), pač pa v raznolikosti enot, ki odsevajo naravo upoštevanih kriterijev.

Vsakemu kriteriju mora biti določena relativna obremenitev. Ta obremenitev predstavlja relativno pomembnost (prednost), ki jo ta kriterij znotraj odločitvenega procesa predpostavlja.

Nato so obravnavane še subjektivne prednosti, s katerimi relativna pomembnost vsakega kriterija vstopa v vektor obremenitve, ki vsebuje toliko vrednosti, kot je kriterijev.

Posledično VPV tistim, ki sprejemajo odločitve, omogoča, da eksplicitno obravnavajo politične prioritete znotraj tega izbirnega procesa. To povzroča, da je pristop še posebej primeren za vključevanje razlik v političnih stališčih. Rezultati bodo nato pogojno vrednoteni, kot npr. izidi bodo odvisni od izraženih političnih stališč (subjektivna stališča). Zato, splošno gledano, VPV priskrbi metode za simultano obravnavanje dveh tipov vloženih informacij: objektivna informacija (matrika vpliva) in subjektivna informacija (prioriteta – recimo obremenitev – dodeljena vsakemu posameznemu kriteriju).

VPV ne zagotavlja optimizacije, temveč identificira vrsto rangiranih preferenc z dodeljevanjem tehtnih točk vsakemu projektu. Končno točkovanje je rezultat upoštevanja subjektivnih in objektivnih vidikov. Projekt, ki ima najvišji rezultat, ni »najboljši«, ampak je tisti, kjer je sklenjen najboljši kompromis na ravni zadovoljstva ob sočasnem obravnavanju vseh kriterijev (predvsem takrat, ko je v matriki uporabljenih mnogo konfliktnih kriterijev) (Pušnik, 2010).

5 UPORABA PROGRAMA HYPSE ZA PRIMERJAVO OSMIH VARIANT HE UČJA

Praktičen del naloge je usmerjen predvsem v analizo osmih variant načrtovane HE Učja, ki so bile obdelane v idejni zasnovi podjetja Soške elektrarne Nova Gorica, jih s pomočjo programa HYPSE analizirati tako s tehničnega, ekološkega in ekonomskega vidika ter na podlagi tega ugotoviti, katera varianta HE ima najmanjši vpliv na okolje, oziroma se s tehničnega in ekonomskega vidika najbolj izplača.

5.1 KRATEK OPIS PROGRAMSKE OPREME HYPSE

Ideja za programsko opremo HYPSE je nastala leta 1998, in sicer po dokončanju mHE Rino na severu Italije, katera je bila izvedena znotraj naravnega parka Adamello, ki je z okoljevarstvenega vidika občutljivo območje. Program je izdelala korporacija Borland za Delfi 5 (Implemented in Delphy 5), deluje na računalnikih z operacijskim sistemom Windows in je skupek procedur, ki zaporedno in interaktivno izvajajo analize konkordance in občutljivosti obteženih faktorjev ter omogoča grafično ponazoritev rezultatov. Odločitve, ki so jih sprejeli med fazo načrtovanja, so bile rezultat podrobne raziskave okoljskih problemov, povezanih z izvedbo v naravnem parku in sporazuma med različnimi vejami oblasti, še posebej pri olajševalnih in nadomestnih ukrepih. Zahvaljujoč njegovi inovativnosti in svojevrstnosti je projekt prejel finančno podporo Evropske komisije. Izkušnje, pridobljene skozi izvedbo HE, doseženi rezultati, še posebej glede sprejemljivosti HE v občutljivem območju, so pri avtorjih navdihnili idejo o oblikovanju orodja za podporo razprave o vplivih HE na okolje, s kar se da objektivno podlago, da bodo omenjene izkušnje na razpolago tako projektantom HE, kot tudi okoljevarstvenim uradnikom, ki so pristojni za izdajanje dovoljenj. Tako so programsko opremo HYPSE razvili posebej za izvajanje večkriterijskih metod vrednotenja za odločanje med danimi variantami projektov HE. Cilj je bil priskrbeti

objektivno metodo za izvajanje meritev vplivov na okolje, ki omogoča primerjavo različnih rešitev načrtovanja na objektivni podlagi, vključno z »ničelno alternativo« (HE ni izvedena). Temelji pa tudi na določeni listi kriterijev (okoljskih, ekonomskih, tehničnih,...) ter jim pripisuje pomembnost, ki jo izbere ocenjevalec. Ustrezen matematični model na več načinov primerja bolj ali manj pomembne kriterije, končni rezultat pa je niz indeksov, vključno z globalnim, ki omogočijo ocenjevalcu odločitev, kateri projekt je najbolj primeren z okoljevarstvenega stališča.

5.2 MODELIRANJE V PROGRAMU HYPSE

Metoda VPV (večkriterijski pristop vrednotenja), ki jo HYPSE izvaja, je konkordančna analiza, ki vključuje analizo občutljivosti vektorjev uteži (merjenja), poleg tega zagotavlja grafične primere za razlago doseženega učinka. HYPSE ni orodje za načrtovanje, pač pa orodje za vrednotenje. V uporabo stopi šele, ko so vsi alternativni projekti že izdelani. Vrednosti, ki bodo vnesene v *Evalvacijsko matriko*, ki je osnova VPV, so pridobljene iz vsebin preliminarnih načrtov ali izvedljivih projektov, ki se nanašajo na obravnavano alternativno rešitev.

5.2.1 IZDELAVA EVALVACIJSKE MATRIKE

Namen praktičnega dela diplomske naloge je s pomočjo programa HYPSE narediti analizo že izdelanih alternativnih projektov s strani podjetja SENG ter na koncu primerjati dobljene rezultate iz programa z najboljšo varianto, ki je bila prikazana s strani investitorja (SENG). V drugem primeru pa bom 8 variant HE Učja primerjal z 10 mHE iz diplome od Martina Pušnika (Pušnik, 2009).

Za vsak alternativni projekt iz Idejne zasnove sem zbral podatke za 40 kriterijev, ki sem jih nato vstavil v evalvacijsko matriko (40 x 8). Poimenoval sem jo Primerjava 8 variant HE Učja (Slika 7):

Criteria and Weights			Projects and Impacts											
Criteria	Measure	Weight	Varianta 1	Varianta 1a	Varianta 2	Varianta 2a	Varianta 3	Varianta 3a	Varianta 3'	Varianta 3'a				
EnPro	GWh/leto	2.29	29.944	30.927	29.378	30.316	28.775	29.648	32.456	33.499				
EmisAv	tone/leto	2.45	27.163.640	28.055.380	26.650.490	27.500.780	26.102.800	26.894.760	29.442.880	30.388.660				
EnProVrs	GWh/leto	2.29	22.321	24.284	21.907	23.814	21.425	23.261	24.209	26.281				
Inv	EUR	2.29	44.510.486.00	49.046.991.00	41.090.335.00	45.555.183.00	40.371.692.00	45.057.530.00	51.668.678.00	56.559.733.00				
InstPow	kW	4.00	25.650.00	34.160.00	25.490.00	33.960.00	25.390.00	33.830.00	28.640.00	38.160.00				
InvPow	EUR/kW	2.29	1.735.30	1.435.80	1.612.02	1.341.44	1.590.06	1.331.88	1.804.07	1.482.17				
InvEne	EUR/kWh	2.29	1.49	1.59	1.40	1.50	1.40	1.52	1.59	1.69				
WksOpe	Št.	2.29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
EnProPas	GWh/leto	2.29	7.623	6.643	7.472	6.502	7.349	6.387	8.247	7.218				
LgtTrLines	m	2.45	1.500.00	1.500.00	1.500.00	1.500.00	1.500.00	1.500.00	1.500.00	1.500.00				
LgtNwRds	m	2.45	1.000.00	1.000.00	1.000.00	1.000.00	1.000.00	1.000.00	1.000.00	1.000.00				
MnWtr	m3/s	2.45	2.44	2.44	2.40	2.40	2.36	2.36	2.36	2.36				
BckLgt	m	2.45	1.126.00	1.126.00	700.00	700.00	427.00	427.00	1.537.00	1.537.00				
BckWRipR	m	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
BckWRipL	m	2.45	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00				
LndInund	%	2.45	9.80	9.80	9.90	9.90	9.35	9.35	9.70	9.70				
LngImp	m	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
GrVolAccum	m3	2.45	1.941.638.00	1.941.638.00	852.658.00	852.658.00	340.817.00	340.817.00	2.219.669.00	2.219.669.00				
BkwLngt	%	2.45	8.73	8.73	6.03	6.03	4.52	4.52	8.21	8.21				
%SeasTrans	%	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
%DailyTrans	%	4.00	74.54	78.52	74.57	78.55	74.46	74.46	74.59	78.45				
DmHgt	m	2.45	53.00	53.00	38.00	38.00	28.00	28.00	53.00	53.00				
RivCont	%	2.45	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00				
AreaPow	m2	2.45	635.58	635.58	635.58	635.58	635.58	635.58	635.58	635.58				
AreaAdd	m2	2.45	1.620.00	1.620.00	1.620.00	1.620.00	1.620.00	1.620.00	1.620.00	1.620.00				
DivLng	m	2.45	4.521.00	4.521.00	4.956.00	4.956.00	4.799.00	4.799.00	4.799.00	4.799.00				
WetWid	%	2.45	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67				
StruReach	%	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
NwWaste	Št.	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
ResFlow	l/s	2.45	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00				
PerclntPnst	%	2.45	89.48	89.48	90.51	90.51	91.06	91.06	91.06	91.06				
HeadEarthCh	%	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
HeadStruEmb	%	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
HeadConCh	%	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
LngHdRcCh	m	2.45	3.033.00	3.033.00	3.450.00	3.450.00	3.710.00	3.710.00	3.710.00	3.710.00				
PerclntPnst	%	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
HeadEarthCh	%	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
HeadStruEmb	%	2.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00				
HeadConCh	%	2.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00				
LngCmpTrCh	m	2.45	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00				

Groups | ECO :16.00 ENV :76.00 TEC :8.00
 Normalization | VectorNormalization
 Selected Project | Varianta 1

Slika 8: Evalvacijska matrika »Primerjava 8 variant HE Učja«

Dodal sem 6 novih kriterijev, namesto določenih, za katere nisem imel podatkov. V skupini »Splošni podatki« sem dodal dva kriterija *EnProVrs*, kar pomeni proizvedena vršna energija in *EnProPas*, ki je proizvedena pasovna energija, v skupini »Gorvodno območje« sta nova kriterija *MnWtr* (srednji pretok) in *GrVolAccum* (bruto volumen akumulacije), v skupini »Dovodni kanal« še *LngHdRcCh*, ki pomeni dolžino dolvodnega kanala ter v zadnjo skupino »Odvodni kanal« sem še dodal *LngCmpTrCh*, ki je dolžina odvodnega kanala.

Nato sem izbrane kriterije uredil tako, da sem trem kriterijem (*EnPro*, *EnProVrs* in *EnProPas*) nastavil število na tri decimalna mesta, osmim kriterijem (*LgtNwRds*, *BckWRipR*, *BckWRipL*, *BkwLngt*, (2)*HeadEarthCh*, (2)*HeadConCh*) pa sem spremenil tip kriterija (B (korist) sem zamenjal s C (strošek)). Imena izbranim kriterijem nisem spreminjal, izmislil pa sem si kratice

imen za vseh šest novih kriterijev. Spremenil sem opise vseh kriterijev v Slovenščino. Na Sliki 8 je prikazan izpis izbranih kriterijev iz programa HYPSE.

Group : ECO		Benefit		
(Short-name) Name	Measures units	Cost	Minimum value	Maximum Value
(EnPro) Proizvodnja energije HE	GWh/leto	B	0.000	40.000
(EnProVrs) Proizvedena vrsna energija HE	GWh/leto	B	0.000	40.000
(Inv) Investicija za izvedbo HE	EUR	C	0.00	100,000,000.00
(InvPow) Specifična investicija (sposobnost)	EUR/kW	C	0.00	2,500.00
(InvEne) Specifična investicija (energija)	EUR/kWh	C	0.00	4.00
(WksOpe) Zaposleni med obratovanjem	Št.	B	0.00	100.00
(EnProPas) Proizvedena pasovna energija HE	GWh/leto	B	0.000	40.000
Group : ENV		Benefit		
(Short-name) Name	Measures units	Cost	Minimum value	Maximum Value
(EmisAv) Zmanjševanje emisij CO2	tone/leto	B	0.000	40,000.000
(LgtTrLines) Dolžina "novega" daljnovega	m	C	0.00	10,000.00
(LgtNwRds) Dolžina "nove" dovozne poti	m	C	0.00	10,000.00
(MhWtr) Srednji pretok	m ³ /s	B	0.00	5.00
(BckLgt) Dolžina gorvodnega območja v času srednjega pretoka	m	C	0.00	5,000.00
(BckWRipR) Dolžina kamnite zlozbe in obreznega nasipa na gorvodnem območju (Desna stran)	m	C	0.00	1,000.00
(BckWRipL) Dolžina kamnite zlozbe in obreznega nasipa na gorvodnem območju (Leva stran)	m	C	0.00	1,000.00
(LndInund) Povrsina na novo "poplavljenega" območja/prvotna površina recnega dna	%	C	1.00	500.00
(LngImp) Dolžina neprepustne brezine	m	C	0.00	1,000.00
(GrVolAccum) Bruto volumen akumulacije	m ³	C	0.00	2,500,000.00
(BkwLgt) Dolžina gorvodnega območja/maksimalna širina gorvodnega območja	%	C	0.00	1,000.00
(%SeasTrans) Procent letne količine vode premescene iz mokre v suho sezono	%	B	0.00	100.00
(DmHgt) Visina (nepremičnega dela) jezga	m	C	0.00	100.00
(RivCont) Prekinitev rečne struge (ribje steze)	%	C	0.00	100.00
(AreaPow) Povrsina strojnice	m ²	C	0.00	2,000.00
(AreaAdd) Povrsina dopolnilnih konstrukcij (Cesta, parkirni prostori,...)	m ²	C	0.00	10,000.00
(DivLng) Dolžina preusmeritvenega odseka	m	C	0.00	5,000.00
(WetWid) Omoceni del struge (v "zadržanem pretoku")	%	B	0.00	100.00
(StruReach) Procent konstrukcijsko izboljšane dela preusmeritvenega odseka	%	B	0.00	100.00
(NrWaste) Stevilo dotokov odpadnih voda med jezom in izpustom	Št.	C	0.00	50.00
(ResFlow) Ekološko sprejemljivi pretok	l/s	B	0.00	10,000.00
(PercInPrst) Odstotek podzemnega dovodnega kanala	%	B	0.00	100.00
(HeadEarthCh) Odstotek zemeljskega dovodnega kanala	%	C	0.00	100.00

(HeadStruEmb) Odstotek na novo ustvarjenih brezin dovodnega kanala	%	B	0.00	100.00
(HeadConCh) Odstotek betonskega dovodnega kanala	%	C	0.00	100.00
(LngHdRcCh) Dolžina dovodnega kanala	m	C	0.00	5,000.00
(PerIntPnst) Odstotek podzemnega odvodnega kanala	%	B	0.00	100.00
(HeadEarthCh) Odstotek zemeljskega odvodnega kanala	%	C	0.00	100.00
(HeadStruEmb) Odstotek na novo ustvarjenih brezin odvodnega kanala	%	B	0.00	100.00
(HeadConCh) Odstotek betonskega odvodnega kanala	%	C	0.00	100.00
(LngCmpTlrCh) Dolžina odvodnega kanala	m	C	0.00	2,000.00
Group : TEC				
(Short-name) Name	Measures units	Benefit Cost	Minimum value	Maximum Value
(InstPow) Instalirana moc HE	kW	B	0.00	40,000.00
(%DailyTrans) Procent dnevne kolicine vode premescene iz "nizko tarifne" v "visoko tarifne" ure	%	B	0.00	100.00

Slika 9: HYPSE izpis izbranih kriterijev

5.2.2 IZBOR INDEKSOV IZRAČUNAVANJA

Pred izvedbo izračunov konkordance moramo izbrati niz indeksov. Ta izbor je priporočen zaradi doslednosti in dovršenosti izračunov ter zavedanja rezultatov. Govorimo o izboru:

1. metode normiranja vhodnih podatkov znotraj evalvacijske matrike,
2. končnih indeksov konkordance in diskordance, skupaj z globalnim sintetičnim indeksom, s katerim lahko analiziramo končne položaje alternativ; ta izbor še posebej preučuje indekse, pri katerih uporabimo ali ne uporabimo vrednosti sistema uteži (npr. izračun skozi enostavne funkcije in funkcije uteži posebej).

Osnovni postopek normiranja, predlagan za HYPSE, je vektorska normalizacija, na razpolago pa sta še linearna transformacija in min-max transformacija. Izberemo lahko le eno možnost in v tem primeru je bila vektorska normalizacija, ki sem jo uporabljal v nadaljevanju.

V istem pomožnem oknu, kjer izbiramo indekse, lahko v tretjem zavihku izbiramo funkcije za izračun konkordančnih indeksov (indeks konkordančne dominance (c_i)), obteženih diskonkordančnih indeksov (Obtežen diskonkordančni indeks ($d_{i,WD}$) in združen obtežen diskonkordančni indeks ($d_{i,AWD}$)) in globalni sintetični indeks (GS_i). Jaz sem izbral slednjega.

5.2.3 UPRAVLJANJE OBTEŽITVENEGA SISTEMA

Utež je vektor dejanskega števila, ki definira prioritete kriterijev. Pri odpiranju novega problema HYPSE obteži vse kriterije enako. Ponavadi moramo takšno situacijo prilagoditi, ker želijo uporabniki nastaviti svoja stališča prioritet in ker je potrebno izdelati prioriteto matriko ter izvesti analizo občutljivosti končnih rezultatov z ozirom na kompozicijo obtežitvenega sistema.

Spremembe obtežitvenega sistema so lahko: vrednosti absolutnih uteži, vrednosti uteži skupine ali delitev uteži znotraj skupine (relativne uteži). Vse te spremembe lahko izvedemo v programu HYPSE, z orodjem za urejanje uteži.

Relativni pogled za vhodne vrednosti uteži nam omogoča vnos skupinskih uteži in vnos relativnih uteži znotraj skupine. HYPSE nato kot posledico teh dveh vnosov izračuna absolutne uteži.

Absolutni pogled za neposredni vnos absolutnih uteži nam omogoča vnos za vsak kriterij posebej, neodvisno od njihovih skupin. HYPSE bo nato kot posledico absolutnega vnosa izračunal skupinske in relativne uteži znotraj vsake skupine.

5.2.4 ELIMINACIJA IN SELEKCIJA VARIANT

Končni prioritetni red različnih variant se pridobi z združevanjem rezultatov iz pristopov konkordance in diskordance. Vrednosti lahko spajamo na več različnih načinov z izbiro in primerjavo povprečnih vrednosti indeksov.

a) Enostavni in obtežen indeks diskordance ($d_{i,SD}$ in $d_{i,WD}$) učinkujeta kot indikatorja, ki opozarjata na možne probleme (v povezavi z določenim kriterijem), katerim se lahko izognemo z izbiro drugega načrta. Ta indikatorja opozarjata na maksimalne razlike. Iz Slike 8 je razvidno, da ima vsaka od variant od tri do štiri šibke točke v primerjavi z ostalimi

variantami. To pokaže vrednost indeksa v matrični vrstici, ki je enaka ena (1,000), kar pomeni, da so si vse variante po kriterijih približno enake. Izstopajo le nekatere izmed njih.

Za Varianto 3a lahko rečemo, da je »najbolj sprejemljiva« alternativa, ker ima tri šibke točke in sicer v primerjavi z Variantami 1, 1a in 3'. To je razvidno iz stolpca, kjer je prikazana vsota vrst, ki dosega vrednost (5,4158). Za najslabšo alternativo pa velja Varianta 3', ker ima absolutno šibko točko v primerjavi z Variantami 1, 1a, 3 in 3a, saj vsota vrst dosega vrednost (6,6776).

Indexes	DiscordanceDominance		AggregatedDiscordance		ConcordanceDominance		WeightedDiscordance		A_W_Discordance	
	Varianta 1	Varianta 1a	Varianta 2	Varianta 2a	Varianta 3	Varianta 3a	Varianta 3'	Varianta 3'a	Columns	Final
Varianta 1	0.0000	0.9731	0.6519	0.9804	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	6.6054	0.0786
Varianta 1a	0.5269	0.0000	0.6552	0.6519	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	5.8340	-1.1392
Varianta 2	1.0000	1.0000	0.0000	0.9731	1.0000	1.0000	0.6516	0.9922	6.6168	1.9509
Varianta 2a	1.0000	1.0000	0.5215	0.0000	1.0000	1.0000	0.9382	0.6738	6.1335	0.2942
Varianta 3	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	0.0000	0.9780	0.7793	1.0000	6.2573	-0.2599
Varianta 3a	1.0000	1.0000	0.5833	0.5000	0.5172	0.0000	1.0000	0.8152	5.4158	-1.5622
Varianta 3'	1.0000	1.0000	0.7541	0.9798	1.0000	1.0000	0.0000	0.9438	6.6776	0.7553
Varianta 3'a	1.0000	1.0000	1.0000	0.7541	1.0000	1.0000	0.5532	0.0000	6.3073	-0.1177
Rows	6.5269	6.9731	4.6660	5.8393	6.5172	6.9780	5.9223	6.4250		

Slika 10: Matrika enostavnega diskordančnega indeksa ($d_{i,SD}$)

b) Nasprotno pa združen diskordančni indeks ($d_{i,AD}$) identificira načrte, ki ponujajo najboljši kompromis med vsemi danimi alternativami in celo presežejo pristop »maksimalne razlike«, ker upoštevajo tudi absolutne vrednosti vseh učinkov, povezanih s kriteriji v nizu diskordance.

Tako Varianta 1 in Varianta 3'a, ki imata več absolutnih šibkih točk, zasedata boljši položaj kot Varianta 3', saj pomanjkljivosti Variante 3' izhajajo iz nizov diskordance, ki vsebujejo večje število kriterijev z manjšo vrednostjo od ostalih variant. Iz tega razloga imata Varianti 1 in 3'a boljši združen diskordančni indeks od Variante 3'.

Indexes	DiscordanceDominance		AggregatedDiscordance		ConcordanceDominance		WeightedDiscordance		A_W_Discordance	
	Varianta 1	Varianta 1a	Varianta 2	Varianta 2a	Varianta 3	Varianta 3a	Varianta 3'	Varianta 3'a	Columns	Final
Varianta 1	0.0000	0.2380	0.2805	0.4451	0.4749	0.6113	0.2569	0.4690	2.7758	1.0189
Varianta 1a	0.0886	0.0000	0.3422	0.2761	0.5285	0.4621	0.2165	0.2637	2.1779	-0.1763
Varianta 2	0.2089	0.4201	0.0000	0.2307	0.2367	0.4290	0.2706	0.4564	2.2524	0.4464
Varianta 2a	0.2307	0.2111	0.0879	0.0000	0.3159	0.2336	0.2306	0.2802	1.5900	-0.6963
Varianta 3	0.2697	0.4727	0.1030	0.3251	0.0000	0.2256	0.2231	0.4003	2.0196	-0.6227
Varianta 3a	0.2743	0.2746	0.1636	0.1111	0.0939	0.0000	0.1834	0.2337	1.3345	-1.6768
Varianta 3'	0.3146	0.4237	0.3999	0.5028	0.4861	0.5781	0.0000	0.2492	2.9543	1.4808
Varianta 3'a	0.3699	0.3140	0.4289	0.3955	0.5064	0.4716	0.0923	0.0000	2.5785	0.2260
Rows	1.7568	2.3541	1.8060	2.2863	2.6423	3.0113	1.4736	2.3525		

Slika 11: Matrika združenega diskordančnega indeksa ($d_{i,AD}$)

c) Združen obtežen diskordančni indeks ($d_{i,AWD}$) je po zgradbi najbolj podoben indeksu konkordance. Tako oba indeksa pri upoštevanju uteži ne služita le kot napovednika boljše ali slabše alternative, temveč ju lahko interpretiramo na lestvici, ki meri stopnjo uspeha ali neuspeha. Ta indeks lahko smatramo za najbolj razlagalnega med vsemi pokazatelji diskordance, ker povezuje uteži in povprečne razlike.

Z algebrskim združevanjem indeksa konkordance (c_i) z združenim obteženim diskordančnim indeksom ($d_{i,AWD}$) dobimo celovito informacijo o pozitivnih in negativnih vidikih vsake alternative, variante HE, to je globalni sintetični indeks (GS_i). Ta rezultat vedno potrjuje pogoj $\square GS_i = 0$, zato bi morali biti pri končni odločitvi naklonjeni načrtom z $GS_i > 0$.

Indexes	DiscordanceDominance		AggregatedDiscordance		ConcordanceDominance		WeightedDiscordance		A_W_Discordance	
	Varianta 1	Varianta 1a	Varianta 2	Varianta 2a	Varianta 3	Varianta 3a	Varianta 3'	Varianta 3'a	Columns	Final
Varianta 1	0.0000	0.0498	0.1020	0.1429	0.1582	0.1954	0.0277	0.0742	0.7503	0.5050
Varianta 1a	0.0139	0.0000	0.1099	0.1010	0.1644	0.1564	0.0207	0.0309	0.5972	0.2172
Varianta 2	0.0182	0.0621	0.0000	0.0484	0.0588	0.1023	0.0337	0.0743	0.3979	-0.1655
Varianta 2a	0.0244	0.0185	0.0137	0.0000	0.0707	0.0581	0.0263	0.0372	0.2488	-0.4430
Varianta 3	0.0246	0.0667	0.0090	0.0556	0.0000	0.0476	0.0345	0.0732	0.3111	-0.5639
Varianta 3a	0.0282	0.0252	0.0189	0.0094	0.0140	0.0000	0.0268	0.0381	0.1605	-0.8327
Varianta 3'	0.0645	0.0935	0.1543	0.1816	0.2048	0.2308	0.0000	0.0542	0.9837	0.7992
Varianta 3'a	0.0716	0.0642	0.1555	0.1530	0.2042	0.2026	0.0147	0.0000	0.8658	0.4836
Rows	0.2453	0.3799	0.5634	0.6919	0.8750	0.9932	0.1845	0.3822		

Slika 12: Matrika združenega obteženega diskordančnega indeksa ($d_{i,AWD}$)

Vseeno pa se moramo zavedati, da različne tabele rezultatov niso namenjene določanju samodejne rešitve za problem odločanja. Osnovna predpostavka je, da je ta metoda instrument za pomoč odločevalcu, ki se sooča z zapletenimi situacijami, še posebej pri nejasnih podatkih. Zato je potrebno opraviti analizo občutljivosti za podkrepitev izbranih možnosti. To pa skušamo doseči z izdelavo matrike ocenjevanja (preglednica 10). Upoštevani so različni vidiki, ki temeljijo na obtežitvenem sistemu, tako da okoljski kriteriji (ENV) zavzemajo 76%, ekonomski (ECO) 16% in tehnični (8%).

Matrika ocenjevanja poda končne rezultate in položaje vseh obravnavanih alternativ (variant HE) za vsak vidik, upoštevan v danem problemu. Tukaj sem za končne rezultate uporabil globalne sintetične indekse GS_i.

Preglednica 10: Matrika ocenjevanja

Razmerje uteži ECO:ENV:TEC	16:76:8	Rang	50:25:25	Rang	25:50:25	Rang	25:25:50	Rang	80:10:10	Rang	10:80:10	Rang	10:10:80	Rang
VARIANTA 1	-0.9019	7	-1.2824	7	-1.4367	7	-2.2912	7	-0.4517	6	-1.025	7	-3.4783	6
VARIANTA 1a	0.1812	4	1.4274	2	1.1986	3	2.6972	2	0.6173	2	0.3002	3	4.2094	2
VARIANTA 2	-0.3033	5	-1.1608	6	-1.2244	6	-2.2663	6	-0.3129	5	-0.4427	6	-3.4853	7
VARIANTA 2a	0.8642	2	1.6908	1	1.6466	1	2.8039	1	0.9585	1	0.9556	2	4.2348	1
VARIANTA 3	0.4468	3	-1.7827	8	-1.4818	8	-3.5983	8	-0.7418	8	0.2996	4	-5.8278	8
VARIANTA 3a	1.4651	1	0.7526	4	1.2061	2	1.3084	4	0.0381	4	1.5832	1	1.8267	4
VARIANTA 3'	-1.2698	8	-0.7654	5	-0.9574	5	-0.8723	5	-0.5143	7	-1.3025	8	-1.0181	5
VARIANTA 3'a	-0.4823	6	1.1204	3	0.9071	4	2.2184	3	0.4068	3	-0.3684	5	3.5385	3

Iz zgornje preglednice je razvidno, da je izmed osmih variant HE Učja, najbolje rangirana Varianta 2a, saj je petkrat, izmed sedmih primerov uporabe različnih razmerij uteži, dosegla najvišjo vrednost globalnih sintetičnih indeksov. Samo v dveh primerih, kjer je razmerje med ekonomskimi, ekološkimi in tehničnimi utežmi- ECO:ENV:TEC=16:76:8 in 10:80:10, je bila slabša od Variante 3a. Prav z razmerjem uteži 16 (ECO): 76 (ENV): 8 (TEC) sem izvedel v nadaljevanju svojo analizo občutljivosti, ki mi je na koncu pokazala na najboljšo varianto 3a, z globalnim sintetičnim indeksom 1.4651, ki je od Variante 2a, z globalnim sintetičnim indeksom 0.8642, boljša za 0.6009 vrednosti sintetičnega indeksa.

Najslabši položaj pa ima, ob uporabi sedmih različnih razmerij uteži, Varianta 3, ki je petkrat dosegla zadnje, osmo mesto. Ob uporabi razmerja uteži 16 (ECO): 76 (ENV): 8 (TEC) ji je sicer pripadalo tretje mesto, takoj za Variantama 2a in 3a, pri razmerju 10 (ECO): 80 (ENV):

10 (TEC) pa še četrto mesto, a je nato pri ostalih petih razmerjih zasedla zadnje mesto, kar jo je nedvomno v povprečju uvrstilo za najslabšo možno varianto.

Tudi Varianta 1 ne zaostaja veliko za Varianto 3, saj je v petih primerih razmerij uteži zasedla sedmo mesto, le dvakrat pa šesto. Končni izbrani načrt mora sicer zadostovati čim večjemu številu različnih vidikov za doseg najboljšega »kompromisa«.

5.2.5 ANALIZA OBČUTLJIVOSTI

Konkordančna analiza lahko zajame številne informacije različnih variant, odločitvene kriterije in prioritete. Na splošno velja analiza občutljivosti za pomemben postopek z ozirom na vhodne podatke, obtežitvene sheme. Trdnost modela se tako lahko testira z analizo občutljivosti, s posameznimi vrednostmi uteži, na podlagi katere se izdelava matrika ocenjevanja, v katero so vključeni le diskretni in jasni sistemi uteži.

Za izvedbo analize občutljivosti morajo biti kriteriji predhodno združeni v homogene skupine. Postopek razvrščanja kriterijev mora potekati po naslednjih korakih. Prvo je treba izbrati število homogenih skupin (obravnavajo primerov z dvema ali tremi skupinami), nato relativno utež, ki je dodeljena vsem kriterijem iste skupine, na koncu pa še absolutno utež, ki je dodeljena celotni skupini.

Na splošno je analiza občutljivosti v praksi analogna matriki ocenjevanja, konstruirani s konstantnimi relativnimi utežmi znotraj homogene skupine. Glede na podatek, da je preizkus občutljivosti izveden v okviru več kot 50 neodvisnih analiz skladnosti, bi ga bilo zaradi velikosti težje predstaviti v tabeli (kot na primer pri matriki ocenjevanja), zato je grafični prikaz bolj uporaben za razumljivost stabilnosti končnega položaja načrta. Rešitev lahko narišemo v obliki diagrama, v katerem je globalni sintetični indeks GS_i določen na utež, ki je določena eni izmed obeh skupin. Vsako stališče na diagramu identificira navpični izsek, na katerem bodo določeni različni sintetični indeksi.

V nadaljevanju bom prikazal dve analizi občutljivosti. Prva bo z dvema homogenima skupinama, druga s tremi. Pri dveh homogenih skupinah bom ekonomske in tehnične kriterije upošteval skupaj (24 %), okoljske (76 %) pa posebej. Pri treh homogenih skupinah pa bom okoljskim kriterijem pripisal 76 %, ekonomskim 16 % in tehničnim 8 %.

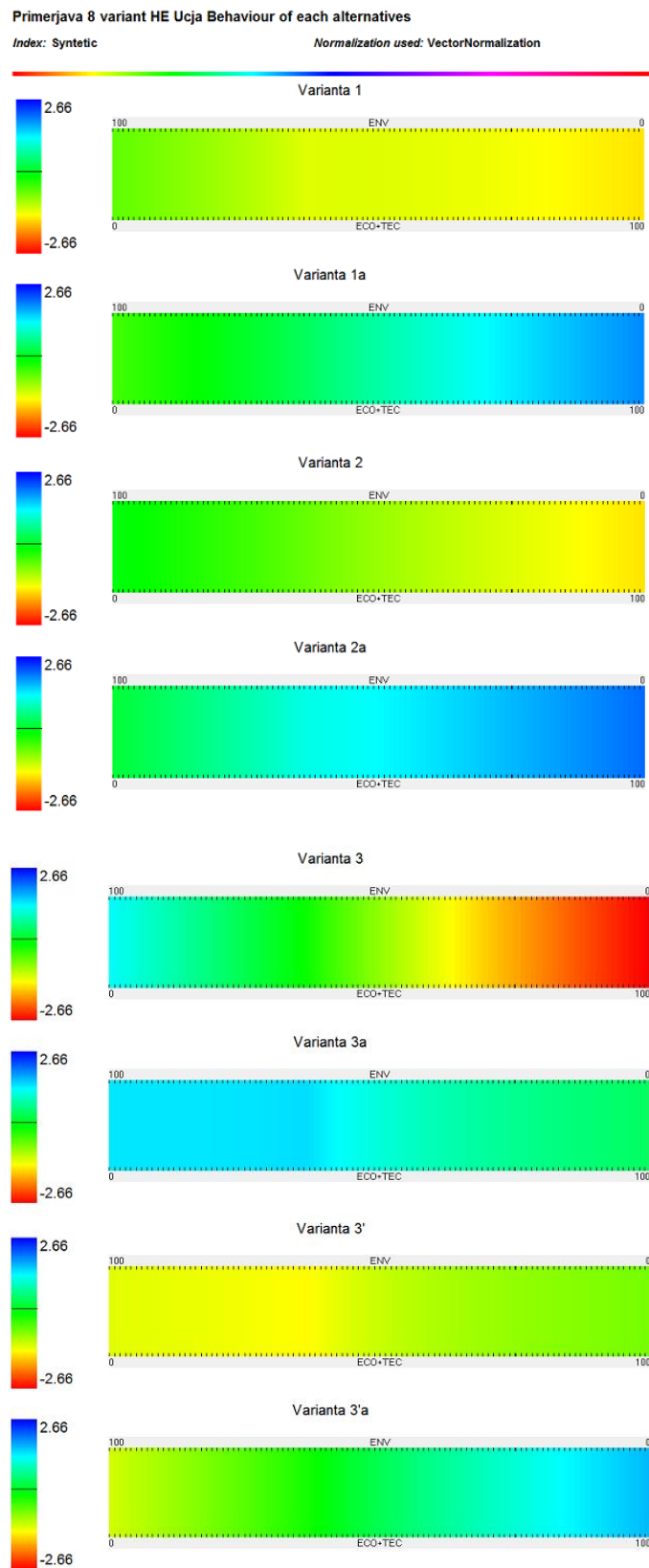
5.2.5.1 Analiza občutljivosti z dvema homogenima skupinama

Pri analizi občutljivosti z dvema homogenima skupinama sem združil ekonomske in tehnične kriterije. Vse kriterije sem obtežil enako (kot je v programu HYPSE privzeto), okoljski kriteriji tako zavzemajo 76 %, ekonomski in tehnični skupaj pa 24 %.

Predstavitev variant pri dveh homogenih skupinah

Na spodnji sliki so prikazane podrobnosti vseh osem posameznih variant HE Učja pri dveh homogenih skupinah. Barvna lestvica prikazuje gradient analize trenutno izbranega indeksa (sintetični indeks). Temno modra barva pomeni najboljši rezultat, rdeča pa najslabšega.

Na podlagi barvne lestvice lahko iz spodnje slike vidimo, da je pri izbranem indeksu najboljše ocenjena Varianta 2a, najslabše pa Varianta 3. Kot zanimivost lahko izpostavimo tudi Varianto 3', ki je s tehničnega in ekonomskega vidika še sprejemljiva, ima pa velik vpliv na okolje.

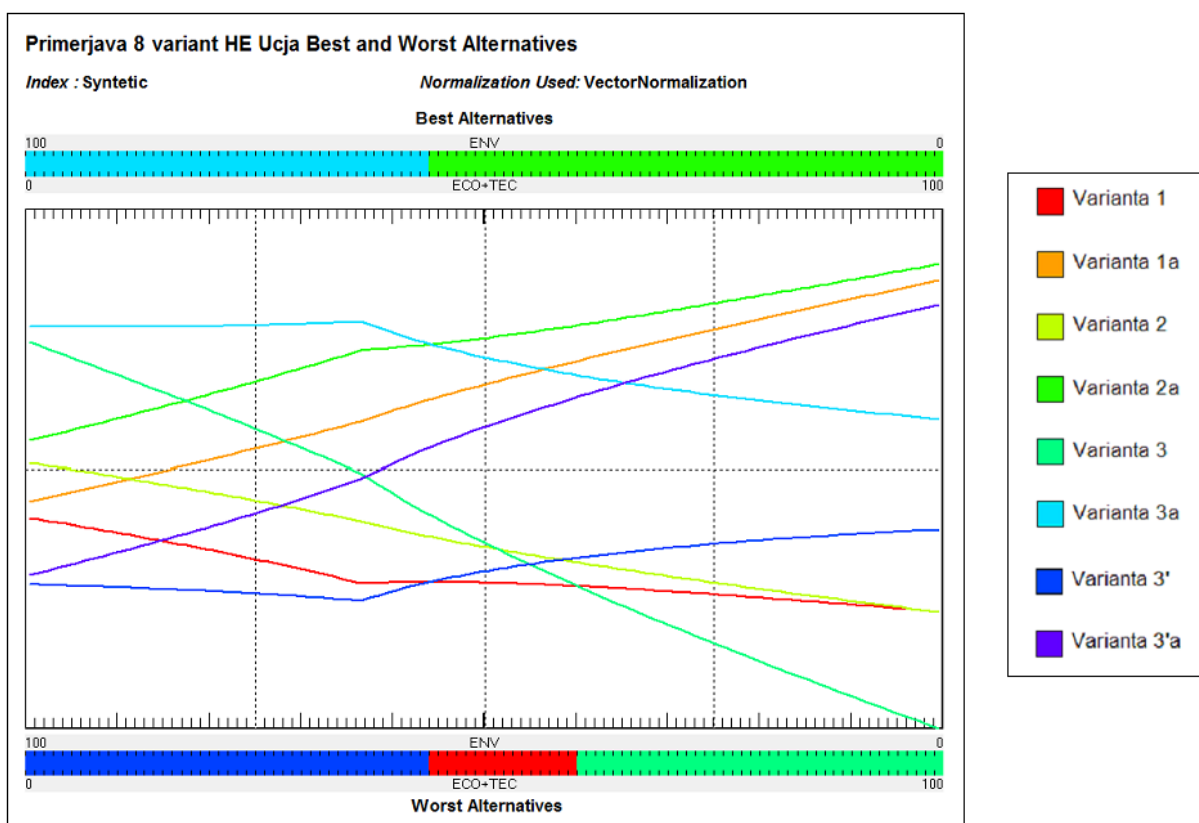


Slika 13: Prikaz podrobnosti posameznih variant pri dveh homogenih skupinah

Najboljše in najslabše variante pri dveh homogenih skupinah

Na grafičnem prikazu analize občutljivosti za sintetični indeks izberemo prikaz najboljših in najslabših variant. Te so prikazane podrobneje na spodnji sliki (Slika 13). Nad grafom je, iz vidika poslabšanja okoljskih razmer, prikaz najboljših variant, pod grafom pa prikaz najslabših variant HE Učja.

Pri dani obtežbi kriterijev, je najboljša Varianta 2a, ki najmanj poslabša okoljske razmere, poleg nje pa lahko vidimo, da se med najboljše uvršča tudi Varianta 3a. Varianta, ki najbolj poslabša okoljske razmere, je Varianta 3', med najslabše variante pa se uvrščata tudi Varianta 3 in Varianta 1.



Slika 14: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri dveh homogenih skupinah

5.2.5.2 Analiza občutljivosti s tremi homogenimi skupinami

Pri analizi občutljivosti s tremi homogenimi skupinami sem vse kriterije obtežil enako (kot je v programu HYPSE privzeto), tako sem okoljskim kriterijem pripisal 76 %, ekonomskim 16 % in tehničnim 8 %.

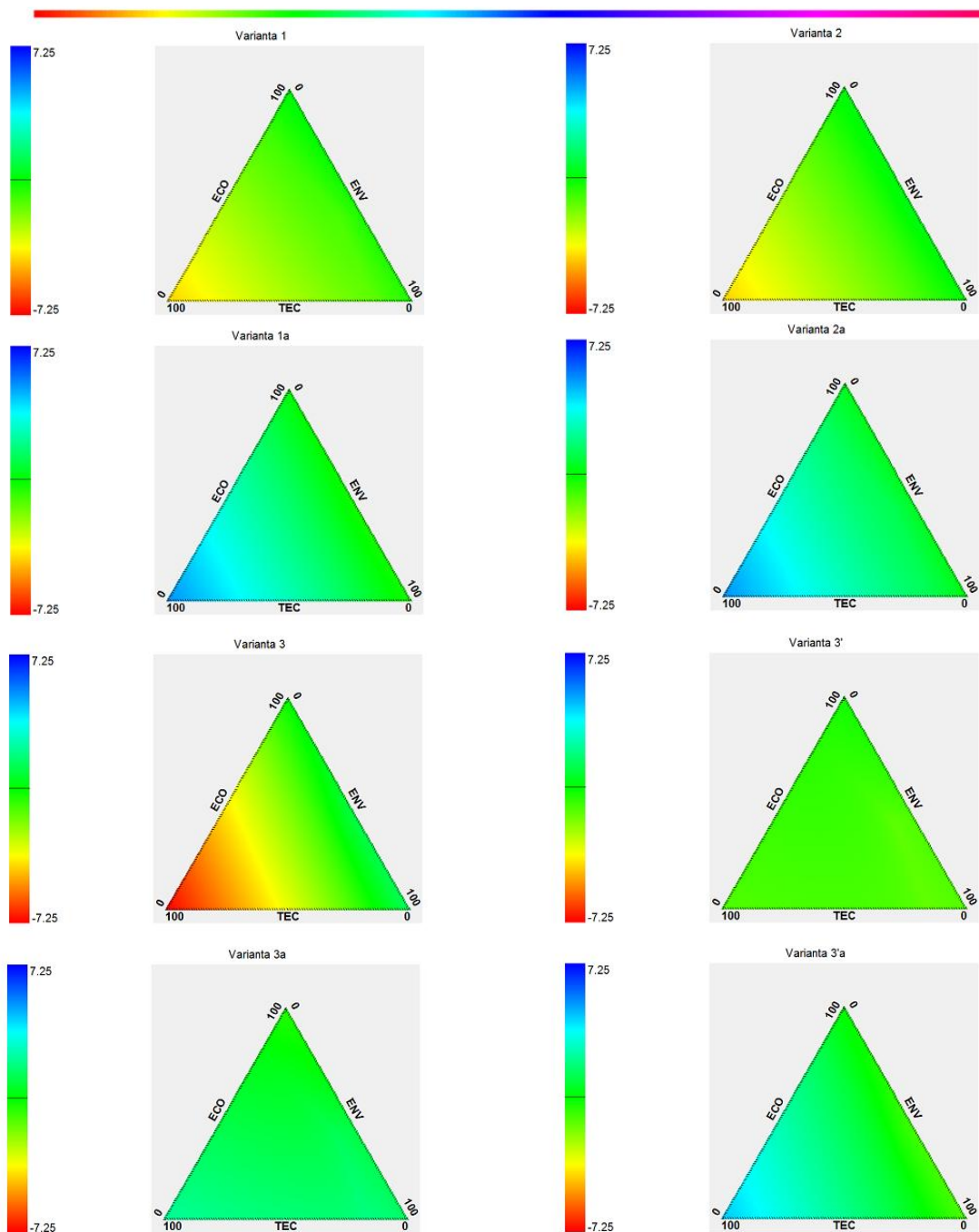
Predstavitev variant pri treh homogenih skupinah

Na spodnji sliki so prikazane podrobnosti vseh osmih posameznih variant HE Učja pri treh homogenih skupinah. Barvna lestvica prikazuje gradient analize trenutno izbranega indeksa (sintetični indeks). Temno modra barva pomeni najboljši rezultat, rdeča pa najslabšega. Na trikotnih grafičnih diagramih podrobnosti variant vidimo, da je najbolj enotno obarvan diagram Variante 3', kar pomeni, da bo ta varianta pri različnih spremembah uteži, dosegala podobne rezultate, kot jih zaseda ob danem razmerju uteži. Podoben primer je tudi Varianta 3a, le da ima ta malo slabše ekonomske kriterije, kar se lahko vidi pri spremembi barve na zgornjem robu trikotnika. Pri ostalih variantah bo sprememba uteži vplivala na rezultat in bomo že ob manjši spremembi razmerja uteži dobili drugačen rang take variante. Ta ugotovitev kaže na pomen izbora razmerij uteži in kriterijev.

Primerjava 8 variant HE Ucja Behaviour of each alternatives

Index: Syntetic

Normalization used: VectorNormalization



Slika 15: Prikaz podrobnosti posameznih variant pri dveh homogenih skupinah

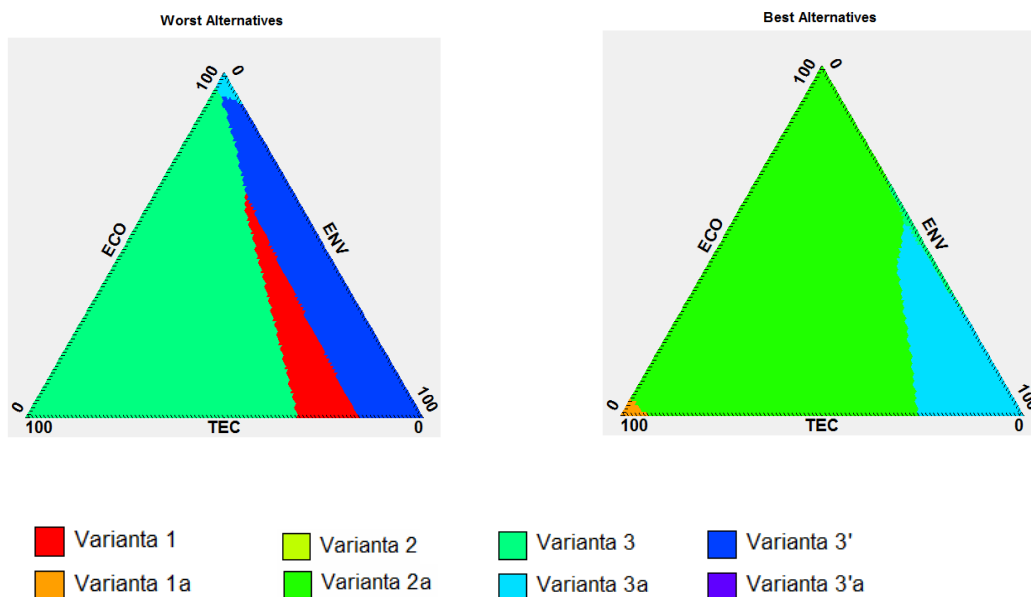
Najboljše in najslabše variante pri treh homogenih skupinah

Na podlagi barvne lestvice lahko iz spodnje slike, na desnem trikotnem diagramu vidimo, da je pri izbranem sintetičnem indeksu in razmerju uteži, najboljše ocenjena Varianta 2a. Poleg te variante se je med najboljše uvrstila tudi Varianta 3a. Iz grafičnega prikaza najslabših vrednosti analize občutljivosti za sintetični indeks pa vidimo, da je najslabše uvrščena Varianta 3, ki tako iz tehničnega, kot ekonomskega vidika predstavlja najslabšo varianto, ob privzetem razmerju uteži. Poleg omenjene variante so se na ta diagram uvrstili tudi Varianti 1 in 3', ki jima ekološki in tehnični del predstavlja težave ter Varianta 3a, ki je samo majhen del ekološko slabša.

Primerjava 8 variant HE Učja Best and Worst Alternatives

Index : Syntetic

Normalization Used: VectorNormalization



Slika 16: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri treh homogenih skupinah

5.3 PRIMERJAVA REZULTATOV IZ HYPSE S PREDLAGANO VARIANTO HE UČJA

V idejni zasnovi načrtovane HE Učja je načrtovalec (IBE), po naročilu investitorja (SENG), analiziral osem različnih variant, ki se med seboj razlikujejo glede na tri možne lokacije pregrade, dva različna pretoka in enega morebitnega nadvišanja pregrade, tako iz okoljskega, tehničnega in ekonomskega vidika. Te variante sem opisno predstavil že v poglavju načrtovanje HE Učja.

V tehničnem poročilu v idejni zasnovi so za najboljšo med variantami, na podlagi strokovnih podlag, določili Varianto 2a. Za kakšno določitev uteži pri posameznih kriterijih gre in kateri kriterij je najbolj prevladal pri odločitvi najboljše variante, pa ni določeno z izračunom ali grafično, temveč samo opisno, s primerjavo variant.

Sem pa v tehničnem poročilu dobil tudi analizo občutljivosti na vhodne podatke, ki je bila pri izračunu dinamičnih kazalcev investicije izvedena za najugodnejšo varianto, torej za Varianto 2a, z enim agregatom. Najpomembnejša dejavnika, ki vplivata na kazalce donosnosti investicije v HE Učja, sta višina investicije in predvidena letna rast cene električne energije. V investicijskih stroških so v izhodiščni oceni upoštevani nepredvideni stroški v višini 10 % za gradbena dela in 5 % za opremo. V zaključkih sem dobil še druge kriterije, ki so vplivali na izbor najboljše variante.

Kot nekaj negativnih primerov lahko navedem dostopnost do lokacij načrtovanih pregrad. Tako je na primer dostop do Variante 1 najtežji, do Variante 3 pa najlažji, vendar še vedno ni enostaven. Lokacija Variante 2 je verjetno iz tega izhodišča nekaj vmes. Akumulacijski bazeni variant 1, 2 in 3 so problematični v območju Zalega potoka, kjer se pojavljajo nestabilnosti. Varianto 3' odsvetujejo, saj bi voda zalila velika področja pobočnega grušča, kar lahko povzroči nestabilnost brežin. Sicer izkazuje ta varianta najvišje prihodke, pri kateri je proizvodnja zaradi večjega padca najvišja, najnižje prihodke pa varianta 3 (najnižja letna proizvodnja, najmanjši volumen akumulacije in posledično najvišji delež proizvodnje v izven

trapeznem obdobju). Gradnja HE Učja bo zahtevala spremembo reliefa z nasipi in izkopi ter odstranitve vegetacijskega pokrova. Največji obseg odstranitve pokrova na območju akumulacije bosta zahtevali Varianti 1 in 3'. Manjši poseg v vegetacijski pokrov je pri Varianti 2 oziroma 3.

Ekonomska analiza investicije je upoštevala le energetske učinke izgradnje, morebitna izraba objekta v druge namene pa v ekonomski analizi ni bila zajeta. Ekonomsko najugodnejša varianta izgradnje je Varianta 2a. Pri spremembi vhodnih parametrov investicije (nižja rast cene energije in višji stroški investicije od izhodiščne) ostajajo ekonomski kazalci investicije pri Varianti 2a pozitivni. To pomeni, da je investicija v HE Učja upravičena tudi v primeru neugodnega gibanja najpomembnejših vhodnih parametrov. Zaradi nižjih stroškov izgradnje jezua, so stroški gradbenih del pri Varianti 2 nižji od stroškov pri Varianti 1 in najnižji pri Varianti 3. Varianti 3' in 3'a sta najdražji, in sicer zaradi 25 m višjega jezua kot pri Varianti 3. Stroški priključitve na omrežje so različni zaradi razlike lokacij pregrade, torej nastanejo zaradi različne dolžine 20 kV daljnovoda za napajanje jezovnih naprav.

Model obratovanja HE Učja temelji na mesečnih povprečnih pretokih Učje na mestih posameznih variant izgradnje pregrade ter na tehničnih podatkih posamezne variante (koristna prostornina pripadajoče akumulacije, inštalirani pretok). Za vse variante je bil predviden tedenski režim obratovanja, z upoštevanjem biološkega minimuma $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Ciljna funkcija modeliranja obratovanja je bila čim večja proizvodnja energije v trapeznem obdobju (delavniki od 8. do 20. ure), z maksimalnim možnim izkoriščanjem koristnega volumna akumulacije. Z optimizacijo obratovanja je bila za vsak mesec in za vsako varianto določena razdelitev proizvodnje na trapezno in izven trapezno obdobje.

Pri analizi občutljivosti, v programu HYPSE, z dvema homogenima skupinama, sem združil ekonomske in tehnične kriterije. Vse kriterije sem obtežil enako (kot je v programu HYPSE privzeto), okoljski kriteriji tako zavzemajo 76 %, ekonomski in tehnični skupaj pa 24 %.

Na podlagi barvne lestvice sem v diagramih razbral, da je pri izbranem indeksu najboljše ocenjena Varianta 2a in to po vseh treh kriterijih, najslabše pa Varianta 3, ker je iz tehničnega

in ekonomskega vidika nesprejemljiva. Kot zanimivost lahko izpostavimo tudi Varianto 3', ki je s tehničnega in ekonomskega vidika še sprejemljiva, ima pa velik vpliv na okolje.

Pri analizi občutljivosti s tremi homogenimi skupinami sem vse kriterije obtežil enako (kot je v programu HYPSE privzeto), tako sem okoljskim kriterijem pripisal 76 %, ekonomskim 16 % in tehničnim 8 %.

Na trikotnih grafičnih diagramih podrobnosti variant sem dobil, da je pri izbranem sintetičnem indeksu in razmerju uteži najboljše ocenjena Varianta 2a. Poleg te variante se je med najboljše uvrstila tudi Varianta 3a, le da ima ta malo slabše ekonomske kriterije. Iz grafičnega prikaza najslabših vrednosti analize občutljivosti za sintetični indeks vidimo, da je najslabše uvrščena Varianta 3, ki tako iz tehničnega, kot ekonomskega vidika predstavlja najslabšo varianto, ob privzetem razmerju uteži. Poleg omenjene variante so se na ta diagram uvrstili tudi Varianti 1 in 3', ki jima ekološki in tehnični del predstavlja težave ter Varianta 3a, ki je samo majhen del ekološko slabša.

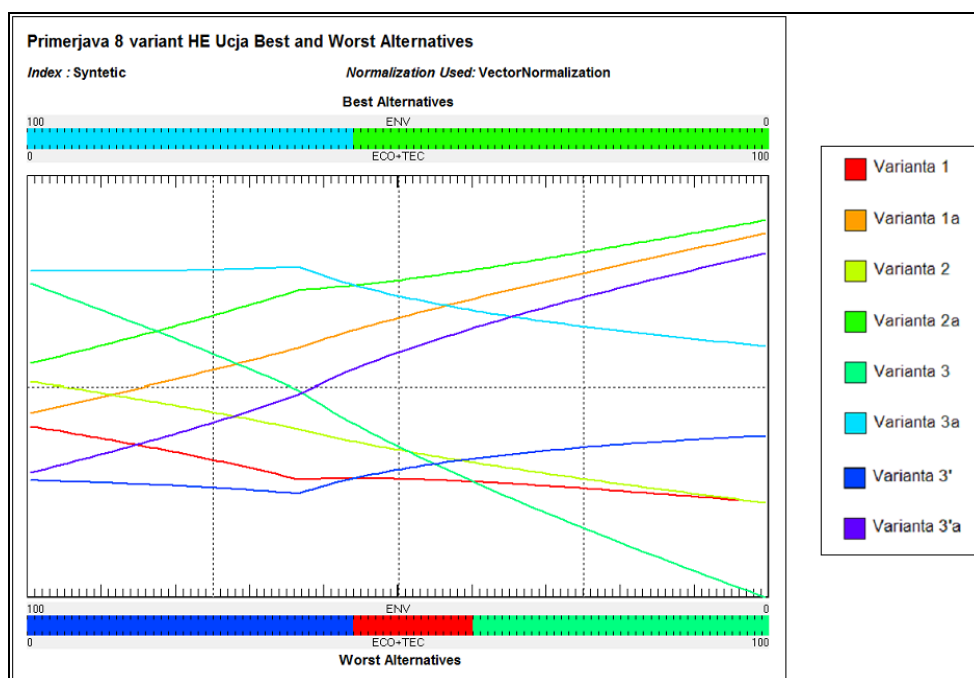
5.4 PRIMERJAVA REZULTATOV IZ HYPSE Z 10 MHE NA OBMOČJU GORENJSKE

Ker nisem na tem področju našel nobenih drugih projektov, ki bi bili vrednoteni s programom HYPSE, sem svoje rezultate analiz primerjal s tistimi, ki jih je dobil avtor v svoji diplomi z naslovom Ocena vplivov malih hidroelektrarn na okolje z uporabo večkriterijske analize, za 10 mHE na območju Gorenjske (Pušnik, 2010). Analizo občutljivosti je naredil na desetih med seboj različnih mHE, ki so že zgrajene, stojijo na različnih lokacijah, imajo različne velikosti inštalirane moči, različne investicije za izvedbo in še veliko drugih različnih kriterijev, ki niso primerljivi med seboj. Analiza, ki jo izvedemo v programu HYPSE, sicer temelji na vrednotenju že narejenih in obdelanih variant ene načrtovane HE. Tudi določevanje

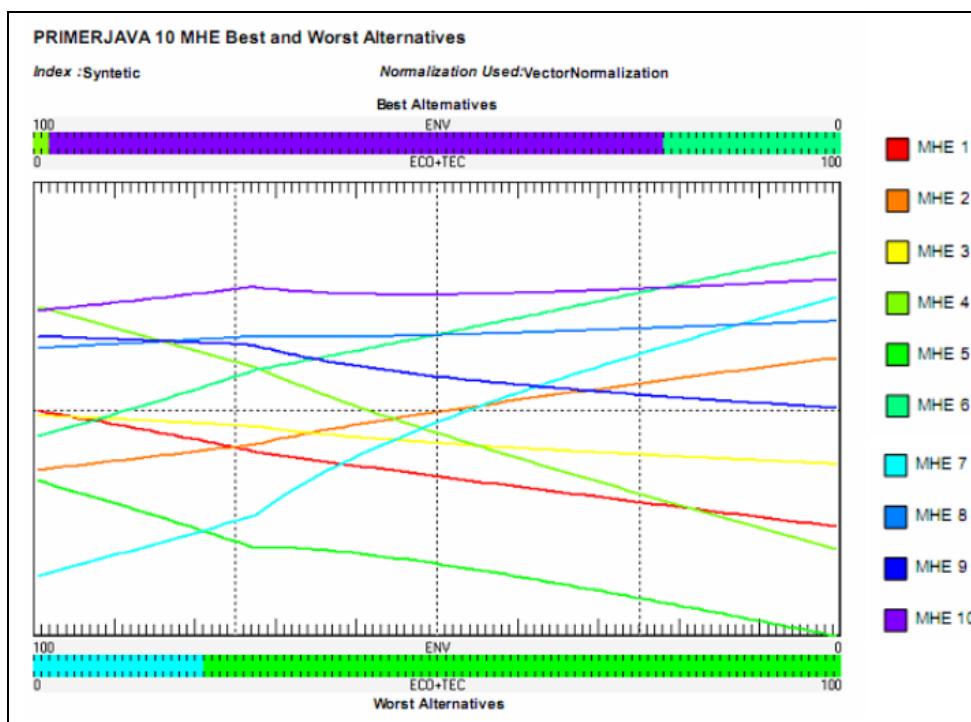
uteži posameznim kriterijem ali celotnim homogenim skupinam, ki nato razvrstijo variante v ekstremne primere (najboljše in najslabše), ni ustrezno, glede na zgoraj omenjene kriterije.

Ne glede na namen programa HYPSE, za katerega je bil narejen, sem svoje rezultate opisno primerjal z rezultati, ki jih je dobil avtor zgoraj omenjene diplome ter primerjavo tudi prikazal grafično.

Pri analizi občutljivosti z dvema homogenima skupinama, kjer okoljski kriteriji zavzemajo 76 %, ekonomski in tehnični skupaj pa 24 %, sem v grafičnem prikazu za osem variant HE Učja dobil dve najboljši in tri najslabše variante (slika 16). V diplomu z 10 mHE je program HYPSE grafično podal, za najboljše tri mHE, za najslabše pa dve mHE (slika 17).

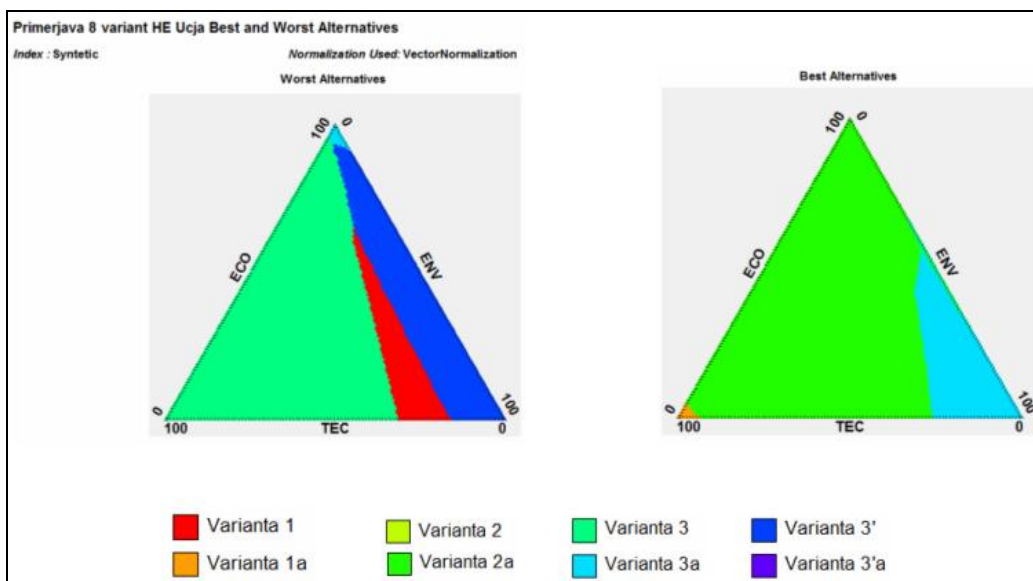


Slika 17: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri dveh homogenih skupinah

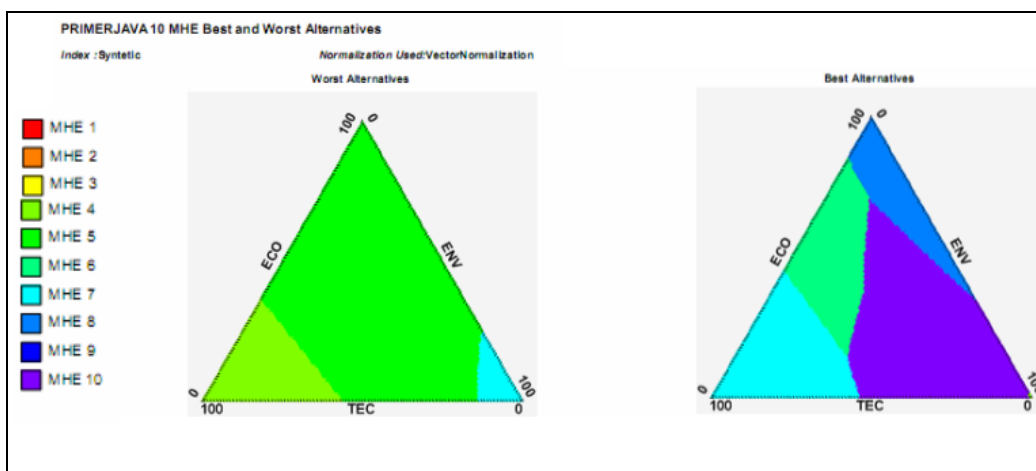


*Slika 18: Prikaz najboljših in najslabših variant 10 mHE pri dveh homogenih skupinah
(Pušnik, 2010)*

Pri analizi občutljivosti s tremi homogenimi skupinami, kjer sem okoljskim kriterijem pripisal 76 %, ekonomskim 16 % in tehničnim 8 %, sem v grafičnem prikazu za osem variant HE Učja dobil tri najboljše in štiri najslabše variante (slika 18). V diplomski z 10 mHE so se izkazale štiri mHE za najboljše in tri za najslabše (slika 19).



Slika 19: Prikaz najboljših in najslabših variant HE Učja pri treh homogenih skupinah



Slika 20: Prikaz najboljših in najslabših variant 10 mHE pri treh homogenih skupinah
(Pušnik, 2010)

6 ZAKLJUČEK

Ocena in presoja vplivov na okolje morata biti nujno usklajena pogoja za kakršenkoli poseg v vodotoke. Pri končni odločitvi o možni gradnji HE moramo iskati potreben konsenz tudi pri lokalni skupnosti ter vseh zainteresiranih skupinah. Zavedati se moramo, da so strokovne podlage najpomembnejši element, zato jih je potrebno pripraviti skrbno in z argumenti podpreti pozitivne rešitve, kot tudi zavrniti neustrezne.

Že v idejnih zasnovah, pri vseh načrtovanih projektih hidroelektrarn, na podlagi ekonomskih, okoljskih in tehničnih študij, projektanti določijo varianto, ki se najbolj približa ideologiji teh treh omenjenih homogenih skupin. Ekonomske analize temeljijo večinoma na matematičnih izračunih stroškov gradbenih del, strojne, elektro in hidromehanske opreme. Pri okoljskih analizah gre predvsem za določitev vpliva pri postavitvi določenih objektov v okolje. Potrebno je ugotoviti, kakšno škodo bo določen objekt naredil v okolju, z vidika degradacije in onesnaževanja ter koliko bo posamezen ali celoten objekt pripomogel k izboljšanju določenih kriterijev (npr. zmanjšanje emisij CO₂ v okolje). V tehničnih analizah pa se določi najbolj primerne rešitve tehničnih izvedb, tako gradbenih del, strojne, elektro in hidromehanske opreme, na podlagi boljših izkoristkov in obratovanja.

Določitev uteži je strokovna odločitev, tako da načrtovalec določi kateri so bolj in kateri manj pomembni kriteriji za izbiro najboljše variante. Investitor ne more že vnaprej načrtovalcu določiti pomembnost kriterijev in ustvarjenih dopustnih mej, ki se jih mora držati. Kakšne so te meje in kakšen delež (utež) določijo posamezni homogeni skupini (okoljski, ekonomski in tehnični), v podjetju SENG nisem dobil. Dobil sem že izdelano idejno zasnovo, s podrobno analiziranimi osmimi različnimi variantami HE Učja in določeno najboljšo varianto. V tehničnem poročilu je bila ta varianta določena na podlagi strokovnih podlag. Za kakšno določitev uteži pri posameznih kriterijih gre in kateri kriterij je najbolj prevladal pri odločitvi najboljše variante, pa ni določeno z izračunom ali grafično, temveč opisno, s primerjavo variant, na podlagi narejenih ekonomskih in tehničnih analiz ter presoje vplivov na okolje.

Pristop, po katerem deluje program HYPSE, je verjetno bolj primeren za določevanje najboljših in najslabših variant, ker temelji na vrednotenju že narejenih in obdelanih variant HE, s pomočjo določevanja uteži posameznim kriterijem ali celotnim homogenim skupinam. Torej je bistvena prednost uporabljenega programa HYPSE v objektivnosti rezultatov, ker je pri določeni izbiri kriterijev in uteži, rangiranje matematična operacija. Slabost pa je v tem, da z izbiro kriterijev in uteži pravzaprav že končno določimo izide rangiranja, kar pomeni, da moramo biti ravno pri določitvi le-teh posebej previdni in ne smemo pozabiti na pomen vseh možnih vplivov. Ker ima sprememba posameznega kriterija lahko tako pozitivne kot negativne vplive, je lahko njihovo združevanje pri izbranih utežeh preveč poudarjeno.

6.1 PREDLAGANE IZBOLJŠAVE V IDEJNI ZASNOVI

Akumulacijska HE Učja bo kopičila tedenske zaloge vode in bo proizvajala izključno vršno energijo, kar pomeni, da bo obratovala takrat, ko primanjkuje energije v elektroenergetskem sistemu, oziroma v terminih, ko je odkupna cena elektrike visoka. V idejni zasnovi investitorja, podjetja SENG, je podroben opis načrtovane gradnje HE Učja, analiziranih je osem možnih variant in na podlagi strokovnih podlag ter določenih kriterijev, je podana ekspertna ocena. Za najboljšo varianto je določena Varianta 2a, za katero je narejena podrobnejša študija presoje vplivov na okolje. Izbrane so optimalne rešitve tako s tehničnega, okoljskega in ekonomskega vidika. Obstajajo pa še vedno nekatere izboljšave, ki bi lahko bile narejene za boljši izkoristek vodnega potenciala reke Učje.

Pri zasnovanem projektu naj bi pregrada zadrževala vodo v akumulaciji, iz katere naj bi jo preko vtočnega objekta, ki je na dnu desnega brega Učje, po dovodnem sistemu, dovajali na turbino, ki je dolvodno po reki Učji, tik pred iztokom v Sočo. HE naj bi tako izkoriščala bruto padec 210 m. Odvod vode iz strojnice pa je predviden v kompenzacijski bazen, ki je koncipiran kot neke vrste vzporedna struga z matično strugo Učje in, ki služi za zmanjšanje pozitivnega prirastka pretoka pri zagonu elektrarne. Na koncu bazena je predviden iztočni objekt, ki ga sestavlja fiksni preliv, širine 20 m, s krono na koti 337.0 m n.m. in temeljni izpust preseka 2 m², ki je opremljen s tablasto zapornico na hidravlični pogon. Po navadi so

mHE nameščene ob večjih akumulacijah, ki primarno služijo drugemu namenu, kot je nadzor nad poplavami, za namakalne sisteme, za zajem pitne vode za potrebe večjih mest in nenazadnje tudi razna območja za rekreacijo. Čeprav bi v tem primeru bila manjša akumulacija, površine 10500 m² in ob največjem dvigu gladine bi zadržala cca 27300 m³, bi kot prvo izboljšavo predlagal dodatno študijo za izgradnjo mHE takoj za iztočnim objektom. Zgraditi bi bilo potrebno še eno strojnico in dovodni sistem ter vgraditi novo turbino. Iz ekonomskega vidika to naj ne bi predstavljalo večjega investicijskega vložka, saj bi objekte za zajem vode zgradili že za veliko HE in bi z novo mHE samo še izkoristili vodo, preden bi se izlila v reko Sočo. Iz ekološkega vidika bi izgradnja mHE pomenila dodaten, vendar majhen vpliv na okolje, ker bi morali zgraditi novo strojnico dolvodno od iztočnega objekta za kompenzacijskim bazenom in s tem bi povzročili škodo v naravnem okolju. Z dodatno proizvodnjo elektrike pa bi pripomogli k zmanjšanju emisij CO₂, kar pomeni pozitiven doprinos pri upoštevanju direktive o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov. Navedel bi še dva negativna podatka, ki sta proti izgradnji predlagane mHE, saj sta tehnične narave in sta bistvenega pomena za obratovanje same mHE. Prvi podatek je bruto padec, ki bi ga mHE izkoriščala in ta bi bil zelo majhen, med 3 in 4 m, drugi pa je delovanje same mHE, saj je kompenzacijski bazen premajhen, da bi lahko mHE delovala samostojno, namreč dotok vode v bazen je odvisen od delovanja večje HE, ta bi pa delovala po principu proizvodnje vršne energije, kar pomeni, samo v določenih urah preko dneva. Ne glede na širino vršne konice, je čas zadrževanja v bazenu enak in traja cca 1 uro.

Kot drugi predlog izboljšave pa bi navedel izgradnjo dodatne mHE ob načrtovani pregradi. V idejni zasnovi je načrtovan talni izpust, ki bi se ga lahko uporabilo za namestitev dodatne turbine. Če izpusta ne bi bilo načrtovanega, bi lahko kot drugo varianto izvedbe predlagal montažo turbine na vrhu pregrade ali pa na dolvodni strani, ob uporabi natege. Seveda bi tudi ta mHE imela svoje prednosti in slabosti. Iz ekonomskega vidika se investicijski stroški ne bi izdatno povečali, saj bi pregrada, ki bo zgrajena za HE Učja, služila tudi za mHE, z odvzemom vode iz akumulacije. Zgraditi bi bilo potrebno novo strojnico in dovodni sistem ter vgraditi novo turbino, kar bi povzročilo dodaten vpliv na okolje. Predlagana mHE ne bi proizvajala samo vršne energije, kot jo bo HE Učja, saj bi s spuščanjem obveznega ekološko sprejemljivega pretoka, ki je bil privzet kot 200 l/s, stalno proizvajala električno energijo, kar bi prispevalo k dodatnemu zmanjšanju škodljivih emisij CO₂ v ozračje.

6.2 SKLEP

Pri uporabi programa HYPSE sem določeval različna razmerja uteži in s tem vplival na potek izračunov ter na podlagi tega dobil tudi različne rezultate. Tako sem pri dveh homogenih skupinah ob razmerju uteži (76% za okoljske kriterije, 24% za ekonomske in tehnične) dobil za malenkost različne rezultate kot pri treh (76% okoljski, 16% ekonomski in 8% tehnični kriteriji). Pri obeh pa se je izkazala Varianta 2a kot najboljša, kar pomeni, da je predlagana varianta za gradnjo HE Učja najbolj primerna, izmed vseh osmih variant.

Kljub temu, da sem uporabil sedem različnih razmerij uteži, se je kar pri petih razmerjih pojavila Varianta 2a na prvem mestu, kot najboljša. Le dvakrat je prvo mesto zavzela Varianta 3a, kar pomeni, da bi ta varianta morda bila edina resnejša kandidatka za nadomestilo Variante 2a, a ima z ekološkega vidika določene slabosti.

Uporaba programa HYPSE ima določene prednosti, ima pa tudi nekaj slabosti. Prednost se kaže v objektivnosti rezultatov, ker je pri določeni izbiri kriterijev in uteži, rangiranje matematična operacija. Pri izbiri kriterijev in uteži pa moramo biti previdni, saj lahko že z določitvijo le-teh končno določimo izide rangiranja.

VIRI

Babuder, M., Beravs, F., Česen, M.,... 2009. Obnovljivi viri energije (OVE) v Sloveniji = Renewable energy sources (RES) in Slovenia. Celje, Fit media d.o.o.: str. 5-48: 167 str.

Bohanec, M. 2006. Odločanje in modeli. Ljubljana, DMFA – založništvo: 312 str.

Energetski zakon (EZ), Uradni list RS, št. 79/1999.

European Commission, 2000. New Solutions in Energy Supply. Small hydroelectric plants. Guide to the Environmental Approach and Assessment. CD-ROM.

Habič, T. 2006. Male hidroelektrarne danes. Hidroenergetska raba vode v Sloveniji. 17. Mišičev vodarski dan: 3 str.

Jereb, E., Bohanec, M., Rajkovič, V. 2003. Dexi: računalniški program za večparametrsko odločanje. Uporabniški priročnik. Kranj, Moderna organizacija: 91 str.

L'Vovich, M.I., 1979, World Water Resources and Their Future, (English Translation Editor: Nace, R.L.), American Geophysical Union, cit. po Mahmood, K., 1987.

Mahmood, K. 1987. Reservoir Sedimentation: Impact, Extent and Mitigation. World Bank Technical Paper No.71, The World Bank, Washington D.C., ZDA. 118 str.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Muller, J., Rakovec, J., Roš, M., in Brilly, M., 2002. Hidrološko izrazje= Terminology in Hydrology. Acta hydrotechnica 20/32.

Mikoš, M., 2008. Ocena ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov-končno poročilo. Ljubljana, UL FGG in GeoZS: str. 2-4.

Pravilnik o presoji sprejemljivosti vplivov izvedbe planov in posegov v naravo na varovana območja (Uradni list RS, št. 130/2004).

Pušnik, M., 2010. Diplomaska naloga – Ocena vplivov malih hidroelektrarn na okolje z uporabo večkriterijske analize, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 94 str.

Skubic M., 2009. Bližina meje povečuje zahtevnost postopkov umestitve HE. Naš stik, februar 2009, str. 33.

UNESCO, 1977, Atlas of World Water Balance, Paris, cit. po Mahmood, K., 1987.

UNESCO, 1978, World Water Balance and Water Resources of the Earth, Leningrad, cit. po Mahmood, K., 1987.

UPEE, 2009. Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, Uradni list RS, št. 37/2009.

ZON-UPB2, 2004. Zakon o ohranjanju narave, Uradni list RS, št. 96/2004.

Zakon o vodah (ZV-1). 2008. Uradni list RS, št. 67/2002 in 57/2008.

Zidarič, M., 2004. Diplomaska naloga – Zasnova in načrtovanje male hidroelektrarne, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 110 str.

Zornada, L., Bohanec, M., Rajkovič, V. 2000. Model lupine ekspertnega sistema za podporo večkriterijskemu odločanju. Zbornik 19. Posvetovanja organizatorjev dela. Kranj, Moderna organizacija: str. 516-525.

White, R. 2001: Evacuation of sediments from reservoirs. Thomas Telford Ltd, London. 249 str.

Internetni viri

ARSO, Agencija Republike Slovenije za Okolje.

<http://www.arso.gov.si> (18.5.2010)

Biseri slovenske narave, Natura 2000.

www.natura2000.gov.si (18.5.2010)

Energetika.NET, časnik o energetiki.

<http://www.energetika.net/novice/clanki/v-sloveniji-se-65-odstotkov-neizkoriscenega-vodnega-potencia> (11.6.2010)

European Commission. Environment Directorate.

<http://ec.europa.eu/environment/eia/full-legal-text/85337.htm> (29.07.2010)

GEN energija.

<http://www.gen-energija.si> (25.5.2010)

Gorenjske elektrarne.

<http://www.gorenjske-elektrarne.si> (31.5.2010)

Inštitut za raziskave v energetiki, ekologiji in tehnologiji.

<http://www.ireet.com> (11.6.2010)

Ministrstvo za okolje in prostor (MOP).

<http://www.mop.gov.si> (18.5.2010)

Obnovljivi viri energije.

www.ove.si (23.5.2010)

Savske elektrarne Ljubljana.

<http://www.sel.si> (25.5.2010)

Slovenija, doma v Evropi.

<http://www.evropa.gov.si/si/vsebina/novica/news/podnebna-konferenca-v-koebenhavnu-koncana-z-neobvezujocim-dogovorom/24f3d02be5/> (22.5.2010)

Statistični urad Republike Slovenije, Letna energetska statistika, Slovenija, 2009.

http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=3128 (22.6.2010)

Uradni list Republike Slovenije.

<http://www.uradni-list.si> (18.5.2010)

Uradni slovenski turistični informacijski portal.

www.slovenia.info (29.7.2010)

PRILOGE

Priloga A: Povodje reke Učje in prikaz variantnih rešitev HE Učja

Priloga B: Pregled vhodnih kriterijev za program HYPSE

